

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Агротехнічний факультет  
Кафедра екології, охорони навколишнього середовища  
та здорового способу життя

“Допущено до захисту”  
Зав. кафедрою ЕОНС та ЗСЖ  
к.б.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Ольга МЕДВЕДСЬКА  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**  
**на тему**  
**“ Екологічна оцінка ефективності використання**  
**відходів грибівництва в процесах**  
**вермикомпостування ”**

Виконав здобувач вищої освіти  
II курсу, групи ЕО-23 М  
ОПП «Екологія»  
спеціальності 101 «Екологія»  
\_\_\_\_\_ Самопал І.А.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

Керівник роботи  
к.б.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Людмила КОЛОМІЄЦЬ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

Рецензент \_\_\_\_\_ Микола КОВАЛЬОВ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет АТ

Кафедра ЕОНС та ЗСЖ

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 10 – Природничі науки

Спеціальність 101 - екологія

Освітньо-професійна програма: Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ЕОНС та ЗСЖ

к.б.н., доцент

Ольга МЕДВЕДЄВА

“ ” 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА  
ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ  
ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Самопал Інні Андріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Екологічна оцінка ефективності використання відходів грибівництва в процесах вермикомпостування

2. Керівник роботи

Коломієць Л.В., кандидат сільськогосподарських наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджений наказом ЦНТУ “ 27 ” вересня 2024 року № 68 - 13

3. Строк подання роботи до захисту \_\_\_\_\_

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Метою роботи – є розробка екологічно ефективної технології утилізації грибних відходів шляхом їх використання в процесах вермикомпостування для отримання якісного органічного добрива.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– Дослідити внесок діяльності дощових черв'яків та природи вихідної сировини у формування таксономічної структури бактеріального комплексу вермикомпостів.

– Дослідити зміну великої кількості окремих груп мікроорганізмів у процесі вермикомпостування: довжини міцелію грибів та актиноміцетів, чисельності бактерій, мікрофауни.

– Охарактеризувати функціональні (трофічні) особливості та фізіологічний стан (активність) мікроорганізмів у вермикомпостах.

– Дослідити зміну великої кількості окремих груп мікроорганізмів у процесі вермикомпостування: довжини міцелію грибів та актиноміцетів, чисельності бактерій, мікрофауни

## 3. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Технологічна частина	Доцент Коломієць Л.В.		
Охорона праці	Доцент Лузан П.Г.		

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ П/П	Строк виконання етапів роботи	Назва етапів кваліфікаційної роботи
Перший	14.10.2024 року	Розділ 1.Огляд літератури,
Другий	21.10.2024 року	Розділ 2. Технології переробки ПЕТ відходів Розділ 3.Методика досліджень
Третій	15.11.2024 року	Розділ 4. Результати досліджень
Четвертий	21.11.2024 року	Розділ 5. Охорона праці
П'ятий	27.11.2024 року	Висновки, список літератури, вступ.

Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Коломієць Л.В.  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024р.

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_ Самопал І. А.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

На тему: «Екологічна оцінка ефективності використання відходів грибівництва в процесах вермикомпостування».

Кваліфікаційна робота магістра виконана на 82 сторінках, включає 6 таблиць, 10 рисунків, 73 літературних джерела.

**Об'єктом дослідження** є процеси вермикомпостування органічних відходів.

**Предмет дослідження** – відходи грибівництва як джерело поживних речовин для вермикультури.

**Метою роботи** є розробка екологічно ефективної технології утилізації грибних відходів шляхом їх використання в процесах вермикомпостування для отримання якісного органічного добрива.

У результаті проведених досліджень встановлено, що використання відходів грибівництва сприяє підвищенню продуктивності черв'яків та покращенню хімічних і фізичних характеристик вермикомпосту.

**Новизна роботи** полягає у визначенні оптимальних параметрів вермикомпостування відходів грибівництва.

**Наукові результати** підтверджують екологічну та економічну ефективність утилізації грибних відходів.

**Практичні результати** демонструють можливість створення сталих технологій управління відходами для агросектору та підвищення врожайності завдяки використанню органічних добрив.

**Значення роботи** полягає у сприянні зменшенню екологічного навантаження та впровадженні ресурсозберігаючих підходів.

**Висновки** підтверджують доцільність використання грибних відходів у вермикомпостуванні як екологічно вигідного рішення.

**Ключові слова:** відходи грибівництва, вермикомпостування, екологія, органічні добрива, утилізація, сталий розвиток.

## Перелік умовних позначень

1. **ВКЛ** – вермикомпост з опалого листя.
2. **КЛ** – компост з опалого листя.
3. **ВКП** – вермикомпост з відпрацьованого субстрату вирощування печериць.  
печериць.
4. **КП** – компост з відпрацьованого субстрату вирощування печериць.
5. **ВКГ** – вермикомпост з відпрацьованого субстрату вирощування гливи.  
гливи.
6. **КГ** – компост з відпрацьованого субстрату вирощування гливи.
7. **ЧГ** – черв'яки гнойові (*Eisenia fetida*).
8. **КУО** – колонієутворюючі одиниці.
9. **in situ** – очищення забрудненої місцевості за допомогою імітації природних процесів у ґрунті.
10. **ХВ** – харчові відходи.
11. **ГМО** – генетично модифікований організм.

## ЗМІСТ

	Стор
Реферат	4
Перелік умовних позначень	5
Вступ	8
<b>РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНОПОШИРЕНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ВИДІВ ВІДХОДІВ (Огляд літератури).</b>	<b>12</b>
1.1. Відходи сільськогосподарського виробництва та харчової промисловості	12
1.2. Технології утилізації відходів сільського господарства	13
1.3. Переробка та використання харчових відходів	15
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СУБСТРАТУ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ГРИБІВ ТА ЙОГО ПОДАЛЬША УТИЛІЗАЦІЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОЦЕСУ ВЕРМИКОПОСТУВАННЯ</b>	<b>21</b>
2.1. Загальна характеристика інтенсивного грибівництва, технологія, продукція, відходи	21
2.2. Характеристика процесів біоконверсії органічних відходів, їх відмінності	25
2.2.1. Біотехнологічні процеси вермикультивування та вермикомпостування	27
2.2.2. Характеристика продуктів вермикультивування та вермикомпостування	29
<b>РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВЕРМИТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ІНТЕНСИВНОГО ГРИБІВНИЦТВА</b>	<b>33</b>
3.1. Характеристика об'єктів дослідження	33
3.2. Методика досліджень та розрахунків	35
3.2.1. Умови проведення процесу вермикультивування	35
3.2.2. Методи дослідження субстрату та біогумусу	37

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ СУБСТРАТУ ДЛЯ ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ ПОПУЛЯЦІЇ ДОЩОВОГО КАЛІФОРНІЙСЬКОГО ЧЕРВ'ЯКА <i>EISENIA FETIDA</i>	44
4.1. Фізико-хімічна характеристика досліджуваних вермикомпостів	44
4.2. Таксономічна структура бактеріальної спільноти	46
4.3. Довжина міцелію грибів та актиноміцетів, кількість бактерій	49
4.4. Чисельність коловраток, нематод, інфузорій	50
4.5. Мікробіологічна характеристика вермикомпостів мікробними пейзажами на склі обростання за методикою Россі-Холодного	52
4.6. Зміна співвідношення <i>Aporrectodea caliginosa</i> до <i>Eisenia fetida</i> у мікробному співтоваристві вермикомпостів	55
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	62
Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникнути при використанні відходів грибовництва в процесах вермикомпостування	62
5.1. Розробка заходів по запобіганню дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів і покращенню умов праці	65
5.2. Розробка заходів з пожежної профілактики	71
5.3. ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Під час свого промислового розвитку людство постійно збільшує свій споживчий спосіб життя призводячи до безмірно зростаючого виробництва та накопичення величезних обсягів промислових, сільськогосподарських та побутових відходів.

Істотна частина цих відходів, до 60-70% є органічною та нетоксичною за своєю природою, тому їх прийнято зберігати на полігонах. Ці способи утилізації відходів екологічно небезпечні та економічно не вигідні. Якщо ці органомісні відходи перетворити на матеріали, корисні для сільського господарства, то вдасться зберегти величезні кількості основних поживних речовин для рослин. З іншого боку є проблема утилізації органічних відходів, які утворюються в результаті сільськогосподарської діяльності, зокрема в грибовництві. Відходи грибовництва, зокрема субстрати після вирощування грибів, є значними за обсягами та часто не піддаються ефективній переробці, що призводить до забруднення навколишнього середовища. Це створює необхідність у розробці нових методів утилізації таких відходів [1].

Вермикомпостування, як процес переробки органічних відходів за допомогою черв'яків, є екологічно чистим і ефективним методом, який дозволяє не лише зменшити обсяги відходів, а й отримати високоякісний біогумус, що може бути використаний як цінне добриво. Однак, для визначення доцільності використання відходів грибовництва в процесі вермикомпостування важливо оцінити їхній вплив на цей процес та якість кінцевого продукту.

**Мета роботи** – є розробка екологічно ефективної технології утилізації грибних відходів шляхом їх використання в процесах вермикомпостування для отримання якісного органічного добрива.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– Дослідити внесок діяльності дощових черв'яків та природи вихідної сировини у формування таксономічної структури бактеріального комплексу вермикомпостів.

– Дослідити зміну великої кількості окремих груп мікроорганізмів у процесі вермикомпостування: довжини міцелію грибів та актиноміцетів, чисельності бактерій, мікрофауни.

– Охарактеризувати функціональні (трофічні) особливості та фізіологічний стан (активність) мікроорганізмів у вермикомпостах.

– Дослідити зміну великої кількості окремих груп мікроорганізмів у процесі вермикомпостування: довжини міцелію грибів та актиноміцетів, чисельності бактерій, мікрофауни

**Об'єкт дослідження** – є процеси вермикомпостування органічних відходів.

**Предмет дослідження** – відходи грибівництва як джерело поживних речовин для вермикультури.

**Методи дослідження.** В роботі використано хімічні метод (вміст вуглецю, азоту, фосфору, калію, вологість, рН та інші показники) та мікробіологічне дослідження (аналіз наявності патогенних мікроорганізмів, грибкових інфекцій тощо). Статистичну обробку експериментальних даних проводили з використанням програм Microsoft Excel.

**Інформаційною базою** роботи є законодавчі та інші нормативно-правові акти України з питань охорони навколишнього середовища, матеріали науково-практичних конференцій з проблем екологічної політики та захисту довкілля, матеріали державних органів статистики, сільськогосподарських та промислових підприємств і установ Кіровоградської області, а також власні дослідження та спостереження.

**Наукова новизна** полягає в наступних аспектах:

Вперше в виробничих умовах ФГ «Дяків» здійснюється комплексне дослідження можливості використання специфічних відходів грибівництва (субстрати після вирощування грибів) в якості органічного матеріалу для вермикультивування і вермикомпостування.

Розроблено методики ефективного використання відходів грибівництва в якості субстрату у системах вермикультивування та вермикомпостування, що дозволить знизити екологічне навантаження від неперероблених відходів в грибівництві.

Здійснено оцінку якості кінцевого продукту (вермикомпосту), отриманого з відходів грибівництва, в контексті можливості його застосування як добрива для сільськогосподарських культур. Це дозволить визначити його потенціал як альтернативи традиційним органічним добривам, таким як компост чи гній.

**Особистий внесок здобувача в наукові дослідження.** Викладені в роботі результати отримано автором самостійно. Щодо розглянутих в магістерській роботі задач, котрі розв'язані в працях, спільних з науковим керівником, Л.В. Коломієць, їй належить постановка проблеми досліджень і загальне керівництво роботою.

**Наукова і практична значимість полягає у :** розробці нових методів обробки та використання органічних відходів з точки зору їхнього потенціалу як субстратів для переробки в вермикомпост, що в свою чергу підвищить якість досліджень у галузі органічного землеробства, агроєкології та біотехнології;

Оцінці екологічного впливу використання відходів грибівництва допоможе виявити позитивні та негативні аспекти цього процесу, сприяючи розвитку екологічно чистих технологій утилізації органічних відходів;

Розробці та тестування нових підходів для переробки відходів грибівництва відкриває нові можливості для інтеграції вермикультивування та вермикомпостування в практику сталого сільського господарства, де органічне землеробство і екологічні методи займають важливе місце;

Розробці та впровадженні інноваційних технологій утилізації відходів грибівництва підтримує розвиток «зеленого» бізнесу та сприяє сталому розвитку, відповідаючи на глобальні виклики щодо збереження навколишнього середовища.

Результати дослідження можуть стати основою для створення рекомендацій щодо інтеграції екологічних технологій у сферу грибівництва, що дозволить знизити витрати на утилізацію відходів та поліпшити ефективність екологічних систем на місцевому рівні.

**Апробація результатів дослідження** Основні положення випускної роботи доповідалися на міжнародній конференції: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології агропромислового виробництва» (м. Кропивницький, 14–15 листопада 2024 р).

**Публікації.** Результати проведених досліджень в даній магістерській роботі опубліковані у вигляді тез доповідей: Людмила Коломієць, Інна Самопал, Екологічна оцінка ефективності використання відходів грибівництва в процесах вермикультивування та вермикомпостування: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології агропромислового виробництва» (м. Кропивницький, 14–15 листопада 2024 р), ЦНТУ, 2024 С.33–35 [3].

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНОПОШИРЕНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ВИДІВ ВІДХОДІВ (Огляд літератури)

#### 1.1. Відходи сільськогосподарського виробництва та харчової промисловості

Агропромисловий комплекс – лідер серед виробничих галузей за кількістю утворених шкідливих речовин. Відходи, що отримуються під час сільського господарства, призводять до глобального потепління. Без очищення, утилізації, переробки вони отруюють ґрунт, водойми, негативно відбиваються на атмосфері. При цьому «сільське сміття» може бути сировиною для добрив, кормів чи палива. Сучасні технології дозволяють організувати маловідходне чи безвідходне виробництво [4].

Частка сільськогосподарських відходів зростає щорічно разом із приростом населення Землі та збільшенням виробництва харчових продуктів. Для запровадження принципів ощадливого виробництва кожному сільському підприємству необхідно виявити найбільш шкідливі екологічні чинники.

Побічні продукти, які отримують при вирощуванні рослин, розведенні сільських тварин, роботі підприємств сфери АПК, відносять до сільськогосподарських відходів. Їхня небезпека для навколишнього середовища, способи нейтралізації та утилізації безпосередньо залежать від типу [5].

Розведення сільських тварин на приватних подвір'ях, спеціалізованих підприємствах призводить до утворення основної маси відходів. Перед тваринництвом припадає більше половини від загальної маси відходів, що утворюються в галузі. У цьому переробці підлягають трохи більше десяти відсотків шкідливих речовин. Основні види відходів тваринництва: продукти життєдіяльності звірів та птахів – гній чи послід, неочищені стоки, шкідливі гази, відходи рослинництва [6].

М'ясопереробні та молочні виробництва зв'язні з потраплянням у каналізацію кров'яних тілець, залишків внутрішніх тканин туш, інших твердих відходів. За відсутності належних систем очищення вони забруднюють водоймища, ґрунтові води.

Негативно впливає на довкілля метан, що утворюється в скупченнях гною при складуванні ями. Цей газ – одна із головних причин глобального парникового ефекту [7].

За допомогою переробки можна зменшити негативний вплив відходів тваринництва на сільську екологію. Наприклад, при контрольованому бродінні гній переробляється на біологічне паливо. Кістки, внутрішні органи, тканини тварин шляхом сушіння та подрібнення перетворюються на добавки для кормів. З екскрементів виробляють добрива [8].

## 1.2. Технології утилізації відходів сільського господарства

Принципи ощадливого та екологічного виробництва базуються на сучасних технологіях [9]. Вони дають змогу утилізувати, переробляти відходи сільського сектору. Існують сучасні засоби утилізації різних видів відходів сільськогосподарського виробництва, які визнані екологічно безпечними (рис. 1.1.2.1).



Рисунок 1.1.2.1 – Способи утилізації сільськогосподарських відходів

### Вивіз на поля

Перевірений століттями спосіб утилізації гною має плюси та мінуси. Коров'ячий, кінський гній із підсобних господарств допустимо вивозити в поля необробленим для поступового утворення перегною, добрива ґрунту. При цьому свинячі, курячі екскременти можуть завдати шкоди ґрунту. Через підвищену кислотність, наявність антибіотиків, стійких до їх впливу мікроорганізмів можна зіпсувати екосистему родючих шарів ґрунту [10].

### Компостування

Найефективніший спосіб переробки відходів рослинницької галузі сільського господарства – біоконверсія. Контрольоване бродіння дозволяє отримувати натуральні добрива, біопаливо. Частина рослинної маси також може використовуватися як корм для сільських тварин та птахів. Дотримання технології дозволяє отримати якісне добриво. Для цього необхідні спеціальні майданчики, обладнання, запаси матеріалів, які допомагають знизити кількість вологи у сировині: торфу, соломи та інших.

Компостування також допомагає отримати біогумус з рідкого курячого посліду та торфу. Залежно від технології, процес займає від п'яти днів до двох місяців. Для прискорення вдаються за допомогою корисних бактерій, інших мікроорганізмів, що форсують переробку посліду [11].

### Біоенергетичні методи утилізації

Комплексний підхід до утилізації відкривають біоенергетичні технології, спрямовані на:

- Переробка відходів тваринництва.
- Захоплення шкідливих газів.
- Отримання біологічного палива у рідкому, твердому, газоподібному видах.
- Створення добрив.

Установки працюють на гною, твердих побутових відходах, залишках сільськогосподарських кормів, забруднених стоках, використаних підстилках для звірів та птахів.

Шляхом поетапного підвищення температури та поділу продуктів бродіння одержують тверді добрива, газ для роботи ТЕЦ міні-формату, газомоторне паливо для сільськогосподарських машин, промислових охолоджувачів, рідкі аналоги дизельного палива та інші продукти [12].

#### Риболовчо-біологічні ставки

Каскад із ставків-накопичувачів у чотири етапи переробляє неочищені стоки сільськогосподарського виробництва у чисту воду для технічних потреб.

У перший став ставляться стоки з гноєм та іншими відходами. Відстоюючи, вони розшаровуються на тверді речовини – добрива – та рідку фракцію. Її поїдають спеціально запущені у ставок види планктону та водоростей.

У другому водоймищі водорості насичують стоки, що пройшли перший ступінь очищення, киснем. Надлишки екологічно чистих водоростей виловлюють та згодують худобі.

При попаданні в третій ставок водорості стають їжею для ракоподібних та черв'яків. Четвертий – заключний ставок – для розведення риби. Мальки годуються зоопланктоном та рослинами з третього ставка. Найчастіше розводять товстолобика, їжа якого - рослини, і коропа, що віддає перевагу рачкам і черв'якам.

#### Вермікультура

Прогресивна екологічна технологія, заснована на вирощуванні хробаків. У країнах частіше використовують каліфорнійську породу, в країнах пострадянського простору – дендробену венетта. У нетоксичних продуктах тваринництва – від посліду до мулових відкладень стічних труб – вирощуються колонії хробаків. З'їдаючи зайве, вони утворюють безпечний біогумус – добриво. Сама маса черв'яків використовується для підживлення тварин і птахів [13].

### **1.3. Переробка та використання харчових відходів**

Харчові відходи (ХВ) – це їжа, яка втратила споживчі властивості під час її використання, переробки чи зберігання. У невеликій кількості вони не становлять небезпеки для людини [14].

Зі зростанням міст кількість таких покидьків зростає. Якщо їх не утилізувати, вони стають розсадником мікроорганізмів і можуть спричинити епідемію. Переробка відходів харчування – проблема людської спільноти. Передові технологічні методи перетворюють це сміття на енергію, корм для тварин та добрива.

Щільність населення зростає. Щоб прогодувати людство, підприємства виробляють величезну кількість продуктів харчування. Галузь переробляє сировину тваринного та рослинного типу, інші ресурси. Одні компанії займаються первинною обробкою сировинних ресурсів, інші – вторинної [15]. Покидьки утворюються на різних стадіях виробництва, зберігання, реалізації продукції:

1. При виробництві: це відбраковані сировинні ресурси, які втратили цінність та не відповідають державним стандартам.

2. Під час реалізації: на базах, прилавках магазинів, ринках частина сировини втрачають властивості через порушення цілісності упаковки, термін придатності. Прострочена, неякісна їжа відбраковується та викидається.

3. Під час приготування їжі.

Отримані харчові відходи усім стадіям повинні збиратися, перевозитися на сміттєві полігони і складуватися. Частина сміття зберігається. Решта сміття використовується для вторинної переробки. На державному рівні розроблено правила та норми щодо поводження з харчовими відходами. СанПіН (санітарні правила та норми) – це державні нормативні акти. Вони запобігають інфекційним зараженням і масовим отруєнням людей та екології. Правила звернення є обов'язковими для виконання всіма особами будь-якої форми власності. За порушення санітарних нормативів громадяни несуть юридичну відповідальність [16].

Відходи харчового виробництва бувають у твердому та рідкому стані. Від їхньої фізичної якості залежить спосіб утилізації та вторинне застосування. В організаціях громадського харчування, школах, садах діють Держстандарти.

Вони рекомендують методи розрахунку кількості втрат під час приготування їжі. Для дотримання раціонального виходу придатної продукції використовують таблицю відходів харчових продуктів за їх холодної кулінарної обробки. Це допомагає знизити відсоток сміття [17].

У класифікаційному вітчизняному каталозі сміття ділять на 5 категорій небезпеки:

1. Перший клас найбільш шкідливий для екології;
2. Другий клас несе серйозну небезпеку. Період відновлення після дії триває 30 років;
3. Третій клас сміття менш небезпечний. Повернення до початкового стану можливе після 10 років;
4. Четвертий клас покидьків може завдавати природі незначних збитків. Період відновлення триває три роки;
5. Сміття п'ятого класу нешкідливе.

Відходи харчової промисловості ФККО відносять до 4 і 5 класу загрози. Значення має період відновлення екології.

У залишках їжі швидко розмножуються паразити, починаються гнильні процеси. Запах розкладання притягує комах та гризунів.

Особливі умови наказуються до їх тимчасового зберігання на території установи. Підприємства, де виникають залишки їжі, проводять їх збирання окремо від решти сміття.

Тимчасове зберігання харчових відходів за відсутності холодильного обладнання складає взимку 30 годин, влітку – 8. Ємності для збору повинні оброблятися за допомогою хімічних речовин. Вивіз проводять у ранковий та вечірній час [18].

Ємності, які використовуються для збору харчових відходів, не можуть застосовуватися для сміття іншого призначення.

Організація громадського харчування або дошкільна установа складають договір на вивезення харчових залишків. Зразок заповнення журналу обліку обігу харчових відходів замовляють у компанії, яка проводить санітарний аудит [19].

Транспортна організація, що має договір на вивіз харчових відходів, відвозить більшу частину сміття на полігони, де він зберігається. Інша частина, яка не пройшла денатурацію, застосовується для додаткового корму худобі.

Залишки їжі використовуються при виробництві кормів для худоби та домашніх тварин. Вони містять необхідні компоненти:

- жири;
- білки;
- крохмаль;
- мінерали;
- вітаміни.

Технологія, що застосовується, дозволяє отримати корм, придатний для повноцінного харчування.

#### Біопереробка

Переробка харчових відходів у корми передбачає використання чистих залишків без шкідливих нехарчових домішок. Біопереробка застосовується для утилізації сміття, яке не може застосовуватись для отримання їжі для тварин [20].

З допомогою нових технологій органіку переробляють бактерії. Технологія переробки перетворює сміття на перегній чи нешкідливий гумус, який не шкодить екології, а також безпечний для людини.

#### Сміттєзвалище

Полігони для сміття використовуються для різного виду покидьків. Вони займають родючі землі, руйнують ґрунт, виділяють органічні кислоти.

Зв'язуючись із важкими металами, потрапляють у воду, порушуючи баланс усієї екосистеми. Поховання харчових відходів на звалищах застосовується у низці країн. Він вважається застарілим методом утилізації [21].

#### Термообробка

При термальній обробці харчове сміття спалюють у печах. При спалюванні одержують енергію, яка використовується для опалення, підігріву води. Такий спосіб утилізації допомагає позбутися значних обсягів сміття. У ході виділяються токсичні речовини. Знезараження допомагає зменшити екологічну небезпеку [22].

#### Утилізація в домашніх умовах

Вдома багато хто викидає у відро залишки їжі або зливає їх у каналізацію. Використання харчових відходів має бути раціональним. Існують апарати, принцип дії яких ґрунтується на застосуванні черв'яків. Вони переробляють недоїдки на корисний гумус, який надалі застосовують як добрива. Використовуються метод компостування залишків їжі приватних ділянках [23].

#### Способи утилізації рідких харчових відходів

Утилізація рідких залишків відрізняється від переробки твердого сміття. У рідких продуктах утворюється осад.

На виробництві застосовують флотацію. З цією метою харчові відходи насичують повітрям. Бульбашки проникають у рідину. Вони допомагають осаду впливати на поверхню. Процес регулюється шляхом зміни подачі напору повітря та займає до 8 годин. Осад витягують, а потім утилізують. Якщо осадові речовини займають значний обсяг рідини, застосовують гравітаційний метод. Він допомагає ущільнити стік за допомогою тиску. Процедура займає 24 години [24].

Найбільш раціональним способом усунення є кондиціонування.

Процес складається з:

- реагентної обробки;
- безреагентної обробки осаду.

При першому способі переробка відходів харчових підприємств виходить у вигляді великих пластівців, у другому використовуються критичні температури [25].

Можливе видалення осаду за допомогою піролізу. Видалення протікає у безкисневому режимі. Волога під дією високої температури випаровується, потім отриманий сухий осад витягають. Останній метод найефективніший.

Вторинне використання харчових відходів, утилізація дозволяють зберегти природні ресурси, відновити екологічну рівновагу. Використання залишків їжі як компост підвищує родючість ґрунту. Використання енергії при спалюванні заощаджує паливні ресурси. Зменшується кількість сміттєзвалищ. Бюджетні кошти на будівництво нових полігонів можна направити на відновлення природного середовища [26].

Продукти утилізації ХВ та їх застосування

Харчові відходи після утилізації використовують як:

- мінеральна сировина – отримана за допомогою компостування сировина замінить природні мінеральні добрива, що видобуваються. Такий продукт не надає шкідливого впливу на рослинний та тваринний світ;
- добавки – перероблені в кормові добавки, корисні інгредієнти зберігаються та застосовуються повторно;
- замітник палива – відходи можуть застосовуватись як альтернативне паливо, замінюючи деревину та газ. Використовуючи передові способи, одержують газ шляхом бродіння органічних речовин та одержання метану.

Таким чином, утилізація харчових відходів допоможе не тільки зберегти природу, а й отримати зиск від вторинного використання [27].

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СУБСТРАТУ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ГРИБІВ ТА ЙОГО ПОДАЛЬША УТИЛІЗАЦІЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОЦЕСУ ВЕРМИКОПОСТУВАННЯ

#### **2.1. Загальна характеристика інтенсивного грибівництва, технологія, продукція, відходи**

Грибівництво в Україні – одна з нових, молодих галузей сільськогосподарського виробництва. У світовій практиці – це високорентабельне виробництво, що базується на сучасній науково обґрунтованій технології, забезпеченій технічними засобами, технологічним обладнанням та системою машин. Розвиток матеріальної бази галузі дозволило за останні 30 років перевести виробництво печериці та гливи на промислову основу, істотно підвищити вихід високоякісного продукту, що має великий попит як на внутрішньому, так і на міжнародному ринку. Галузь грибівництва набуває великого значення у зв'язку з серйозним погіршенням екологічного середовища та неможливістю використання в їжу дикорослих грибів [28].

Грибівництво відрізняється від інших галузей сільськогосподарського виробництва та має ряд переваг завдяки можливості виробництва грибів цілий рік, інтенсивному типу виробництва, високій врожайності, можливості утилізувати відходи інших галузей сільського господарства та використанню різних пристосованих приміщень за їхньої відповідної реконструкції. Переведення галузі грибівництва на індустріальну основу в нашій державі почався наприкінці минулого століття, коли були введені в експлуатацію два великі грибівницькі комплекси потужністю 700т грибів на рік кожен, побудовані за спільним радянсько-голландським проектом. Розвиток галузі йшло шляхом організації великих підприємств-гектарників з обсягом виробництва свіжих грибів 800-1000 т на рік, як на вітчизняному, так і на імпортному устаткуванні [29].

Великі промислові комплекси з виробництва печериць є спеціалізованими підприємствами з високим (до 90%) рівнем механізації та автоматизації технологічних процесів. Для підтримки оптимального мікроклімату, регулювання подачі повітря та відведення газоподібних продуктів обміну речовин камери вирощування грибів обладнано системами кондиціонування, водо- та паропостачання, опалення та вентиляції, а також системами автоматичного контролю та регулювання умов мікроклімату з використанням комп'ютерних систем [30]. Грибівництво – перспективна галузь сільськогосподарського виробництва в Україні, яка привертає до себе увагу не лише великих, а й дрібних виробників.

Попередня підготовка соломи полягає в її зволоженні до 75-80% на спеціальному майданчику компостного цеху, відминанні колісним трактором, внесення добавок – курячого посліду, мінеральних добрив та їх змішувань із зволоженою соломою за допомогою фронтального навантажувача або бульдозера. Солому укладають на майданчик шаром близько 1 м і за допомогою стаціонарної системи поливу зволожують протягом 3-5 днів. Витрата води становить 2500-3500 л на 1 т соломи. У процесі зволоження здійснюють перемішування, а в кінці періоду зволоження на шар соломи за допомогою тракторного гноєрозкидачу кладуть курячий послід. Суміш соломи з курячим послідом для розм'якшення формують бурт за допомогою фронтального тракторного навантажувача і витримують протягом 4-5 днів. Якщо необхідно масу в період розм'якшення додатково зволожують до 72-75%. Витрата води становить 500-1000 л на 1 т повітряно-сухої соломи [31].

При приготуванні субстрату на основі соломистого кінського гною попередня підготовка гною складається з його заготівлі, до зволоження (при необхідності), внесення добавок та їх змішування з кінський гній. Розм'якшену масу соломи формують у пухкий бурт шириною 1,8-2,0м, висотою 1,7-1,8м довільної довжини. У період формування бурта всю масу чи її окремі частини зволожують.

При промисловому вирощуванні культури бурт формують за допомогою буртоукладальної машини, масу подають у приймальний бункер машини фронтальним навантажувачем трактором. Після розігріву (на третій-четвертий день після формування) на його поверхню вносять гіпс з розрахунку 60 кг на повітряно-сухий маси соломи (20-25 кг на 1 т маси, що фементується). Потім бурт перебивають. Наступні перемішування здійснюють через 3-5 днів у міру підвищення температури всередині бурта до 65-70° С [32].

Число перемішувань залежить від якості попередньої підготовки матеріалів та активності процесу ферментації. Як правило, для отримання субстрату хорошої якості трьох-чотирьох перемішувань достатньо. У період перемішування (краще на початку) масу в цілому або її окремі її місця при необхідності зволожують. Загальна витрата води під час перемішувань становить 1000-1500 л на 1 т повітряно-сухої соломи.

Якщо попередню підготовку соломи провести не можна, вихідні матеріали закладають у бурт, ретельно зволожують водою протягом декількох днів, а потім здійснюють ферментацію за аналогічною схемою. Цей спосіб можна використовувати при приготуванні субстрату на основі кінського або соломистого кінського гною [33].

В даний час розроблена технологія з укороченим періодом ферментації, що забезпечує скорочення втрат маси субстрату та поживних речовин. Однак практика показує, що освоєння технології «короткого компостування» зазвичай доцільно проводити лише після ретельного відпрацювання запропонованої в рекомендаціях технології. Інформацію з технології «Короткого компостування» представляє науково-технічний центр із захищеного ґрунту та грибівництва при Інституті овочівництва та баштанництва.

Готовий для пастеризації субстрат повинен мати такі показники:

- однорідну структуру, солону темно-коричневого кольору при скручуванні джгута рватися зі значним зусиллям;

- при стисканні мазати руку, при цьому між пальцями виділяється рідина, солома добре пружинить;

- вологість 70-75%, вміст загального азоту (на суху речовину 1,5-2,0%, різкий запах аміаку, реакція середовища (рН водної суспензії) близько 8) [34].

### ЗАКЛАДКА СУБСТРАТУ

Готовий субстрат перевозять у печерицю і наповнюють ним стелажі, контейнери або камеру (тунель) для пастеризації в масі. При вирощуванні печериць за однозольною системою на стаціонарних стелажках їх наповнюють субстратом за допомогою комбінованого транспортера, приймальний бункер транспортера субстрат завантажують фронтальним тракторним навантажувачем. Витрата субстрату 100-120 кг на 1м<sup>2</sup> стелажу. Після завершення закладки камеру вентилують протягом 10-15 хв, очищають, ретельно промивають стіни і підлогу і встановлюють датчики дистанційного контролю температури [35].

При вирощуванні печериць за багатозональною системою субстрат пастеризують у спеціальних камерах пастеризації в контейнерах або масі. Контейнери наповнюють субстратом на спеціальній потоковій лінії, встановлюють пакети, перевозять в камеру пастеризації. Після встановлення контейнерів камеру очищають, промивають підлогу та встановлюють датчики дистанційного контролю температури. При пастеризації субстрату в масі камеру пастеризації (тунель) наповнюють субстратом за допомогою спеціального транспортера безпосередньо на ґратчасту підлогу камери шаром 1,8-2,0 м. Важливою умовою цього способу пастеризації є рівномірне укладання субстрату площі підлоги камери і висоті його шару до 2м з метою забезпечення рівномірного розподілу потоку повітря. Після завершення операції встановлюють датчики дистанційного контролю температури та закривають двері камери. Витрата субстрату на 1 м<sup>2</sup> площі підлоги камери становить 800-900 кг. При вирощуванні печериць старим традиційним методом, без пастеризації, субстрат завантажують у ємності або укладають у гряди у культивацийному приміщенні [36].

При укладанні гребневих гряд використовують спеціальні дерев'яні форми. Після укладання в гряди або ємності субстрат витримують протягом 5-7 днів для того, щоб після саморозігріву субстрату його температура знизилася до 23-25°C.

#### Відходи грибівництва

При виробництві 1 т плодових тіл гриба гливи утворюється не менше 6 т відпрацьованого субстрату. Він є ферментований міцелієм гриба органічний матеріал - солону, соняшникову лушпиння і т. п. [3, 4].

У зв'язку з цим виникає необхідність у пошуку раціональних способів та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо утилізації відходів грибівництва [37].

Аграрне виробництво на етапі має орієнтуватися на мінімізацію шкоди природі і досягнення гармонійного розвитку природно-антропогенних систем [38]. Пошук та розробка таких прийомів з надійним екологічним обґрунтуванням є одним із найважливіших аспектів розвитку сучасного аграрного сектору. Підвищення родючості ґрунту в таких межах, які потрібні для формування запланованого врожаю високої якості, не допускаючи при цьому забруднення навколишнього середовища, може бути досягнуто раціональним використанням біовідходів.

У численних зарубіжних та вітчизняних дослідженнях показано перспективність використання як добрива органічних відходів сільськогосподарського виробництва, зокрема соломи [39-41].

## **2.2. Характеристика процесів біоконверсії органічних відходів, їх відмінності**

Сучасна світова наука і практика приділяють велику увагу проблемам переробки органічних відходів та раціонального використання їх як високоцінного біологічного ресурсу. Однак застосування більшості технологій біоконверсії потребує значних енерговитрат, при цьому ці технології не є безвідходними та, відповідно, екологічно чистими

Якість більшості отриманих з відходів тваринництва органічних добрив не відповідає агротехнічним та екологічним вимогам через наявність патогенів, життєздатного насіння бур'янів та неприємного запаху, що не виключає ймовірності забруднення повітря, ґрунту та ґрунтових вод водорозчинними фракціями азотовмісних сполук. Наприкінці ХХ століття у США, Західній Європі, Японії та інших країнах світу почали впроваджувати вермітехнологію переробки органічних відходів, яка вирішує ці проблеми [42]. Вермітехнологія – система організаційно-технічних заходів щодо культивування дощових компостних черв'яків на різних субстратах у конкретних екологічних умовах, обробці та застосуванні копроліту та біомаси черв'яків у сільському господарстві. Це новий напрямок сільськогосподарської науки. Її застосування дозволяє підвищувати продуктивність, екологічну стійкість та саморегулюючу здатність агроєкосистем. У світовій літературі вермітехнологію розглядають як елемент екологічно чистого сільськогосподарського виробництва. Вермітехнологія має два напрямки:

- вермикультивування, при якому розмножують дощових компостних черв'яків або одержують їхню біомасу;
- вермикомпостування, головною метою якого є екологічно безпечна переробка різних органічних відходів та отримання маси екскрементів дощових компостних черв'яків – копроліту (біогумуса, вермікомпоста) – цінного органічного добрива [43].

При переробці органічних відходів цими методами кінцевими продуктами є біогумус (органічне добриво) і біомаса дощових черв'яків. технологіях знешкодження ґрунтових Основні цілі вермикомпостування – це переробка органічних субстратів для отримання удобрювальних компостів (біогумуса) та відновлення родючості ґрунтів, знешкодження побутових відходів, ОСВ, інших відходів, що важко піддаються утилізації [44].

Найбільшого поширення вермикультивування та вермикомпостування набули у США, Канаді, Китаї, Індії, Південній Кореї, Австралії, Італії, Мексиці та на Кубі [45-49].

Дощові черв'яки потребують насамперед азотовмісної органіки, запаси якої в ґрунті обмежені, тому найбільша чисельність дощових черв'яків зазвичай спостерігається в місцях локалізації органічного субстрату, багатого азотом (на пасовищах, поблизу екскрементів травоядних тварин і т.д.). Крім азотовмісних речовин (білків, амінокислот) сировина, що переробляється, повинна містити вуглеводи, різноманітні мінеральні речовини, вітаміни, клітковину, і, навпаки, не містити токсичних отруйних речовин, характерних для міських ТПВ. У складі субстрату для зростання черв'яків також має бути присутнім мінеральний інертний наповнювач, пісок або ґрунт. Оптимальними для життєдіяльності черв'яків є вологість 60-80%, температура 15–25 ° С, рН 7,0–7,6, темрява, гарна аерація. Хробаки надзвичайно чутливі до виділення газів, що утворюються в процесі гниття – аміаку, сірководню та метану. Допустимий рівень вмісту аміаку – 0,5 мг на кілограм субстрату. Тому в промислових установках вермикультивування намагаються уникати утворення мертвих (застійних) зон і підтримують вміст кисню в газовій фазі не менше 15%, а CO<sub>2</sub> не більше 6%. На розмноження хробаків негативно впливає перенаселеність субстрату, що переробляється, тому щільність популяції є важливим контрольованим показником [50].

По відношенню до перероблюваних субстратів черв'яки повинні мати не тільки підвищену здатність споживати субстрат і високу швидкість його розкладання, але й швидко адаптуватися до зміни субстрату і бути стійкими до захворювань. З усієї різноманітності дощових хробаків для вермикультивування придатні лише кілька видів. Багато видів спеціально виведених рас черв'яків вимагають адаптації до локальних умов і часто заражені нематодами - іншими хробаками-паразитами, багато з яких фітопатогенні для сільськогосподарських рослин. Боротьба з нематодою надзвичайно складна та малоуспішна [51].

### **2.2.1. Біотехнологічні процеси вермикультивування та вермикомпостування**

Вермикультивування – процес відтворення популяції дощових хробаків. Виробничий досвід свідчить, що для підвищення ефективності вермітехнології цей процес повинен базуватися на культивуванні гнійних хробаків, які мають високі технологічні якості. Практично, основним компонентом усіх технологій вермикомпостування є гнійний черв'як *Eisenia fetida foetida* [51].

Компостні черв'яки інтенсивно харчуються і споживають велику кількість органіки. Численні джерела інформації на цю тему наводять різні відомості щодо продуктивності вермікультури.

В основі процесу вермикомпостування лежить біологічна особливість черв'яків заковтувати шматочки органічної речовини, трансформувати в кишковій порожнині до гуматів і виділяти у вигляді невеликих грудочок довгастої форми (копролітів). Органічну сировину, заселену черв'яками, протягом 1–2 днів втрачає неприємний запах, а через 4–6 тижнів перетворюється на органічне добриво, властивості та якість якого залежать від виду компостованого матеріалу [52].

Короткий термін компостування пояснюється тим, що сировина переробляється одночасно трьома групами організмів: хробаками, найпростішими та мікроорганізмами. У цьому створюються умови, які сприяють придушенню патогенної мікрофлори. Коефіцієнт гуміфікації при традиційній переробці органічної сировини зазвичай не перевищує 10%, а в сировині, заселеному черв'яками, він збільшується в 1,5 – 2,5 рази [53].

Вермикомпостуванням досягається не тільки трансформація гною (посліду) тварин та/або підстилки, соломи, опаду листя та ін. в органічне добриво (біогумус), а й одержання сировини у вигляді маси черв'яків для виробництва кормової добавки.

Технологія вермикомпостування заснована на тому, що черв'яки в процесі життєдіяльності заковтують органічні залишки, подрібнюють їх в

кишечнику, хімічно трансформують і викидають назовні, тим самим збільшуючи площу їх контакту з мікроорганізмами-деструкторами, що беруть участь у розкладанні відходів, і покращують умови для їх.

Черв'яки роблять процес перетворення органічного матеріалу більш інтенсивним, також відбувається активна мінералізація органічної речовини. Вивільняються такі біологічно активні речовини, як фосфор та калій.

Компостування за допомогою дощових черв'яків призводить до утворення особливої структури ґрунту. Компост містить поживні речовини у формі, найбільш сприятливій для живлення рослин. Крім того, його можна вносити у будь-якій концентрації [54-56].

### **2.2.2. Характеристика продуктів вермикультивування та вермикомпостування**

Вермикультивування є потужним джерелом повноцінного білка для тваринництва, що пояснюється, з одного боку, багатим амінокислотним складом, з іншого боку, пролонгованою дією біостимуляторів вермікультури, які покращують обмінні процеси і зміцнюють імунну систему, що підвищує збереження та ефективність використання кормів. Застосування цих кормів дозволяє підвищити живу масу, зокрема птиці, на 40% порівняно з контролем та збільшити збереження птиці на 10%, що пояснюється не лише покращенням протеїнової частини раціону, а й активністю травних ферментів [57].

Одна тонна органічної їжі при переробці її хробаками дає 100 кг біомаси хробаків, що відрізняється високою поживною цінністю. Хробаки містять до 70% білка, що містить 18 амінокислот, у тому числі 8 незамінних, до 8-11% жиру, до 5-20% вуглеводів. До складу біомаси входять численні ферменти, вітаміни групи В, біотин, нікотинову, фолієву та пантотенову кислоти, мікроелементи, а також низку фізіологічно активних сполук.

З кожної тони субстратів на основі пташиного посліду при культивуванні гною утворюється 8 кг живої біомаси черв'яків за цикл їх розвитку (160 + 20 діб) з площі 1 кв. м. Протягом року кількість їх зросте

приблизно у 1000 разів, біомаса більш ніж у 100 разів. Виготовлений з гнійних черв'яків порошок містить приблизно 61-72% білків (більше ніж рибне борошно (61%), м'ясне борошно - 60%, білковий концентрат сої - 45% або сухі дріжджі - 44%).

На думку італійських фахівців, можна отримувати з 1 кв. м. до 100 кг біомаси черв'яків на рік.

В даний час серед споживачів величезною популярністю користуються органічні продукти, а також забороняють використання генетично-модифікованих продуктів (ГМО). господарстві на полях не використовують мінеральні швидкорозчинні добрива, а для боротьби зі шкідниками використовують фізичні та біологічні методи: ультразвук, шум, світло, пастки, температурні режими. а також додавання штучних ароматизаторів, барвників (крім тих, що визначені в відповідних стандартах) [58].

Загалом, це фрукти та овочі, зростання і розвиток яких відбувається в природному середовищі, при цьому використовуються натуральні добрива. лише приватні фермерські господарства, використовуючи різні компости. Одним з екологічно чистих компостів в органічному рослинництві є вермикомпост. В даний час у будь-якому господарському магазині можна купити ґрунтовий ґрунт, у складі якого обов'язковим компонентом є вермикомпост [59].

Дуже суттєво відмінність біогумусу від простих органічних добрив: у ньому міститься велика кількість водорозчинних форм азоту, фосфору та калію – найнеобхідніших речовин. Мікроелементи теж переходять у більш рухливу форму. Зміст доступних водорозчинних фракцій у біогумусі також дуже високий. Це особливо важливо в перший період росту та розвитку рослин [60].

Біогумус або вермикомпост виходить при утилізації органічної сировини (різних відходів) за допомогою дощових хробаків промислових ліній. До основних його властивостей відносяться високий вміст гумусу, покращені фізичні властивості, низька кислотність, малий вміст важких

металів, що залежить від виду сировини, що утилізується. Крім підвищення врожайності, його можна застосовувати для «омолодження» ґрунту у разі його деградації. Технологія вермикомпостування є практично безвідходною. Вона заснована на здатності черв'яків поглинати в процесі своєї життєдіяльності органічні залишки та ґрунт, які в організмі черв'яків подрібнюються, хімічно трансформуються, збагачуються поживними елементами, ферментами та мікроорганізмами [61].

Біогумус є чорною розсипчастою і приємно пахнучою ґрунтоподібною масою, схожою на чорнозем. Оскільки біогумус містить велику кількість (до 32% на суху вагу) гумінових речовин – гумінові кислоти, фульвокислоти та гуміни – це надає цьому органічному добриву високі агрохімічні та ростстимулюючі властивості.

Всі поживні речовини знаходяться в ньому у збалансованому поєднанні та у вигляді біодоступних для рослин сполук. Біогумус не містить патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів, насіння бур'янів та важких металів. Більш того, він містить у собі унікальну спільноту корисних для ґрунту та рослин мікроорганізмів, які при внесенні біогумусу в ґрунт заселяють її, виділяють фітогормони, антибіотики, фунгіцидні та бактерицидні сполуки, що призводить до витіснення патогенної мікрофлори. Це все, зрештою, оздоровлює ґрунт і усуває багато поширених хвороб рослин. Добриво легко та поступово засвоюється рослинами протягом усього циклу свого розвитку. Застосування цього добрива покращує агрохімічні властивості, підвищує якість та покращує врожай сільськогосподарської продукції.

У США та Канаді розроблені сучасні вермітехнології, що дозволяють утилізувати всілякі органічні відходи та отримувати протягом 7 діб із площі 20 кв. м 1 т біогумусу.

За даними інших авторів за 200 днів – на 1 кв. м переробляється понад 1 т. компосту і виходить 500 кг біогумусу 50% вологості та 10 кг біомаси живих черв'яків. При цьому маса збільшується в 20-50 разів (при густині 2-3 тис. на

1 кв. м). Крім того, канадські вчені вказують, що 1 т гною за 24 години споживають як їжу 1 т свинячого гною. Адаптація гною до свинячого гною становить 6 місяців. Якщо гряда – (2 кв. м) міститиме 100 тис. черв'яків змішаного розміру, включаючи кокони, то з цієї гряди можна отримати 6 ц. біогумусу на рік та щомісяця 10 тис. дорослих особин [62].

Ефективність біогумусу:

– швидко відновлює природну родючість ґрунту, покращує її структуру та здоров'я;

– не має інертності дії: рослини та насіння відразу реагують на нього;

– скорочує терміни проростання насіння, прискорює ріст та цвітіння рослин, скорочує термін дозрівання плодів на два-три тижні;

– забезпечує міцний імунітет у рослин, підвищуючи їх стійкість до стресових ситуацій, несприятливих погодних умов, бактеріальних та гнильних хвороб;

– забезпечує високу приживаність саджанців та розсади, оптимальне зростання квітів, їх інтенсивне та тривале цвітіння;

– значно підвищує врожайність та покращує смакові якості продукції, що вирощується;

– пов'язує у ґрунті важкі метали та радіонукліди, не дає рослинам накопичувати нітрати;

– забезпечує стабільний високий екологічно чистий урожай.

Таким чином, біогумус є дуже цінним добривом у сільському господарстві. Його застосування дозволяє збільшити врожайність культур, знизити кислотність ґрунту, збільшити коефіцієнт гуміфікації в 1,5-2,5 рази, покращити мікрофлору ґрунту, знизити кількість валових форм важких металів у ґрунті [63].

## РОЗДІЛ 3

### ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВЕРМИТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ІНТЕНСИВНОГО ГРИБІВНИЦТВА

Поява вермітехнології та дедалі зростаюче використання її у різних країнах викликані несприятливими змінами довкілля, необхідністю екологічно безпечно утилізувати значні обсяги органічних відходів різного походження. Вермітехнологія відноситься до біологічних способів переробки органічних відходів (біоконверсія). Привабливість даного методу полягає у його біологічній основі, що виключає небезпеку забруднення навколишнього середовища.

Метод вермикомпостування дозволяє створити механізм біохімічного кругообігу речовин, що дає можливість організувати практично безвідходний, замкнутий цикл сільськогосподарського виробництва. У зв'язку з цим, процеси вермикультивування та вермикомпостування є перспективними напрямками не тільки для утилізації органічних відходів та утворення цінного добрива, але й для отримання затребуваних біологічно активних кормових добавок.

ФГ «Дяків» спеціалізується на вирощуванні овочевих культур закритого типу, зернових та олійних культур, грибів та ін. У результаті вирощування грибів утворюється значна кількість органічних відходів, що є відпрацьованим субстратом. Для утилізації відходів витрачаються кошти (вивезення на звалища).

#### **3.1. Характеристика об'єктів дослідження**

Об'єкт дослідження – компостна технологічна лінія дощового черв'яка (див. рис. 3.1)



Рис. 3.1.1 – Компостна технологічна лінія дощового черв'яка виду *Eisenia fetida*.

Активність і вплив природних поселень дощових черв'яків-епігеїків здебільшого обмежені верхнім шаром ґрунту та підстилкою. Фактично, є «перетворювачами підстилки». Вони харчуються органічними відходами, що розкладаються, але при цьому іноді поглинають і ґрунт. Ці черв'яки не мають звички постійно знаходитися в одному місці. Вони володіють високою рухливістю, коротким життєвим циклом, що мають невеликі або середні розміри, швидко ростуть і розмножуються, а також здатні швидко адаптуватися до дуже мінливих умов навколишнього середовища на поверхні ґрунту.

Зазвичай вони мешкають в областях, багатих на органічну сировину, типу верхнього шару ґрунту, в лісі під купами листя або стовбурів дерев, що розкладаються. Досить часто їх можна виявити в купах гною. Завдяки тому, що вони не роблять глибоких нір і воліють поглинати багатий органікою матеріал, їх легко вирощувати в штучних умовах. Ці природні організми для розкладання – «компостери» є тим типом черв'яків, який використовується широко та повсюдно для вермикомпостування та вермикультивування.

Серед компостних черв'яків саме епігеїки використовуються в комерційних цілях. Компостний черв'як *Eisenia fetida* є найбільш широко використовуваним людиною в комерційних цілях. Цей вид черв'яка легко адаптується до

широкого спектру змін навколишнього середовища та різного виду корму. Стратегію виживання цього виду черв'яків також добре вивчено в лабораторних умовах. Він може працювати в широкому температурному діапазоні від 4 до 30°C і може виживати протягом деякого часу навіть у замороженому органічному матеріалі. Відомо, що яйця, що знаходяться в 12 коконах, залишаються життєздатними, будучи замороженими, протягом декількох тижнів. *Eisenia fetida* – Ейсенія пахуча або черв'як гнойовий (компостний), вважається, що цей вид компостного черв'яка з'явився як підстилковий вид у гірських лісах на північ від Середземного моря. Він також мешкає у багатьох лісах у південних регіонах Європи, але тепер є звичайним видом у гнойових та компостних купках.

*Aporrectodea caliginosa* (також відомий як *Allolobophora similis* [1] або сірий черв'як) — дощовий черв'як, який зазвичай зустрічається у Великій Британії. Його можна впізнати за трьома різними відтінками кольору на передньому кінці, а його довжина становить 6 сантиметрів, коли він не рухається. Його сідлоподібні подушечки зазвичай утворюють двогорбий хребет через три сегменти вздовж сідла, однак це нечітко видно. Хробак здебільшого залягає в непостійних горизонтальних норах у верхньому шарі ґрунту, рідко зустрічається в листовому опаді. Як і більшість хробаків, його раціон складається тільки з ґрунту [64]. Матеріали дослідження: відходи грибівництва – відпрацьовані субстрати від виробництва гливи та печериць, одержувані в результаті виробничого процесу в ФГ «Дяків».

## **3.2. Методика досліджень та розрахунків**

### **3.2.1. Умови проведення процесу вермикультивування**

Температура. Черв'яки можуть жити у досить широкому діапазоні температур (від 5 до 30°C). Оптимальною для комерційного виробництва дощових черв'яків є температура від 15 до 26°C. Оптимальний діапазон температур для розмноження черв'яків – від 15 до 21°C.

Якщо температура в ящиках з черв'яками піднімається до небезпечно високого рівня, необхідно охолоджувати субстрат за допомогою води або зменшити внесення свіжого корму.

**Вологість.** При вирощуванні дощових хробаків оптимальною є вологість 70-85%, тобто близька до вмісту води в тілі черв'яка. Субстрат виглядає розсипчастим і сирым, а не сухим або надмірно вологим. Черв'яки повинні бути захищені від впливу прямого сонячного світла, щоб не перегрітися і не загинути. Якщо при перевантаженні ящика відчувається неприємний запах, це означає, що субстрат занадто сирий. Тоді необхідно менш інтенсивно додавати органічний матеріал, щоб хробаки встигали за вами. Вологість нижче 30-35% гальмує розвиток черв'яків, а при вологості 22% вони гинуть протягом тижня. Варто уникати надмірного зволоження, оскільки черв'яки можуть просто втопитися.

**Провітрювання.** Дощові черв'яки можуть жити при відносно низькому вмісті кисню в середовищі, і навіть виживати у воді, якщо там є розчинений кисень. Однак якщо кисень відсутній зовсім, черв'яки можуть померти. Кисень може вичерпатися, якщо перестаратися з поливом і у разі надміру великої кількості свіжого корму. Скоротивши полив, припинивши подачу свіжого корму і перевертаючи субстрат, можна досягти оптимального вмісту кисню. Перемішувати субстрат рекомендується один раз на два-три тижні.

**Кислотність (рН).** Значення рН вказує, чи є ґрунт кислим (1–6), нейтральним (7) або лужним (8–14). Дощові черв'яки комфортно почуваються в діапазоні показників кислотності від 4,2 до 8,0. Для комерційного виробництва рівень кислотності має підтримуватися від 6,8 до 7,2. Існує багато способів перевірки рівня кислотності – від лакмусового папірця до спеціального приладу. Вимірювати рівень кислотності бажано один раз на тиждень на глибині 10-20 см і один раз на місяць у всьому шарі субстрату.

Підвищену кислотність можна виправити за допомогою вапна (карбонат кальцію), перемішавши її з субстратом, знижену – за допомогою моху (бажано

з торфовищ, але можна і лісового). Додавати його необхідно доти, доки значення рН не підніметься до 6,8-7,2 [3].

Дотримання цих рекомендацій сприяє активному росту і розмноженню дощових черв'яків при максимальному споживанні корму, що призводить до прискорення переробки органічної фракції відходів, збільшення виходу біомаси черв'яків [25]. не можуть виживати в органічних відходах, що містять аміак, наприклад, у свіжій підстилці свійської птиці. Дощові черв'яки гинуть і в органічних відходах при підвищених концентраціях неорганічних солей.

### 3.2.2. Методи дослідження субстрату та біогумусу

Метод визначення вологи та сухого залишку. Підготовка проб. Випарювальні чаші або бюкси попередньо висушують у сушильній шафі при температурі 105-110°C до постійної маси і зважують з похибкою не більше 0,1 г.

#### Визначення масової частки вологи

Наважку добрива поміщають у фарфорову чашу або бюксу і ставлять у шафу, попередньо нагріту до температури 105-110°C і висушують протягом 5 год. Потім чашу або бюксу з наважкою виймають з сушильного шафи, охолоджують на повітрі протягом 30 хв. Кожне наступне зважування проводять після висушування протягом 30 хв та охолодження чаші з наважкою на повітрі протягом 30 хв.

Аналіз вважається закінченим, якщо різниця результатів двох наступних зважувань не перевищує 0,1 г.

Наважку органічного добрива поміщають у порцелянову чашу. Чашу з навішуванням поміщають на водяну баню і випарюють насухо при періодичному помішуванні скляною паличкою. Потім чашу переносять у попередньо нагріту сушильну шафу і висушують при температурі 105-110°C до постійної маси. Перше зважування проводять через 1 годину, повторне через 30 хв. Щоразу перед зважуванням чашу з наважкою охолоджують повітря протягом 30 хв.

Масову частку сухого залишку у відсотках обчислюють за формулою:

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100$$

, (3.2.2.1)

де:

$m_1$  – маса чаші зі скляною паличкою та сухим залишком, г;

$m_2$  – маса чаші зі скляною паличкою, г;

$m$  – маса навішування, р.

Масову частку вологи у відсотках обчислюють за формулою (3.2.2.2) або (3.2.2.3):

$$X_1 = \frac{m_3 - m_4}{m} \cdot 100, \quad (3.2.2.2)$$

де:

$m_3$  – маса чаші або бюкса з наважкою до висушування, г;

$m_4$  – маса чаші або бюкса з наважкою після висушування, г;

$m$  – маса навішування, р.

$$X_1 = 100 - X, \quad (3.2.2.3)$$

де:  $X$  – масова частка сухого залишку, %.

Аналіз вважається закінченим, якщо різниця результатів двох наступних зважувань не перевищує 0,1 г.

Метод визначення процентного вмісту золи у субстраті

Для визначення процентного вмісту золи в субстраті використовувався метод визначення сирієї золи згідно з ДСТУ 26226-95 Корми, комбікорми, комбікормової сировини. Сутність методу полягає у визначенні маси залишку після спалювання та подальшого прожарювання проби.

Підготовка тиглів:

Тигель прожарюють у печі при температурі  $(525 \pm 25)^\circ\text{C}$  протягом 2 год, охолоджують в ексикаторі і зважують на терезах 2-го класу точності. Цей процес повторюють (прожарюючи тигель протягом 30 хв) до досягнення постійної маси тигля. е. різниця результатів двох послідовних зважувань має перевищувати 0,001 р. Прожарений та доведений до постійної маси тигель зберігають в ексикаторі над хлористим кальцієм.

Проведення випробування:

У тигель, висушений до постійної маси, поміщають випробувану пробу масою близько 0,5-2 г (кількість золи, що визначається, повинна становити не менше 50 мг). Пробу укладають у тигель без ущільнення для того, щоб до її нижніх шарів надходив кисень повітря. Пробою заповнюють трохи більше половини тигля.

Тигель з пробою зважують з точністю до 0,001 г, потім його поміщають у холодну піч і підвищують температуру до 200-250 ° С (до появи диму). Допускається проводити попереднє спалювання проби біля відкритих дверцят муфеля, нагрітого до темно-червоного гартування (525±25) °С, на електричній плитці або газовому пальнику, у витяжній шафі, уникаючи займання проби. Після припинення виділення диму температуру печі доводять до (525±25) °С прожарюють тигель з пробою протягом 4—5 год. Відсутність частинок вугілля та рівномірний сірий колір золи вказують на повне озолення матеріалу.

За наявності частинок вугілля тигель із золою охолоджують на повітрі, додають кілька крапель дистильованої води та 1-2 см<sup>3</sup> 3%-ного розчину перекису водню. Вміст тигля випарюють (в сушильній шафі, на електроплитці або іншим способом), тигель поміщають у піч і прожарюють при температурі (525±25)°С протягом 1 год. Після закінчення прожарювання тигель із золою охолоджують у вимкненій печі, потім в ексікаторі та зважують. У разі необхідності подальше прожарювання тигля із золою при вищевказаній температурі проводять протягом 30 хв, охолоджують в ексікаторі та зважують. Постійність маси вважається досягнутим, якщо різниця результатів двох послідовних зважувань становить трохи більше 0,001 р.

Обробка результатів:

Масову частку сирої золи (X) у відсотках у випробуваній пробі обчислюють за формулою:

$$X = \frac{G_1 - G_2 - G_3}{G} \cdot 100, \quad (3.2.2.4)$$

де:

G1 - маса тигля із золюю, г; G2 - маса тигля, г;

G3 – маса золи паперових фільтрів (береться за етикеткою на фільтрі), г;

G – маса випробуваного продукту, р.

За остаточний результат випробування приймають середньоарифметичні результати двох паралельних визначень. Результат виражають із точністю 0,1 % (т/т).

Визначення активної кислотності (рН)

Сутність методу полягає у потенціометричному вимірі активності водневих іонів у водному екстракті субстрату.

Проведення випробування:

Підготовлені водні екстракти субстрату поміщають скляний електрод і сольовий контакт електрода порівняння. Після остаточного встановлення потенціалу знімають свідчення зі шкали приладу. Показання приладу зчитують із похибкою до 0,05 од. рН. Електроди при перенесенні з однієї проби в іншу обмивають водою дистильованою і сушать фільтрувальним папером.

Обробка результатів:

За остаточний результат випробування приймають середнє арифметичне результати двох паралельних визначень, що допускаються розбіжності між якими не повинні перевищувати 0,15 од. рН.

Методи визначення вмісту азоту та сирого протеїну (за ГОСТ 13496.4-2019 Корми, комбікорми, комбікормові сировини) [65-66].

Сутність методу визначення азоту по К'ельдалю полягає в мінералізації органічної речовини проби киплячою сірчаною кислотою в присутності каталізатора з утворенням сірчаноокислого амонію, додаванні до охолодженого мінералізату надлишку гідроксиду натрію для виділення амонію, відгону і титрування виділеного аміаку перерахунку на масову частку сирого протеїну.

Метод Райта-Хоббі (Wright-Hobbie) використовується для оцінки мінералізаційної активності мікроорганізмів шляхом вимірювання швидкості розкладу органічних речовин за допомогою радіоактивно мічених субстратів.

Цей метод дозволяє вивчати кінетику поглинання та трансформації субстратів у природних умовах, що є основою для аналізу екофізіологічної активності мікробних угруповань.

Основні етапи методу:

### 1. Підготовка зразків

- Вибір природного середовища) для аналізу.
- Додавання радіоактивно міченого субстрату до зразка.

### 2. Інкубація

- Зразки інкубуються протягом визначеного часу при стабільних умовах, що максимально імітують природні.
- Паралельно можуть встановлюватися контрольні проби для корекції спонтанного радіоактивного розпаду або неензиматичних реакцій.

### 3. Вимірювання швидкості трансформації

- Вимірюється кількість радіоактивного вуглецю, що звільнився у формі  $\text{CO}_2$  (мініралізація субстрату).
- Визначаються залишки радіоактивно міченого субстрату в клітинах мікроорганізмів або у формі проміжних продуктів.

### 4. Розрахунок параметрів активності

- Обчислюється швидкість мініралізації ( $V_m$ ) та постійна напівнасичення ( $K_m$ ) на основі кінетичних моделей (модель Міхаеліса-Ментена).
- Аналізуються показники екофізіологічної ефективності, такі як співвідношення мініралізації до дихальної активності або до утворення біомаси.

Застосування методу:

- Вивчення динаміки органічного вуглецю в екосистемах.
- Оцінка адаптивності мікробних угруповань до різних типів субстратів.
- Дослідження впливу антропогенних факторів на функціональну активність мікроорганізмів.

Метод Райта-Хоббі є ефективним інструментом для комплексного аналізу функціонального стану мікробних угруповань, їхньої ролі в кругообігу речовин і впливу на екосистеми.

Метод Россі-Холодного, також відомий як метод стекол обростання, є ефективним підходом для дослідження структурно-функціональних характеристик мікробних угруповань у природних або штучних середовищах, включаючи вермикомпости. Він базується на спостереженні за колонізацією мікроорганізмами поверхонь спеціально підготовлених скла, занурених у досліджуване середовище.

Основні етапи методики

### 1. Підготовка скла

- Використовують чисті скельця (предметні або покривні), які попередньо обробляються для забезпечення рівномірної адгезії мікроорганізмів.

- Обробка включає миття в детергенті, промивання дистильованою водою та стерилізацію в автоклаві.

### 2. Встановлення скла у середовищі

- Скельця розміщують у вермикомпостному субстраті або на його поверхні, де підтримуються природні умови температури, вологості та аерації.

- Скельця закріплюють таким чином, щоб їх можна було легко вилучити для аналізу (наприклад, за допомогою дротових тримачів або спеціальних рамок).

### 3. Інкубація

- Тривалість експозиції скла у вермикомпості визначається метою дослідження, зазвичай від кількох днів до кількох тижнів.

- Під час експозиції мікроорганізми колонізують поверхню скла, формуючи біоплівки.

### 4. Зняття скла і підготовка до аналізу

- Після інкубації скельця обережно витягують, щоб не пошкодити біоплівку.

- Їх фіксують (наприклад, у розчині спирту або формаліну) для подальшого аналізу або використовують негайно.

## 5. Аналіз мікробної колонізації

- **Мікроскопія:** Біоплівки вивчаються під світловим, флуоресцентним чи електронним мікроскопом для визначення морфології, щільності та складу угруповань.

- **Забарвлення:** Використовують специфічні барвники для візуалізації бактерій, грибів або інших груп мікроорганізмів.

- **Кількісний облік:** Застосовують методи підрахунку колоній або клітин у біоплівках.

- **Молекулярні методи:** ДНК-аналіз для вивчення видового складу угруповання.

## 6. Обробка результатів

- Аналізуються швидкість і рівень колонізації скла, порівнюються дані для різних зон вермикомпосту (наприклад, активна зона переробки та зрілий компост).

- Визначаються екологічні параметри, такі як різноманіття та домінування окремих груп мікроорганізмів.

### Переваги методу

- **Простота:** Не потребує складного обладнання.
- **Натуральність умов:** Скельця колонізуються мікроорганізмами без істотного втручання в природні процеси.
- **Універсальність:** Можливість використання для широкого спектра середовищ, включаючи ґрунти, водні системи, органічні субстрати.

### Застосування у вермикомпостах

Метод дозволяє оцінити активність та склад мікробних угруповань, які відіграють ключову роль у процесах розкладу органічних речовин та формуванні стабільного компосту. Це допомагає вивчати взаємодію між мікроорганізмами та дощовими черв'яками, а також оптимізувати умови для ефективної переробки органічних відходів.

**РОЗДІЛ 4**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ СУБСТРАТУ ДЛЯ ВЕРМІКУЛЬТИВУВАННЯ**  
**ПОПУЛЯЦІЇ ДОЩОВОГО КАЛІФОРНІЙСЬКОГО ЧЕРВ'ЯКА**  
**EISENIA FETIDA**

**4.1. Фізико-хімічна характеристика досліджуваних вермикомпостів**

Результати аналізу деяких фізичних та хімічних властивостей субстратів для лабораторного вермикомпостування та властивостей промислового вермикомпоста представлені відповідно у табл. 4.1. З отриманих даних видно, що субстрати для вермикомпостування, що використовуються, істотно відрізняються по більшості з проаналізованих параметрів, чого ми і домагалися, щоб охопити в одному модельному експерименті субстрати з різними властивостями.

Таблиця 4.1 – Хімічні та фізичні властивості вихідних субстратів для компостування

Показник	Субстрати після вирощування гливи	Суміш на основі опалого листа	Субстрати після вирощування печериці
pH водний	6,33 ± 0,22	8,90 ± 0,5	8,87 ± 0,24
C орг., %	35,06 ± 0,3	36,76 ± 0,15	21,4 ± 0,165
N орг., %	2,18 ± 0,01	1,34 ± 0,03	1,39 ± 0,01
C:N	18,7 ± 0,28	32,01 ± 0,12	17,97 ± 0,20
S заг., %	0,56 ± 0,05	0,31 ± 0,02	0,23 ± 0,01
Зольність, %	24,7 ± 3,2	30,3 ± 4,4	50,4 ± 4,2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> мг/Г ,	0,65 ± 0,31	0,17 ± 0,09	0,16 ± 0,08
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> мг/Г ,	0,08 ± 0,07	0,20 ± 0,1	0,19 ± 0,07
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> мг/Г	0,45 ± 0,02	0,68 ± 0,08	0,74 ± 0,16
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> мг/Г	0,07 ± 0,03	0,12 ± 0,05	0,24 ± 0,09
Cl <sup>-</sup> мг/Г	0,93 ± 0,22	0,11 ± 0,04	2,13 ± 0,28
Питома поверхня, м <sup>2</sup> /Г	1,8	3,3	1,5
KP, % повністю	200 ± 23	215 ± 30	253 ± 15

Питома поверхня. Раніше вивчення змін питомої поверхні низькотемпературної адсорбції азоту, викликаних діяльністю дощових

черв'яків у вермикомпостностях не проводилося. Дослідження в лабораторних вермикомпостах вперше показало зниження питомої поверхні в 6 разів для листового вермикомпосту порівняно з аналогічним компостом, в 1,2 рази для субстрату після вирощування гливи та в 1,8 рази для субстрату після вирощування печериць (див. табл. 4.1).

Це суперечить даним збільшення питомої поверхні у вермикомпостах проти компостами, отриманих по адсорбції води [67]. Можливо, це пов'язано з багат шаровою адсорбцією води, яка завищує значення величини питомої поверхні вермикомпостів [68].

Вміст стабільних ізотопів. Особливий інтерес представляє вивчення можливості зміни вмісту важких стабільних ізотопів азоту та вуглецю у вермикомпостах порівняно з компостами під впливом життєдіяльності дощових черв'яків. Наше припущення було таке. Черви, активізуючи мікробіологічні процеси у вермикомпостах, збільшують емісію легких, більш біологічно активних ізотопів вуглецю і азоту  $C_{12}$  і  $N_{14}$  у вигляді газоподібних продуктів з вермикомпостів, збагачуючи їх тим самим важкими ізотопами  $C_{13}$  і  $N_{15}$ . Наші результати свідчать про відсутність змін вмісту стабільних ізотопів у вермикомпостах за 6 місяців інкубації порівняно з компостами (див. табл. 4.2).

Таблиця. 4.2 – Вміст важких ізотопів у досліджуваних субстратах вермикомпостах та компостах\*

Вид субстрату	$\Delta C^{13}, ‰$	$\Delta N^{15}, ‰$
ВКП	29,2	7,2
КП	29,8	7,1
ВКГ	29,2	2,2
КГ	29,1	2,3
ВКЛ	31,9	0,4
КЛ	31,5	0,3

\*Примітка: ВКП – вермикомпост з відпрацьованого субстрату вирощування печериць; КП – компост з відпрацьованого субстрату вирощування печериць; ВКГ – вермикомпост з відпрацьованого субстрату вирощування гливи; КП – компост з відпрацьованого субстрату вирощування гливи; ВКЛ – вермикомпост з суміші опалого листя; КЛ – компост з суміші опалого листя.

Аналіз даних таблиці 4.2 показав, що якщо згрупувати дані щодо природи сировини, то ізотопний склад азоту визначається ізотопним складом сировини.

Таким чином, можна поповнити перелік фізико-хімічних особливостей вермикомпостів зниженою питомою поверхнею, характерною для твердої фази вермикомпостів і дещо меншим значенням рН.

#### **4.2. Таксономічна структура бактеріальної спільноти**

Проведений нами аналіз кількох робіт, присвячених вивченню характеристики мікробної спільноти вермикомпостів молекулярно-генетичними методами [65], проте ніхто не порівнював внесок черв'яків і виду сировини у формування мікробної спільноти черв'яками. Порівняння мікробних угруповань за спектром жирних кислот окремо для вермикомпостів, вироблених з однієї сировини з використанням різних черв'яків (*Eisenia andrei*, *Eudrilus eugeniae*, *Lumbricus rubellus*), і вермикомпостів з різних субстратів, вироблених одним видом черв'яка показали, що і те, й інше істотно впливає на таксономічний склад мікробної спільноти вермикомпостів [68].

Проте, залишилось питання – що головніше діяльність черв'яків чи вид субстрату, у якому вони містяться. Тим більше, що дослідження спектру жирних кислот у копролітах черв'яків *E. fetida*, що ростуть на різному кормі, показало, що склад мікробної спільноти кишківника дощових черв'яків *E. fetida* безпосередньо залежить від субстрату, в якому вони живуть та розмножуються [69].

У дослідженні таксономічної структури бактеріальних спільнот вермикомпостів, виготовлених із субстратів від вирощування грибів глива та печериця, а також їх сумішей з опалим листям, особлива увага приділяється порівнянню мікробних угруповань цих типів вермикомпостів з аналогічними компостами, отриманими без участі черв'яків. Вермикомпостування, за допомогою черв'яків, значно змінює склад і функціональність мікробіому в порівнянні з традиційними методами компостування, що можна побачити, зокрема, у таксономічних відмінностях бактеріальних спільнот (див. табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Домінуючі мікроорганізми вермикомпостів та порівнюваних з ними компостів

Вид субстрату	Вермикомпост	Компост
Відпрацьовані грибні блоки інтенсивного вирощування гриба глива звичайної	<i>Xantomonas campestris</i> , <i>Staphylococcus sp.</i> , <i>Xantomonas campestris</i> , <i>Porphyrobacter</i> , <i>Pseudoxanthomonas sp.</i>	
	<i>Acidobacteria bacterium</i> , <i>Panacagrimonas sp.</i> , <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> , <i>Comamonas sp.</i> , <i>Arthrobacter sp.</i> , <i>Brevundimonas sp.</i> , <i>Comamonas sp.</i> , <i>Rhodococcus sp.</i>	<i>Rhizobium sp.</i> , <i>Bortedella sp.</i> , <i>Pseudosphingobacterium domesticus</i> , <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> , <i>Acidisphaera</i> , <i>Streptomyces sp.</i>
Відпрацьовані грибні блоки інтенсивного вирощування гриба печериці двоспорової	<i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Pseudallescheria boydii</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i> , <i>Malbranchea cinnamomea</i> , <i>Mortierella echinosphaera</i> , <i>Penicillium aurantiogriseum</i> , <i>Penicillium roseopurpureum</i> , <i>Scopulariopsis koningi</i> , <i>Torrubiella confragosa</i> , <i>Fusarium sp.</i>	
Суміш опалого листя	<i>Promicromonospora</i> , <i>Oerskovia</i> , <i>Cellulomonas</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Streptomyces</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i>	

Процес вермикомпостування активує певні мікробні групи, які допомагають розкласти органічні матеріали, що потрапляють у середовище разом із залишками субстратів від вирощування грибів і опалим листям. У таких вермикомпостах виявлено переважання грамнегативних бактерій, зокрема родів *Proteobacteria*, *Firmicutes* та *Bacteroidetes*. Бактерії родів *Pseudomonas* і *Bacillus*, які є важливими учасниками процесів розкладу

органічних речовин, також зустрічаються в підвищеній кількості в таких вермикомпостах.

Особливістю вермикомпостів на основі субстратів грибів глива та печериця є присутність більшого різноманіття бактеріальних груп, порівняно з компостами без участі черв'яків. Це зумовлено активною діяльністю черв'яків, що створює оптимальні умови для розвитку мікроорганізмів. Крім того, в таких вермикомпостах виявлено більшу кількість бактерій, що асоціюються з процесами нітрифікації і денітрифікації, таких як *Nitrobacter* і *Nitrosomonas*. Це важливо для підтримки рівноваги в азотному циклі компосту, що сприяє збагаченню продуктів вермикомпостування азотом.

В компостах, виготовлених без участі черв'яків, мікробна спільнота в основному складається з таких родів, як *Actinobacteria*, *Firmicutes* і *Bacteroidetes*, які відповідають за первинний розклад органічних речовин. Однак у таких компостах спостерігається менше бактеріальних груп, що сприяють процесам нітрифікації, а також загалом бідніша мікробна спільнота у порівнянні з вермикомпостами. Це може бути пов'язано з меншим рівнем аерації і, відповідно, менш ефективними умовами для розвитку бактерій, які взаємодіють з азотними сполуками.

Таксономічна структура бактеріальних спільнот вермикомпостів, виготовлених на основі субстратів від вирощування грибів, характеризується більшою різноманітністю бактерій і активнішою участю організмів, що здійснюють азотний обмін. Враховуючи те, що процес вермикомпостування сприяє розвитку специфічних мікробних угруповань, використання черв'яків у компостуванні є ефективним методом для покращення якості та біологічної активності кінцевого продукту. Порівняно з компостами без черв'яків, вермикомпости демонструють кращу мікробну активність, що сприяє швидшому та більш ефективному розкладу органічних матеріалів, а також покращує стабільність і поживність готового компосту.

#### **4.3. Довжина міцелію грибів та актиноміцетів, кількість бактерій**

Гриби та актиноміцети представляють не тільки систематичні групи, але є серед них – представники екологічної та фізіологічної групи гідролітиків. Є дані про пригнічення росту фітопатогенних грибів під дією вермикомпостів [70].

Перша спроба провести кількісну оцінку мікробних пейзажів на скельцях обростання виявилася невдалою, оскільки в силу технічних складностей вона мала напівкількісний (мало, багато тощо) та суб'єктивний характер. Розвиток фототехніки, що дозволяє проводити фотодокументування мікробної картини дозволяє перейти на кількісний рівень опису цього методу.

Дисперсійний аналіз виявив зниження довжини грибного міцелію у вермикомпості та відсутність змін у довжині гіф актиноміцетів та чисельності бактерій для всіх трьох досліджуваних модельних вермикомпостів порівняно з компостами. Ймовірно, пригнічення росту грибного міцелію може спричинити зниження захворюваності сільськогосподарських рослин на фітопатогенні гриби при використанні вермикомпостів [71]. Крім пригнічення грибного зростання виявлено тенденцію до зміни складу грибів: зменшується велика кількість *Cladosporium* spp. і утворюється *Trichoderma* spp., відомий як антагоніст фітопатогенних мікроорганізмів. Кількість КУО грибів при цьому залишалось без зміни ( $10^6$  КУО/г).

Слід звернути увагу, що пригнічення розвитку грибного міцелію зникало після висушування – зволоження вермікомпосту – процедури, що призводить до перебудов у мікробній спільноті (див. рис. 4.1).

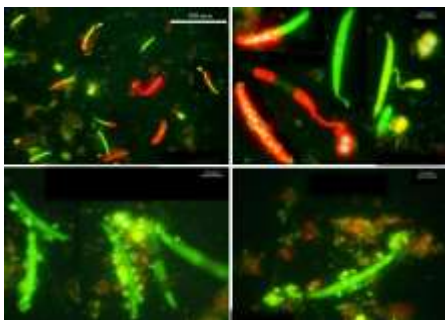


Рис. 4.1 - Приклади укороченого циклу розвитку *Fusarium* sp., що спостерігаються у вермикомпості.

При цьому ріст грибного міцелію мало хвилеподібний характер. На скельцях обростання спостерігалось також придушення розвитку *Fusarium* sp., інтродукованого у вермикомпост разом з субстратом після вирощування печериці, що полягало у формуванні укороченого циклу розвитку при проростанні його спорочок (див. рис. 4.2). Цей факт підтверджує пригнічення росту фітопатогенних грибів роду *Fusarium* у вермикомпостах, встановлених іншими авторами [45]. Вермикомпост пригнічує проростання спор та зростання міцелію фітопатогенних грибів *Fusarium* sp., *Aspergillus niger*.

Як і інші автори [15, 34], ми припускаємо, що основним джерелом фунгістатичних властивостей вермикомпоста є антагонізм інших мікроорганізмів (актиноміцетів, грибів і бактерій). Можливо, свою роль придушення росту грибів вносить скорочення питомої поверхні у вермикомпостах (див. рис. 4.2). Зменшення питомої поверхні скорочує доступну для грибів поверхню для зростання, що призводить до зниження довжини грибних гіф.

У вологому промисловому вермикомпості ВКП чисельність бактерій на скельцях обростання стабілізується через 8 днів інкубації, таким чином, цей термін можна вважати достатнім для інкубації скла у вермикомпості. При цьому якщо спробувати перерахувати чисельність бактерій з поверхні скла на грам вермикомпоста з огляду на питому поверхню твердої фази вермикомпоста, то чисельність бактерій на порядок ( $10^{10}$  замість  $10^9$ ) буде вищою, ніж при визначенні її прямим мікроскопічним методом [18]. Таким чином, поверхня скла є більш сприятливою для зростання бактерій ніж частинки вермикомпосту, так як вся поверхня скла на відміну від вермикомпостної доступна для колонізації мікроорганізмами.

#### **4.4. Чисельність коловраток, нематод, інфузорій**

Інфузорії, нематоди і коловратки є наступною щабель харчової піраміди після грибів і бактерій. Вони виступають по відношенню до них як контролюючі агенти (хижаки). Серед нематод можуть бути фітопатогенні

види. Отже, за нано- та мікрофауною можна оцінювати зміни в мікробному блоці та дію черв'яків на ґрунтову біоту.

Чисельність нематод, коловраток та інфузорій знижувалася у вермикомпостах (див. рис. 4.2). Зниження чисельності нематод у вермикомпостах [10] та рівня ураження ними рослин при застосуванні вермикомпостів [32], а також зниження чисельності спостерігалися раніше.

Наші дані побічно підтверджують перспективність застосування вермикомпостів контролю чисельності нематод.

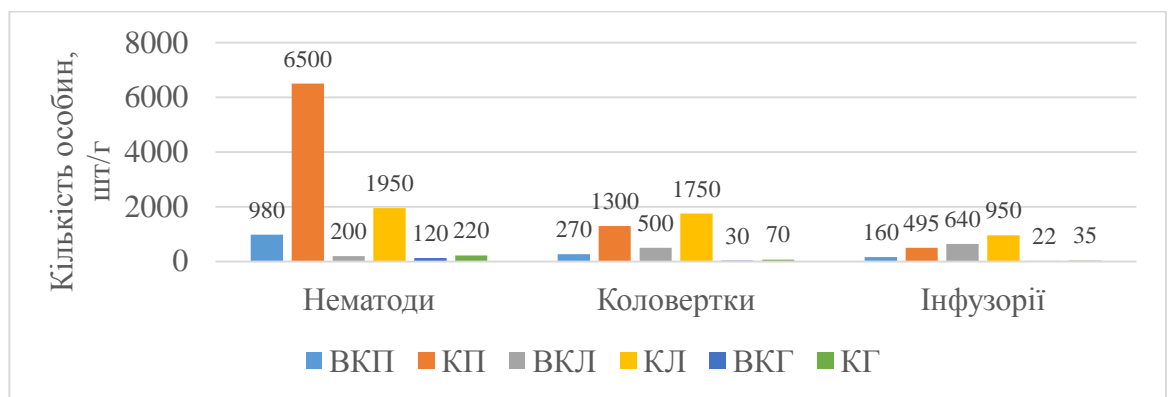


Рис. 4.2 – Чисельність нематод, коловраток, інфузорій у вермикомпостах і компостах. Довірчі інтервали при  $p = 0,95$ .

Біомаса черв'яків. У процесі дозрівання модельних вермикомпостів проводився моніторинг стану дощових черв'яків, оскільки сильне їх пригнічення чи загибель можуть спотворити результати експерименту. (див. рис. 4.3).

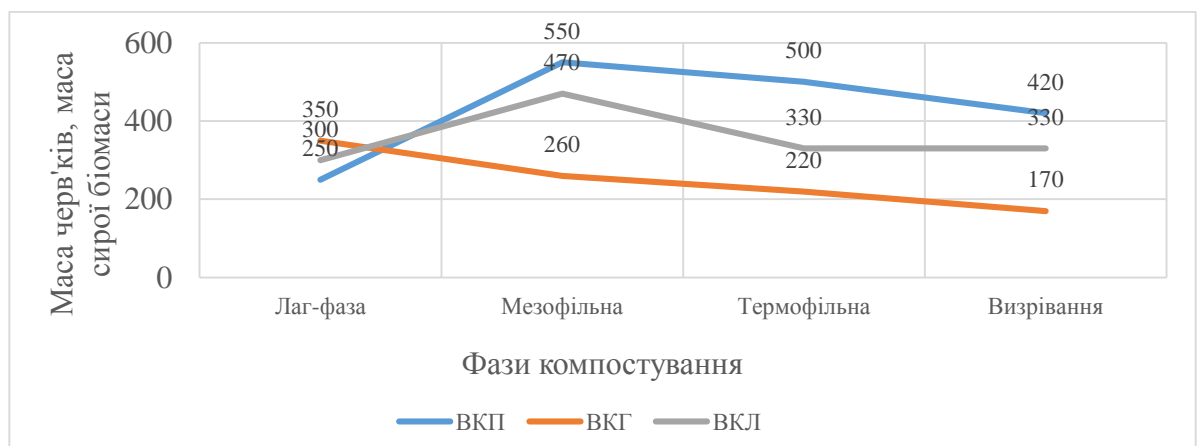


Рис. 4.3 – Біомаса та кількість дощових черв'яків, що вижили в процесі дозрівання модельних вермикомпостів.

Черв'яки успішно перенесли інтродукцію в досліджувані вихідні субстрати для вермикомпостування

#### **4.5. Мікробіологічна характеристика вермикомпостів мікробними пейзажами на склі обростання за методикою Россі-Холодного**

Скло обростання дозволяє вивчати в умовах максимально наближених до природних морфологію мікроорганізмів, що формують мікробне співтовариство вермикомпостів, з'ясувати взаємне розташування мікроорганізмів і типові морфотипи, що зустрічаються в тому чи іншому вермикомпост. Інформація, отримана за допомогою стекол обростання, тим більше цікава, тому що ми отримуємо уявлення про мікроорганізми, що активно розвиваються в даний момент, оскільки навіть адгезія мікроорганізмів є активним процесом [9] і процес прикріплення мікроорганізмів склу відбувається в основному у активних організмів.

Дослідження скла обростання дозволяє виявити цілу низку закономірностей. Скло дозволяє спостерігати навіть мікроорганізми на прилиплих до скла частинках вермикомпоста (див. рис. 4.4 а). На початку мікробної сукцесії (навіть ініційованої простим зволоженням сухого зразка) відбувається розвиток грибного міцелію. У перші дні відбувається бурхливий розвиток бактерій. Пізніше - на другий і третій тижні сукцесії досягає максимуму довжина міцелію актиноміцетів, що підтверджує закономірність, встановлену раніше [21]. Спорношення серед грибів зустрічається в основному в незрілих вермикомпостах (див. рис. 4.4 б), для зрілих вермикомпостів, що прокомпостуються 2 місяці і більш характерне утворення хламідоспор (див. рис. 4.4 в), що вимагають мабуть від гриба менше енерговитрат, іноді утворюються складніші утворення (див. рис. 4.4 г). Варто відзначити, що далеко не завжди грибні «суперечки», які утворюються грибами, адгезуються на поверхні скла. Так, для компостів з листя в суспензії зустрічаються спори гриба роду *Fuzarium*, які відсутні на склі обростання.

Можна з застереженнями сформулювати правило, що на ранніх стадіях сукцесії грибний міцелій чаші забарвлюється акридином помаранчевим в червоний колір, а на пізній стадії – в зелений. Для вермикомпосту та аналогічного компосту з відпрацьованого субстрату вирощування печериць характерна присутність пряжкового міцелію (див. рис. 4.4, д), при цьому на зеленому міцелії постійно трапляються прикріплені клітини червоного кольору, ймовірно хламідоспори. Пряжковий міцелій відсутній в відпрацьованому субстраті після вирощування гливи, а також листових субстратах, що виражалось в активному розвитку бактерій на поверхні і в безпосередній близькості від грибних гіфів. (часто видно жирові краплі червоного кольору (див. рис. 4.4 в), зрідка зелені ядра (див. рис. 4.4 е)), а порожня клітинна стінка залишається незабарвленою (див. рис. 4.4 ж). Саме навколо «мертвих» незабарвлених грибних гіф відбувається бурхливий розвиток актиноміцетів і бактерій. актиноміцетів дуже мало або вони зовсім відсутні ( див. рис 4.4 в, д, е). Часто на місці гіфи, що піддається деструкції, на склі формується смуга з бактерій – деструкторів грибних гіф. Процес деструкції починається з активного розвитку бактерій (див. рис. 4.4 ж) на пізніших стадіях підключаються актиноміцети (див. рис. 4.4 з). При цьому актиноміцети часом утворюють химерні асоціації з грибними спорами (див. рис. 4.4 і). Серед актиноміцетів переважають стрептоміцети, що діагностуються за спороношенням (див. рис. 4.4 к), хоча зустрічаються і фрагментуються без спороношення (див. рис. 4.4 л) та моноспорові актиноміцети (див. рис 4.4 м). На ранніх стадіях сукцесії коли велика кількість грибів значна до процесу деструкції грибних гіф підключається грибний міцелій, як правило, тонший, ніж розкладається (див. рис. 4.4 н).

До ідеї Н.Г. Холодного про можливість виділити діагностичні форми мікроорганізмів ми теж ставимося дуже скептично. Для субстрату після вирощування печериць знайдено характерні грибні суперечки голкоподібної форми (див. рис. 4.4 о), а субстрату після вирощування гливи (ВКГ та КГ) бактерій (див. рис. 4.49 п), проте в загальному підсумку різноманітність

перехідних форм мікроорганізмів вкрай велике, що дозволяє виділити чітко обмежені діагностичні морфотипи.

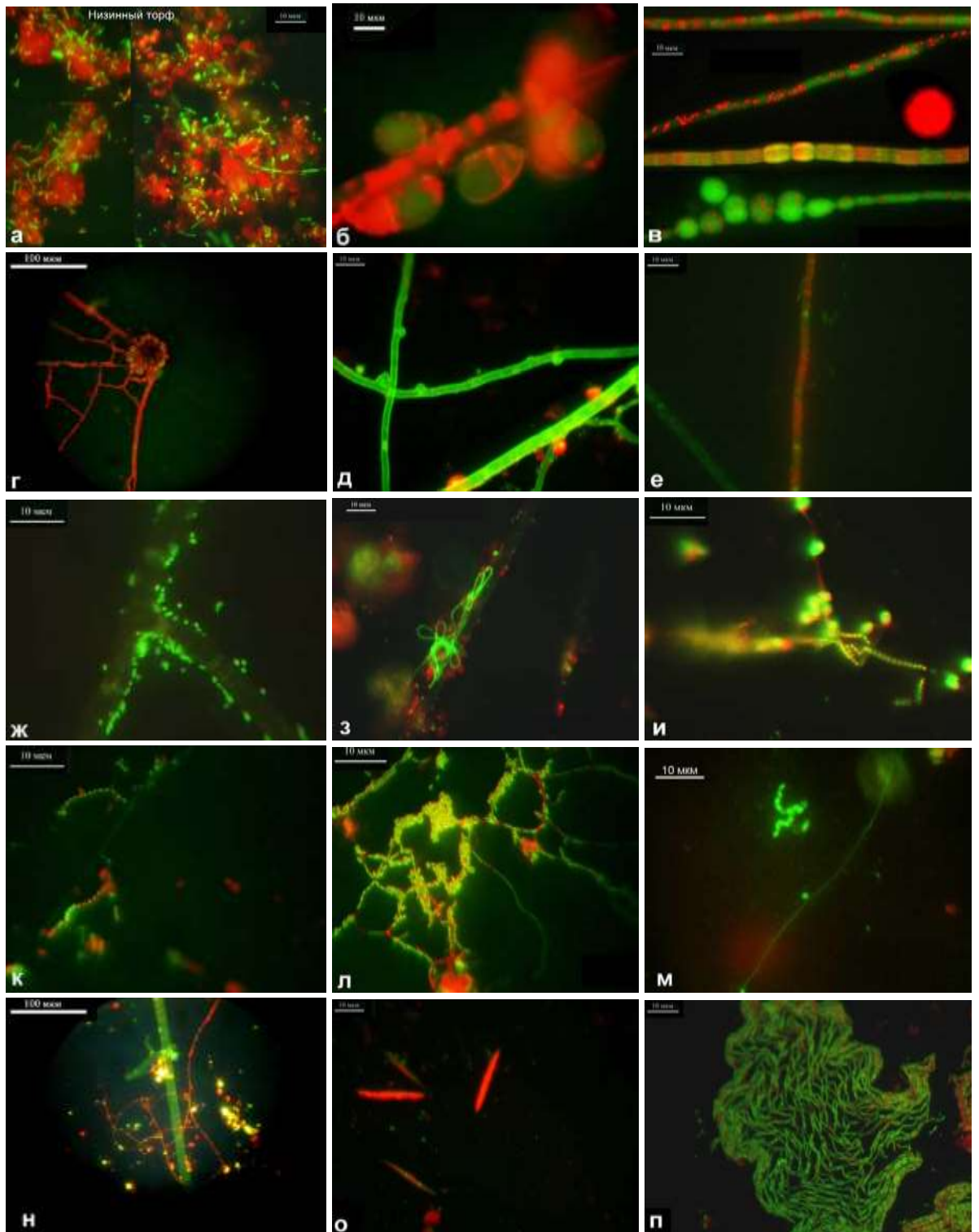


Рис. 4.4 – Барвник акридин помаранчевий; а – частинки вермикомпосту ВКГ, б – спороношення гриба, в – хламідоспори, г – утворення на кшталт склероції, д – пряжковий міцелій, е – видно зелені ядра, ж – бактерії розкладають грибноу гіфу, з - актиноміцети на мертвій грибній гіфі та грибні

хламідоспори, к – стрептоміцети, л – фрагментований міцелій актиноміцета, м – моноспоровий актиноміцет, н – гриб, що поїдає відмерлу грибну гіфу, о – голкоподібні грибні спори, типові для ВКП і КП, п – колонії бактерій, характерні для ВКГ та КГ.

Незважаючи на наявні обмеження дослідження, метод скла обростання дозволяє оцінити морфологічну різноманітність мікроорганізмів, що формують мікробну спільноту вермикомпостів.

#### **4.6. Зміна співвідношення *Aporrectodea caliginosa* до *Eisenia fetida* у мікробному співтоваристві вермикомпостів**

Отримані нами результати дозволяють припустити, що співвідношення між двома видами дощових черв'яків *Aporrectodea caliginosa* (сірий черв'як) до *Eisenia fetida* (компостний черв'як) – є досить важливою характеристикою вермикомпостування. Відомо, що мікроорганізми в компосній суміші, де переважає сірий черв'як характеризуються вищою питомою швидкістю росту та розвитку в умовах надлишку субстрату ( $\mu_{max}$ ), відсутністю лімітування та менш ефективною здатністю засвоювати субстрати, ніж субстрати де переважає компостний черв'як [55], транспортні системи яких мають високу спорідненість до субстрату, виявляються у вигідніших умовах, коли ріст та розвиток мікроорганізмів обмежений через брак ресурсів [38].

При надлишку субстрату відбуваються реакції, що сприяють домінуванню сірого черв'яку. Тоді швидкість реакції залежить тільки від константи швидкості розпаду системи «фермент – продукт», а її збільшення призводить до збільшення константи полунасичення комплексу «субстрат – фермент». Порівняно низькі значення константи полунасичення (висока спорідненість) характеризують компостні суміші з переважанням сірих черв'яків, а високі властиві з переважанням компостних черв'яків. У вермикомпостах виявлено зниження ефективності роботи досліджуваних ферментів, що, ймовірно, пов'язано з перебудовою в мікробному блоці

вермикомпостів – збільшенням частки сірих черв'яків з неефективною ферментною системою (див. рис. 4.5, табл. 4.6).

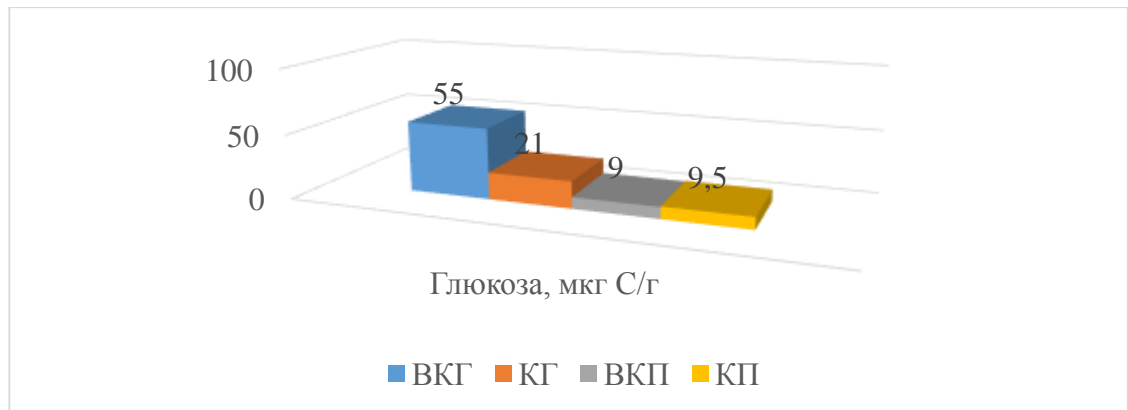


Рис. 4.5 – Насичення ферментативних центрів оксидо-редуктазу глюкозою (метод Райта-Хоббі).

Припускаємо, що це пов'язано більшою доступністю органічної речовини для мікроорганізмів (див. табл. 4.6) та деяким збільшенням вмісту легкодоступного субстрату (див. табл. 4.5). Іншим важливим параметром є максимальна питома швидкість росту  $\mu_{\max}$ , яка вище у субстратів з переважанням сірих черв'яків.

Таблиця 4.5. – Екофізіологічні параметри мікробної спільноти, одержувані за допомогою методу Райта-Хоббі

Параметр	ВКГ	КГ	ВКП	КП
Подібність ферментів до глюкози мкг С–глюкози/г	400,0 ± 295	33,2 ± 32	176 ± 342	54 ± 102
Кількість легкодоступного субстрату, мкг С <sub>орг</sub> /г	59,0 ± 160	52,6 ± 52	273 ± 433	84,7 ± 148
Потенціал мінералізації глюкози, мкг С–СО <sub>2</sub> /(г годч)	64,0 ± 9,9	23,0 ± 1,3	8,9 ± 1,85	8,7 ± 1,2

Примітка: обсяг вибірки 15 ± – інтервал довіри при  $p=0,95$

Для мікроорганізмів, відповідальних за формування спектру асиміляції в осередках (див. рис. 4.6), та *in situ* (див. рис. 4.7, табл. 4.7) не спостерігається збільшення максимально питомої швидкості росту мікроорганізмів у вермикомпостах. Проте простежується, слабовиражена тенденція до їх збільшення у менш розкладених субстратах (ВКЛ, КЛ, КП), що потенційно

містять більше доступних для мікроорганізмів речовин і містять більше сірих черв'яків.

Таблиця 4.6. – Величини мікробної біомаси та активності мікроорганізмів в дозрілих вермикомпостах та компостах

Параметр	ВКГ	КГ	ВКП	КП
Біомаса, мкг С/г	3104 ± 396	1130 ± 52	672 ± 65	657 ± 68
Загальна біомаса, мкг С/г	1151 ± 117	218 ± 97,0	223 ± 78	235 ± 93
Растуща біомаса, мкг С/г	3,48 ± 1,15	0,028 ± 0,008	0,16 ± 1.2	2,21 ± 1.3
Інтенсивність утворення CO <sub>2</sub> , мкг С–CO <sub>2</sub> /(г год)	10,5 ± 2.4	14,1 ± 0.5	5,3 ± 1.2	5,4 ± 0.9
Коефіцієнт метаболізму, мкг С–CO <sub>2</sub> /(мкг Смісг год)	(3,4 ± 2,4) × 10 <sup>-3</sup>	(12,5 ± 3,3) × 10 <sup>-3</sup>	(7,9 ± 2,3) × 10 <sup>-3</sup>	(8,2 ± 2,7) × 10 <sup>-3</sup>
Питома гідроплазна активність мкмоль флюоресцеїну/(мкг год)	(1,6 ± 1,2) × 10 <sup>-5</sup>	(3,0 ± 0,2) × 10 <sup>-5</sup>	(8,6 ± 0,2) × 10 <sup>-5</sup>	(21,3 ± 0,2) × 10 <sup>-5</sup>
Частка вуглецю мікробної маси в загальному органічному вуглецю, %	1,1 ± 0,8	0,4 ± 0,2	0,3 ± 0,5	0,3 ± 0,6
Коефіцієнт фізіологічного стану мікроорганізмів	(30 ± 6,4) × 10 <sup>-4</sup>	(1 ± 0,3) × 10 <sup>-4</sup>	(7,2 ± 2,4) × 10 <sup>-4</sup>	(93,7 ± 12,3) × 10 <sup>-4</sup>

У компостах, виготовлених з відпрацьованого субстрату вирощування печериць (ВКП та КП) потенціал мінералізації глюкози близький, проте варто зазначити відносно великі значення коефіцієнту питомої гідролазної активності мікробної біомаси у вермикомпості.

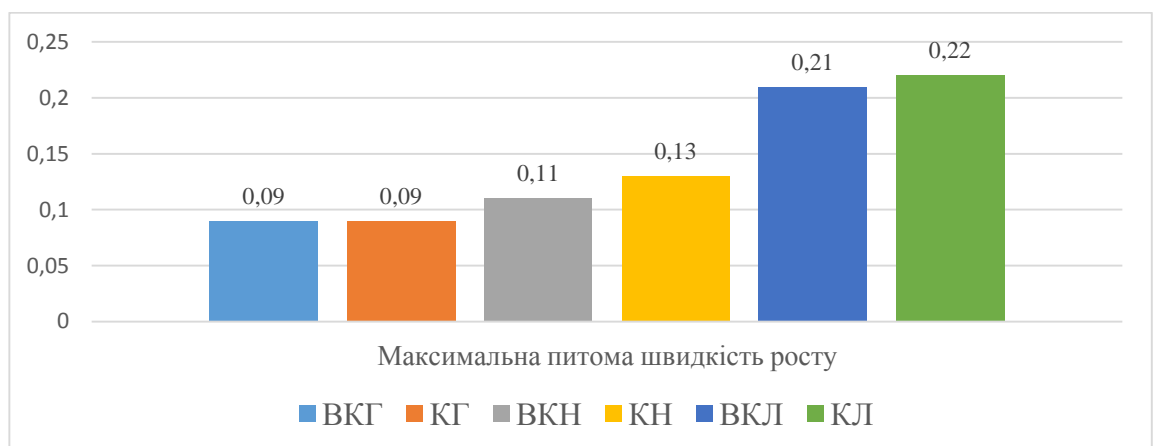


Рис. 4.6 – Максимальна питома швидкість росту мікробних угруповань, відповідальних за формування спектру асиміляції для модельних субстратів

За абсолютними значеннями цього показника більше у компостах виготовлених з відпрацьованих субстратів вирощування печериць, що пов'язано з меншою доступністю органічної речовини для мікроорганізмів.

Таблиця 4.7 – Ростові характеристики мікробної спільноти *in situ*

Параметр	ВКГ	КГ	ВКП	КП
Максимальна питома швидкість росту на глюкозі, год <sup>-1</sup>	0,46 ± 0,04	0,9 ± 0,17	0,59 ± 0,16	0,42 ± 0,10
Максимальна питома швидкість зростання на дріжджовому екстракті год <sup>-1</sup>	0,62 ± 0,23	1,31 ± 0,03	0,69 ± 0,10	0,61 ± 0,09
Індекс ауксотрофності	0,73 ± 0,26	0,69 ± 0,16	0,85 ± 0,19	0,69 ± 0,12
Константа полунасичення комплексу «субстрат – фермент», г/(мкг С–глюкози ч <sup>-1</sup> )	$(1,1 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$(27,0 \pm 2,3) \times 10^{-3}$	$3,4 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$(7,8 \pm 1,3) \times 10^{-3}$

Більш інформативним ростовим показником, ніж максимальна швидкість росту мікробного угруповування, що враховує як питому швидкість росту, так й величину константи напівнасичення комплексу «субстрат – фермент», є їх відношення [17]. Його зниження у вермикомпості, свідчить про відносне збільшення частки сірих черв'яків у вермикомпостах (ВКП та ВКГ) порівняно з компостами (КП та КГ) виготовлених з відпрацьованих субстратів вирощування грибів глива та печериця (див. табл. 4.7). Збільшення частки сірих черв'яків у мікробному співтоваристві вермикомпостів може бути пов'язане з тим, що наявність того чи іншого складу поживних компонентів, є більш сприятливими саме для їх розвитку.

Про умови середовища з меншою конкуренцією може свідчити більш плавне падіння кривої рангового розподілу параметра логістичного рівняння росту, що характеризує вихідну розмаїтість мікроорганізмів, які розвиваються на середовищах для вивчення спектру асиміляції мікробного співтовариства, що добре видно при порівнянні максимальної питомої швидкості росту корму-копролітів- кишкового тракту компостних черв'яків. (див. рис. 4.8).



Рис. 4.7 – Темпи росту мікробних угруповань на глюкозі, мкг С-СО<sub>2</sub>/(г год)

Також на користь цієї гіпотези свідчать дані щодо збільшення значень максимальної питомої швидкості росту бактеріальних угруповань у копролітах.

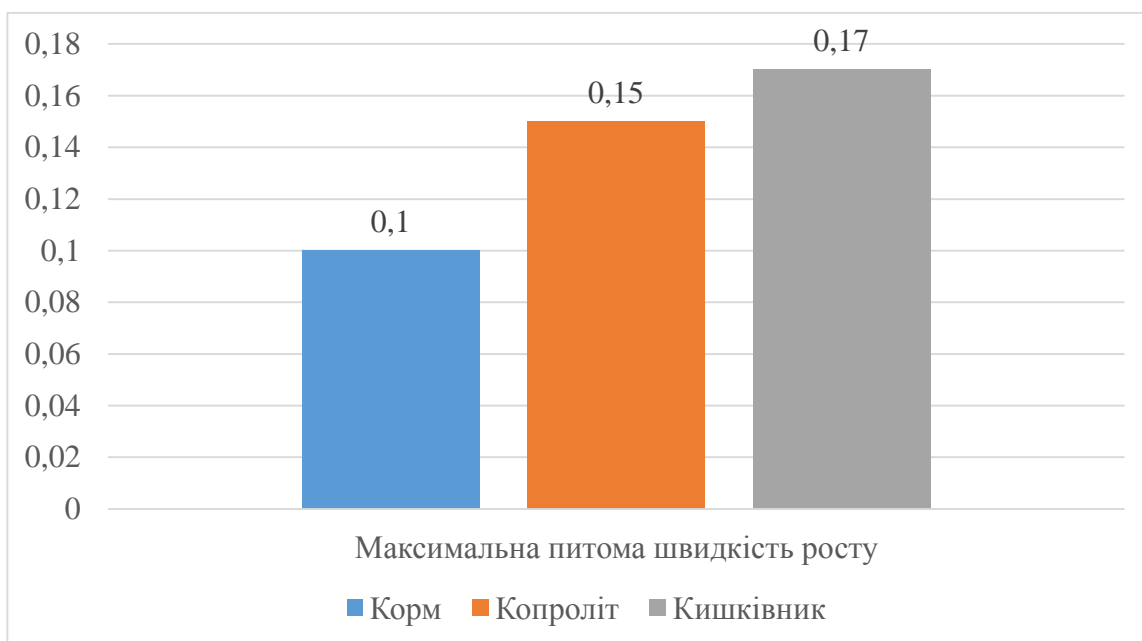


Рис. 4.8 – Порівняння максимальної питомої швидкості росту ) для бактеріальних угруповань корму черв'яків , свіжих копролітів та кишківника *E. Fetida*

Оцінити потребе мікробного угруповання в чинниках росту, тобто його ауксотрофність дозволяє – індекс ауксотрофності що є по суті максимальною питомою швидкістю росту на дріжджовому екстракті [45]. Такі дослідження

раніше для вермикомпостів не проводилися. Його значення для компостів та вермикомпостів були близькі – 0,69-0,85 (див. табл. 4.7), найбільші їх значення – у вермикомпост виготовленому з відпрацьованого субстрату вирощування печериць. Індекс ауксотрофності для ґрунтових умов буває зазвичай менше одиниці, що означає наявність лімітації за факторами росту. Ми виявили те, що мікроорганізми у вермикомпостах і модельних компостах також відчували нестачу в факторах росту, однак це лімітування виявилось меншим, ніж у ґрунті, для якого характерні значення індекс ауксотрофності на рівні 0,4-0,5.

Важливим аспектом мікробної характеристики вермикомпостів є той час, за який мікробіологічні параметри формуються у вермикомпостах. В процесі вермикомпостування простежується добре помітна тимчасова тенденція в міру дозрівання вермикомпосту. При цьому помітно, що характеристики спектру асиміляції мікробної спільноти вермикомпостів стабілізуються приблизно через 2 місяці.

Час стабілізації спектра найкраще визначати за усередненим для всіх тест-субстратів параметром. Приблизно за цей же час стабілізується довжина грибного міцелію у вермикомпостах. Встановлені нами терміни збігаються зі знайденими іншими дослідниками [39].

Отже, результати наших досліджень дозволяють припустити відносно збільшення частки сірих черв'яків у вермикомпостах. Ряд авторів вказували на те, що вермикомпост є середовищем сприятливішим для росту та розвитку самец їх представників кільчастих черв'яків [61], але прямих доказів не наводили. Подібна активізація сірих черв'яків характерна для таких середовищ існування як ризосфера [57], а також збільшення їх частки в мікробному співтоваристві вермикомпостів варто розглядати як позитивне для рослин явище, так як вони потенційно можуть швидше колонізувати корінь рослини і тим самим потіснити фітопатогени з їх екологічної ніші.

Підсмовуючи хотілося б відмітити, що 1,5-2 місяці є достатнім часом для формування досліджуваних відмітних мікробіологічних ознак

вермикомпостів за умови, що компостування йде при оптимальній вологості та температурі.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### **5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникнути при використанні відходів грибівництва в процесах вермикомпостування**

У процесі використання відходів грибівництва в вермикомпостуванні виникають численні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які мають вплив на здоров'я працівників та загальний стан навколишнього середовища. Основні небезпеки, які можуть виникнути в цьому процесі наступні.

#### **Фізичні фактори.**

У процесі вермикомпостування може використовуватись обладнання, таке як подрібнювачі відходів, змішувачі або транспортери, яке генерує високий рівень шуму. Тривалий вплив шуму понад допустимі норми може призвести до втрати слуху, стресу та загального погіршення психоемоційного стану працівників. За умови постійного впливу шуму без відповідних заходів захисту працівники можуть відчувати підвищене втомлення, зниження працездатності, а також розвиток порушень слухової системи.

Процес вермикомпостування супроводжується біологічними реакціями, що виділяють тепло. Якщо не забезпечити належний температурний контроль, температура в робочих зонах може підвищуватись до рівня, що перевищує допустимі норми. Це може призвести до перегріву організму, теплового удару та погіршення працездатності працівників. Особливо це стосується перших етапів компостування, коли температури можуть досягати 50-70°C.

Якщо виробничі приміщення, де здійснюється вермикомпостування, мають недостатнє або невідповідне освітлення, це може спричинити травмування працівників, зниження продуктивності праці та збільшення ймовірності виробничих аварій. Недостатнє освітлення підвищує ймовірність помилок при роботі з устаткуванням або при виконанні ручних операцій.

#### **Хімічні фактори.**

В процесі обробки відходів грибівництва утворюється органічний пил, що містить частинки органічних матеріалів, грибкові спори, пилок та інші частки, які можуть потрапити в дихальні шляхи працівників. Такий пил може бути шкідливим, особливо при тривалому вдиханні. Він може викликати хронічні респіраторні захворювання, алергічні реакції, бронхіт, астму та інші захворювання дихальних шляхів. Аерозолі, що утворюються під час перегріву органічних відходів, також можуть бути небезпечними для дихальних шляхів.

У процесі розкладу органічних відходів у вермикомпостуванні можуть виділятися різні гази, зокрема метан, аміак, сірководень та інші леткі органічні сполуки. Це може створювати серйозні проблеми для безпеки працівників, адже ці гази можуть бути токсичними в високих концентраціях і призводити до отруєнь, головного болю, запаморочення, нудоти та інших симптомів інтоксикації. Більш того, у випадку недостатньої вентиляції цих газів, можливе виникнення вибухонебезпечних концентрацій.

Якщо відходи грибівництва не обробляються належним чином або зберігаються в умовах безконтрольного розкладу, це може призвести до забруднення води та ґрунту токсичними речовинами, такими як важкі метали, пестициди або пестицидні залишки. Така ситуація може мати негативні наслідки як для навколишнього середовища, так і для здоров'я людей, які працюють на цих територіях або споживають забруднені ресурси.

### **Біологічні фактори.**

Відходи грибівництва можуть містити патогенні мікроорганізми, такі як бактерії, грибки, віруси та інші патогени, які можуть потрапити в організм людини через контакт з органічними відходами або їх пари. Працівники, які працюють з відходами грибівництва, можуть стати носіями хвороб, таких як грибкові інфекції, кишкові захворювання, інфекції дихальних шляхів або шкірні захворювання.

Спори грибів, які є природним компонентом відходів грибівництва, можуть бути особливо небезпечними, оскільки вони можуть викликати серйозні алергічні реакції та хвороби дихальних шляхів при вдиханні.

Найбільш поширеними захворюваннями, які можуть бути спричинені такими спорами, є грибкові інфекції або астма.

**Токсичні речовини, що утворюються під час розкладу:** Під час компостування органічних матеріалів можуть утворюватися токсичні сполуки, які є продуктами метаболізму мікроорганізмів, що беруть участь у розкладі. Це може включати аміак, сірководень, феноли та інші речовини, які можуть бути шкідливими для здоров'я працівників, викликаючи отруєння або дратівливі ефекти для шкіри та органів дихання.

### **Механічні фактори.**

Використання механізмів для переміщення, подрібнення та обробки відходів може призвести до механічних травм. У разі відсутності належного захисту на рухомих частинах машин, працівники можуть отримати травми через попадання в механізми або порізи від гострих частин обладнання.

Транспортні системи та конвеєри, які використовуються для переміщення відходів, можуть створювати ризик затягування одягу або частин тіла працівників у механізми. Важливо, щоб обладнання було оснащене відповідними захисними засобами, такими як захисні решітки або автоматичні вимикачі.

### **Психофізіологічні фактори.**

Робота з органічними відходами може бути стресовою, оскільки цей процес часто супроводжується неприємним запахом, пилом та брудом. Психологічний дискомфорт може сприяти зниженню працездатності, виникненню конфліктних ситуацій, підвищеному рівню стресу та втоми серед працівників.

Процес вермикомпостування часто передбачає важку фізичну працю, зокрема ручне завантаження відходів, транспортування матеріалів або обробку великої кількості органічних відходів. Це може призвести до перенапруження, травм, болю в м'язах і суглобах, що також впливає на загальний рівень здоров'я працівників.

## **5.2. Розробка заходів по запобіганню дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів і покращенню умов праці**

### **5.2.1. Заходи запропоновані для усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів**

При використанні відходів грибівництва в процесах вермикомпостування важливо забезпечити належні заходи охорони праці для усунення небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Основні заходи охорони праці включають наступне.

**Контроль за атмосферними умовами.** Забезпечення належної вентиляції на виробничих ділянках для запобігання накопиченню шкідливих газів, таких як аміак або сірководень, що можуть виникати під час процесу компостування.

Необхідно підтримувати оптимальну температуру на робочих місцях для запобігання перегріву або переохолодження працівників.

**Захист органів дихання.** Використання індивідуальних засобів захисту органів дихання для зменшення впливу пилу, спорами грибів та інших аерозолів, що можуть бути шкідливими для здоров'я. Регулярні перевірки рівня пилу та газів у повітрі для виявлення перевищення допустимих норм.

**Захист шкіри та очей.** Використання спеціального захисного одягу, рукавичок та окулярів для захисту від контактів з потенційно шкідливими речовинами або механічними пошкодженнями. Регулярне миття рук і часте обслуговування захисного одягу для запобігання забрудненню та розвитку інфекцій.

**Обмеження механічних та фізичних навантажень.** Визначення оптимальних методів транспортування, зберігання та обробки відходів грибів для зменшення фізичного навантаження на працівників. Використання механізмів і транспортерів для мінімізації ручної праці, що може викликати травмування або перевантаження.

**Запобігання біологічним ризикам.** Контроль за біологічними агентами, запобігання контакту працівників з грибковими або

бактеріальними інфекціями шляхом використання засобів дезінфекції і захисту. Організація належних умов для зберігання відходів грибів перед їх вермикомпостуванням, щоб уникнути розвитку патогенів.

**Навчання та інструктажі працівників.** Проведення навчання з охорони праці для всіх працівників, що працюють з відходами грибівництва та займаються процесом вермикомпостування. Проведення інструктажів та перевірок знань працівниками основних вимог безпеки.

### **5.2.2. Вибір і обґрунтування засобів індивідуального захисту.**

При використанні відходів грибівництва в процесах вермикомпостування важливо правильно обирати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) для забезпечення безпеки працівників, адже цей процес може супроводжуватися потенційно небезпечними умовами, такими як забруднення повітря патогенними мікроорганізмами, токсичними речовинами, або шкідливими випарами. Основні аспекти вибору і обґрунтування застосування ЗІЗ наступні.

**Респіратори або маски з фільтром.** В процесі вермикомпостування відходів грибів можуть виникати викиди аміаку, метану, сірководню, а також спори пліснявих грибів, які можуть бути небезпечними для здоров'я. Респіратори з фільтрами, що захищають від аерозолів і токсичних газів, знижують ризик захворювань дихальних шляхів та інфекційних захворювань.

**Захисний одяг.** Відходи грибів можуть бути забруднені патогенними мікроорганізмами або агресивними хімічними речовинами, що виділяються під час процесу розкладу. Використання захисного комбінезону або спеціальних халатів допомагає запобігти контакту шкіри з можливими забрудненнями, а також знизити ризик подразнень і алергічних реакцій.

**Рукавички.** Відходи грибів можуть містити токсичні речовини або бути забруднені мікроорганізмами, що передаються через контакт. Використання нейлонових або латексних рукавичок допомагає уникнути прямого контакту

шкіри з потенційно небезпечними матеріалами та запобігає пошкодженню шкіри.

**Захист очей.** Під час маніпулювання з відходами грибів можуть виникати аерозолі, що потрапляють в очі, або можуть бути розпилені хімічні речовини. Використання захисних окулярів або щитків знижує ризик потрапляння часток у очі і допомагає уникнути інфекцій або подразнень.

**Взуття.** Робота з відходами може включати транспортування великої кількості матеріалу, що може призвести до забруднення або можливого пошкодження шкіри ніг. Використання водонепроникних черевиків або гумових чобіт, що захищають від вологи та забруднень, забезпечує додаткову безпеку.

**Вентиляція та фільтрація повітря.** Відходи грибівництва можуть виділяти гази та пари, що небезпечні при вдиханні. Для підтримання здорової робочої атмосфери в приміщеннях, де проводиться вермикомпостування, слід забезпечити ефективну вентиляцію та фільтрацію повітря.

Правильний вибір ЗІЗ залежить від характеристик процесу вермикомпостування, умов праці та специфіки відходів грибів. Застосування респіраторів, захисного одягу, рукавичок та інших засобів значно знижує ризик для здоров'я працівників і підвищує ефективність робочих процесів.

5.2.3. Інструкція з охорони праці при використанні відходів грибівництва в процесах вермикомпостування.

Інструкція розроблена відповідно до законодавства України про охорону праці та встановлює обов'язкові вимоги безпеки при використанні відходів грибівництва в процесі вермикомпостування.

Основна мета інструкції – забезпечення безпеки працівників, попередження травм, професійних захворювань та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Робота з відходами грибівництва пов'язана з наступними небезпеками:

- біологічні (спори грибів, бактерії, пліснява);
- хімічні (за наявності хімічних добавок);

- фізичні (травми при переміщенні важких вантажів, робота з обладнанням);
- екологічні (забруднення навколишнього середовища).

Кожен працівник зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, берегти здоров'я своє та інших працівників, повідомляти про виявлені порушення або небезпеки.

Перед початком роботи працівник повинен пройти інструктаж із безпеки праці. Отримати необхідні засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): робочий одяг, рукавиці, які захищають від біологічних забруднювачів, респіратор класу FFP2 або вище для захисту від пилу та спор грибів, захисні окуляри, протиковзаюче взуття.

Перевірити наявність та справність робочого обладнання: контейнери для вермикомпостування, лопати, граблі, перемішувачі, подрібнювачі.

Оглянути робочу зону, переконатися у відсутності сторонніх предметів, що можуть створити травмонебезпеку, забезпечити зручний доступ до обладнання.

Перевірити якість відходів грибівництва, упевнитися у відсутності сторонніх домішок (скло, метал, пластик), зафіксувати будь-які підозрілі речовини чи запахи та повідомити керівництво.

**Під час роботи** використовувати ЗІЗ протягом усього процесу. Працювати акуратно, уникаючи прямого контакту з відходами грибівництва. Забороняється доторкатися до обличчя брудними руками.

Під час роботи з відходами завантажувати матеріал поступово, уникаючи перенавантаження. Використовувати механізми для переміщення важких вантажів. Застосовувати методи попереднього зволоження відходів для зменшення утворення пилу. Забезпечити відповідні умови зберігання хімічних речовин (в закритій упаковці, окремо від харчових продуктів).

Під час роботи обладнання слідкувати за справністю механізмів. Не допускати роботу обладнання без захисних елементів (огорожень, кришок). У разі поломки негайно вимкнути обладнання та повідомити відповідального.

Регулярно очищати робоче місце від залишків відходів. Не залишати відходи у відкритих зонах, щоб уникнути залучення шкідників.

**Після закінчення роботи** зняти ЗІЗ, очистити їх та за необхідності провести дезінфекцію. Ретельно вимити руки з милом, обробити шкіру антисептиком. Очистити та перевірити обладнання. За необхідності провести профілактичне обслуговування.

Забезпечити правильну утилізацію відходів, що не підлягають вермикомпостуванню. Зробити запис у робочому журналі про завершення роботи та виявлені проблеми.

**У випадках аварійних ситуацій при** травмуванні працівника негайно надати першу допомогу, викликати медичну службу, повідомити керівництво.

У разі виявлення сторонніх небезпечних домішок (хімічні речовини, біологічні забруднення) припинити роботу, ізолювати підозрілий матеріал, повідомити відповідальну особу.

У разі виникнення пожежі використовувати вогнегасники для локалізації загоряння. Евакуювати працівників з небезпечної зони. Повідомити пожежну службу та керівництво.

Власники підприємств своєчасно оновлювати зміст інструкцій та проводити навчання персоналу [72].

#### **5.2.4. Розрахунок системи вентиляції для використання відходів грибівництва в процесах вермикомпостування.**

Для забезпечення ефективного процесу вермикомпостування необхідно створити оптимальні умови для діяльності черв'яків, зокрема: температура 20–25°C, вологість 70-85%, постійний доступ кисню, відведення вуглекислого газу та інших газів (аміак, сірководень). Необхідна кратність повітрообміну  $n = 5 - 10$ , приймаємо  $n = 6$ , маса відходів  $m = 1000$  кг, тепловиділення  $q = 200$  кДж/кг.

Визначення об'єму приміщення

$$V = S \cdot h, \quad (5.1)$$

де  $S$  – площа компостувального майданчика, приймаємо  $S = 50 \text{ м}^2$ ;

$h$  – висота приміщення,  $h = 3 \text{ м}$

$$V = 50 \cdot 3 = 150 \text{ м}^3.$$

Розрахунок повітрообміну. Рекомендована кратність повітрообміну для вермикомпостування – 5-10 обмінів на годину.

$$Q = V \cdot n, \quad (5.2)$$

де  $Q$  – об'єм повітря, що подається або видаляється,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$n$  – кратність повітрообміну ( $n = 5 - 10$ ).

$$Q = 150 \cdot 6 = 900 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Врахування додаткового теплового навантаження. При розкладанні органіки виділяється тепло, що може впливати на температуру приміщення. Для цього оцінюємо кількість тепла за формулою

$$Q_{\text{мен}} = m \cdot q, \quad (5.3)$$

де  $m$  – маса відходів, що розкладаються,  $\text{кг}$ ;

$q$  – тепловиділення,  $\text{кДж}/\text{кг}$ .

$$Q_{\text{мен}} = 1000 \cdot 200 = 200000 \text{ кДж} = 55,6 \text{ кВт}.$$

Підбір вентиляційного обладнання. Вибираємо вентилятор із продуктивністю  $900 \text{ м}^3/\text{год}$  та тиском  $\Delta P \approx 100 \text{ Па}$  з урахуванням втрат тиску в системі (опір фільтрів, каналів тощо). Враховуємо наявність біофільтрів для очищення від запахів і шкідливих газів (аміаку, сірководню). Вибираємо фільтри за розрахованим об'ємом повітря на пропускну здатність  $900 \text{ м}^3/\text{год}$ .

### 5.3. Розробка заходів з пожежної профілактики

Заходи з пожежної профілактики при використанні відходів грибівництва у процесах вермикомпостування мають бути спрямовані на усунення ризиків, а також враховувати специфіку та умови зберігання і переробки таких відходів. Основні заходи наступні.

#### Організаційні заходи.

**Навчання персоналу, проведення інструктажів з пожежної безпеки для всіх працівників, які займаються вермикомпостуванням. Розробка інструкцій, створення чітких інструкцій з пожежної безпеки для конкретного виробництва. Розробка плану дій у разі пожежі, включаючи шляхи евакуації.**

#### **Контроль умов зберігання відходів.**

Підтримка відходів грибівництва у вологому стані (оптимальна вологість для вермикомпостування – 60-80%), оскільки пересушені органічні матеріали підвищують ризик займання.

Регулярний контроль температури зберігання, оскільки в процесі розкладання органіки може відбуватися самозігрівання. Температура не повинна перевищувати 60°C. Зберігати відходи на безпечній відстані від джерел відкритого вогню, електрообладнання чи інших потенційно небезпечних зон.

#### **Забезпечення протипожежного захисту.**

Забезпечити об'єкти вогнегасниками (порошковими чи вуглекислотними), які підходять для гасіння органічних матеріалів. Установити пожежну сигналізацію та засоби автоматичного гасіння в місцях, де зберігаються великі об'єми матеріалів. Облаштувати резервуари з водою для швидкого реагування на пожежу.

#### **Контроль процесів переробки.**

**Уникнення перенагрівання, забезпечити регулярний переверт компостних куп для рівномірного розподілу тепла та уникнення перегріву.** Використовувати системи для аерації (наприклад, повітряні труби), щоб уникнути накопичення газів, які можуть бути вибухонебезпечними. Забезпечити контроль доступу сторонніх осіб до ділянки, де відбувається вермикомпостування.

#### **Додаткові заходи безпеки.**

**Видалити небезпечні домішки, упевнитися, що відходи грибівництва не містять сторонніх горючих матеріалів або хімічних речовин.** Організувати

відокремлене зберігання відходів та готового компосту. Проводити регулярні перевірки протипожежного стану обладнання, території та матеріалів [73].

#### **5.4. Висновки по розділу.**

У процесі використання відходів грибівництва в вермикомпостуванні виникають численні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які мають вплив на здоров'я працівників та загальний стан навколишнього середовища. Зроблені розрахунки системи вентиляції, описані заходи з пожежної профілактики при використанні відходів грибівництва.

## ВИСНОВКИ

1. Основні відмінності мікробних спільнот вермикомпостів від компостів встановлені за такими параметрами: константа напівнасичення ферментів субстратом реакції, довжина грибних гіф, спектр асиміляції органічних сполук мікробним спільнотою. Ці параметри можуть бути апробовані при розробці мікробіологічних стандартів якості

2. Встановлено зниження спорідненості до субстратів естераз та окислювально-відновних ферментів під дією хробаків за значенням константи Міхаеліса-Ментен, що поряд з параметром  $m/K_s$  свідчить про збільшення в мікробному блоці вермикомпостів частки  $r$ -стратегів з неефективною ферментною.

3. У вермикомпостах знижується довжина грибного міцелію, велика кількість бактерій і актиноміцетів не змінюється;

4. Аналіз спектру асиміляції субстратів мікробних угруповань за допомогою багатовимірних методів статистики дозволяє говорити про функціональну (трофічну) відокремленість вермикомпостів від компостів.

5. Виявлено активізацію мікроорганізмів (коефіцієнт фізіологічного стану  $r_0$  зростає) у вермикомпостах порівняно з аналогічними компостами.

6. У вермикомпостах підтверджено посилення накопичення нітратів та активізацію мінералізації (для вермикомпосту з листя).

7. Таксономічна структура бактеріального співтовариства вермикомпостів визначається значно більшою мірою природою сировини, а чи не діяльністю дощових черв'яків.

8. Мікробіологічні властивості, якими вермикомпости відрізняються від компостів, досягають максимальних відмінностей за 1,5-2 місяці вермикомпостування.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aira M., Monroy F., Dominguez J., Mato S. How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure. *European Journal of Soil Biology*. 2002. Vol.38. pp. 7–10.
2. Aira M., Monroy F., J. Dominguez Eisenia fetida (Oligochaeta, Lumbricidae) Activates Fungal Growth, Triggering Cellulose Decomposition During Vermicomposting// *Microbial Ecology*. 2006. V. 52, P.738–746.
3. Людмила Коломієць, Інна Самопал, Екологічна оцінка ефективності використання відходів грибівництва в процесах вермикультивування та вермикомпостування: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології агропромислового виробництва» (м. Кропивницький, 14-15 листопада 2024 р), ЦНТУ, 2024 С. 33-35.
4. Aira M., Monroy F., Dominguez J. Eisenia fetida (Oligochaeta: Lumbricidae) modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure // *Microbial Ecology*. 2007. V. 54. P. 662–671.
5. Aira M., Dominguez J. Optimizing vermicomposting of animal wastes: Effects of rate of manure application on carbon loss and microbial stabilization // *Journal of Environmental Management*. 2008. V. 88. P. 1525– 1529.
6. Anastasi A., Varese G.C., Marchisio V.F. Isolation and identification of fungal communities in compost and vermicompost // *Mycologia*. 2005. Vol. 97, no. 3. pp. 33-44.
7. Anderson J. P. E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil Biol. and Biochem.* 1978. V. 10. № 3. P. 215-221.
8. Anderson J.M. Soil organisms as engineers: microsite modulation of macroscale processes // *Linking species and ecosystems*. C.J.Jones, J.H.Lawton (eds.). Chapman and Hall, New York, 1995. P. 94-106.

Atiyeh R.M., Dominguez J., Subler S., Edwards C.A. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouche) and the effects on seedling growth // *Pedobiologia*. 2000. V.44. P. 709-724.

Arancon N. Q., Galvis P, Edwards C., E. Yardim The trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicompost // *Pedobiologia*. 2003. V. 47. P. 736–740.

Benitez E., Nogales R., Masciandaro G., B. Ceccanti Isolation by isoelectric focusing of humic-urease complexes from earthworm (*Eisenia fetida*)- processed sewage sludges. *Biol. Fertil. Soils*. 2000. Vol. 31. pp.489–493.

Byzov B.A., Polyanskaya L.M., Vu Nguyen Thanh. Applying of yeasts as growth stimulators for the earthworm *Eisenia fetida*. *Acta Zool. Fennica*. 2015. No. 196. pp. 376–379.

Casalicchio G., Graziano P.L. A comparison of the chemical properties of composts and worm casting from solid municipal waste and sewage sludge // *On Earthworm Selected Simposium and monographs U.Z.I., 2, Mucchi, Modena, 1987. P. 419-457*

Chaoui H. I., Zibilske L.M., Ohno T. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability // *Soil Biology & Biochemistry*. 2003. V.35. P. 295–302.

Carrasco-Leteliera L., Eguren G., Castineira C., Parra O., Panario D. Preliminary study of prairies forested with *Eucalyptus* sp. at the northwestern Uruguayan soils // *Environmental Pollution*. 2004. № 127. P. 49–55.

Dash N.K., Behera N., Dash M.C. Gut load, transit time, gut microflora and turnover of soil, plant and fungal material by some tropical earthworms // *Pedobiologia*. 1986.V. 29. P.13-20

Dominguez J., Parmelee R. W., Edwards C. A. Interactions between *Eisenia andrei* (*Oligochaeta*) and nematode populations during vermicomposting // *Pedobiologia*. 2003. V.47. P.53–60.

Edwards C.A., Fletcher K.E. Interaction between earthworms and microorganisms in organic matter breakdown // *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 1988. V. 24. № 1-3. P. 235-247.

Edwards C. A., Arancon N.Q. The use of earthworms in the breakdown organic wastes to produce vermicomposts and animal feed protein. By CRC Press LLC, 2004, 257 p.

Edwards C. A. Soil invertebrate controls and microbial interaction in nutrient and organic matter dynamics in natural and agroecosystems. In: *Invertebrates as Webmasters in Ecosystems*, D.C. Coleman, P.F. Hendrix (eds). CABIPublishing, 2000 P. 115-140.

Ferruzzi K. *Manuale del Lombricoltura*. Bologna. 1984. 121 p.

Fracchia L., Dohrmann A.B., Martinotti M.G., Tebbe C.C. Bacterial diversity in a finished compost and vermicompost: Differences revealed by cultivation-independent analyses of PCR-amplified 16S rRNA genes // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2006. V.71. №6. P. 942-952.

Gillian A., Harry D. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils // *Soil Biology & Biochemistry*. 2001. № 33. P. 943-951.

Gomez-Brandon M., Lazcano C., Dominguez J. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure // *Chemosphere*. 2008. V. 70. P. 436–444.

Gopal M., Gupta A., Sunil E., Thomas G. V. Amplification of plant beneficial microbial communities during conversion of coconut leaf substrate to vermicompost by *Eudrilus* sp. // *Curr. Microbiol*. 2009. V. 59. P.15–20.

Gutierrez-Miceli F.A., Moguel-Zamudio B., Abud-Archila M., Gutierrez-Oliva V.F. Dendrobaena sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation // *Bioresource Technology*. 2008. V.99. P.7020–7026.

Hand P., Hayes W.A. Frankland J.C., Satchell J. E. Vermicomposting of cow slurry // *Pedobiologia*. 1988. V. 31. P. 199-209.

Hartenstein T.E., Hartenstein R. Gut load and transit time in the earthworm *Eisenia fetida* // *Pedobiologia*. 1981. V. 22. №1. P. 5-20.

Hartenstein R. Earthworm biotechnology and global biogeochemistry // *Advanced Ecological Researches*. 1986. V. 15. P. 379-409.

Hameeda, B., Rupela O.P., Reddy G. Antagonistic activity of bacteria inhabiting composts against soil-borne plant pathogenic fungi // *Indian Journal of Microbiology*. 2006. V. 46. № 4 P. 389-396.

Healey F.P. Slope of the Monod equation as an indicator of advantage in nutrient competition // *Microbial Ecology*. 1980. V.5. №4. P. 281–286.

Jat R. S., Ahlawat I. P. S. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence // *Journal of Sustainable Agriculture*. 2006.V. 28. № 1. P.41-54.

Kumar V., Singh K.P. Enriching vermicompost by nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria // *Bioresource Technology*. 2000. V. 76. № 2 P. 173-175.

Kovarova–Kovar K., Egli T. Growth kinetics of suspended microbial cells: from single–substrate–controlled growth to mixed–substrate kinetics // *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 1998. V.62. № 3. P. 646–666.

Kaushik P., Yadav Y.K., Dilbaghi N., Garg V.K. Enrichment of vermicomposts prepared from cow dung spiked solid textile mill sludge using nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria // *Environmentalist*. 2008.V. 28. P. 283–287.

Laverack M.S. *The Physiology of Earthworms*. 1963. 206 p.

Lazcano C., Gomez-Brandon M., Dominguez J. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure // *Chemosphere*. 2008. V.72. P. 1013–1019.

Lee K.E. *Earthworms. Their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press (Harcourt Brace Jovanovich, Publishers), Sydney- Orlando-San Diego-New York-London-Toronto-Montreal-Tokyo, 1985. 411p.

Lores M., Gomez-Brando M., Perez-Diaz D., Dominguez J. Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts // *Soil Biology & Biochemistry*. 2006. V.38. P. 2993–2996.

Loehr R.C., Neuchauser E.F., Malecki M.C. Factor affecting the vermistabilization process. Temperature, moisture content and policulture. // *Water Resech*. 1985. V.19. № 110. P. 1311-1318.

Masciandaro G., Ceccanti B., Ronchi V., Bauer C. Kinetic parameters of dehydrogenase in the assessment of the response of soil to vermicompost and inorganic fertilizers // *Biol. Fertil. Soils*. 2000.V. 32. P.479–483.

Mengel K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops // *Plant and Soil*. 1996. V.181. P. 83-96.

Monroy F., Aira M., Dominguez J. Changes in density of nematodes, protozoa and total coliforms after transit through the gut of four epigeic earthworms (*Oligochaeta*) // *Applied Soil Ecology*. 2008. V.39. P. 127 – 132.

Pramanik P., Ghosh G.K., Ghosal P.K., Banik P. Changes in organic - C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants // *Bioresource Technology* 2007. V.98. № 13. P. 2485-2494.

Pramanik P., Ghosh G.K., Banik P. Effect of microbial inoculation during vermicomposting of different organic substrates on microbial status and quantification and documentation of acid phosphatase // *Waste Management* 2009. V.29. P. 574–578.

Rundell B.B Evaluation of bacterial populations in a campus vermicompost facility by microbiology classes // *The American Biology Teacher*. 2003. V. 65. №. 5. P. 367-371.

Sahni S., Sarma B.K., Singh D.P., Singh H.B., Singh K.P. Vermicompost enhances performance of plant growth-promoting rhizobacteria in *Cicer arietinum* rhizosphere against *Sclerotium rolfsii* // *Crop Protection*. 2008.V.27. P. 369–376.

Sampedro L., Dominguez J. Stable isotope natural abundances ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) of the earthworm *Eisenia fetida* and other soil fauna living in two different vermicomposting environments // *Applied Soil Ecology*. 2008. V. 38. P. 91 – 99.

Sanchez-Monedero M.A., Mondini C., Cayuela M.L., Roig A., Contin M., De Nobili M. Fluorescein diacetate hydrolysis, respiration and microbial biomass in freshly amended soil // *Biol. Fertil. Soils*. 2008. V.44. P. 885–890.

Satchell J. E. Earthworm microbiology // *Earthworm ecology from Darwin to vermiculture*, London, New York, 1983. P. 315-364.

Schnurer J., Rosswall T., Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter // *Applied and Environmental Microbiology*. 1982. V.43. P. 1256-1261.

Scheu S. The influence of earthworms (*Lumbricidae*) on nitrogen dynamics in the soil litter system of a deciduous forest // *Oecologia*. 1987. V. 72. P. 197-202.

Sen B., Chandra T.S. Do earthworms affect dynamics of functional response and genetic structure of microbial community in a lab-scale compostingsystem? // *Bioresource Technology*. 2009. vol. 100 P. 804–811.

Selvam, K., Swaminathan, K., Rasappan, K., Rajendran, R., Pattabi, S. Pretreatment of lignocellulosic wastes with white rot fungi, *Fomes lividus*, *Thelephora* sp. and *trametes versicolor* for vermicomposting // *Biotechnology and Environmental Sciences*. 2006. V.8 №2, P. 275-285.

Spencer J. L., Chambers J. R., Modler H. W. Competitive exclusion of *Salmonella typhimurium* in broilers fed with vermicompost and complex carbohydrates // *Avian Pathology*. 1998. V. 27. P. 244-249.

Singh K.P., Kumar V., Hooda J.S. The effect of inoculation with *Eisenia fetida* and n-fixing or p-solubilizing microorganisms on decomposition of cattle dung and crop residues // *Biological Agriculture and Horticulture* 2000. V.18. № 2. P. 103-112.

Sun Z.J. *Vermiculture and Vermiprotein*. Chena. Agricultural University Press, 2003. 235p.

Svensson K., Friberg H. Changes in active microbial biomass by earthworms and grass amendments in agricultural soil // *Biol. Fertil. Soils*. 2007. V.44. P. 223–228.

Swift M.J., Heal O.W., Anderson J. M. *Decomposition in terrestrial ecosystems*, 1979, Oxford. 372p.

Syers J.K., Sharpley A.N. Kceney D.R. Cycling of nitrogen by surface-casting earthworm in a pasture ecosystem. // *Soil Biol. Biochem*. 1979. V. 11. P. 181-185.

Szczecz, M.M Suppressiveness of vermicompost against fusarium wilt oftomato // *Journal of Phytopathology*. 1999. V. 147. № 3. P. 155-161.

Szczecz M.M., Smolinska, U. Comparison of suppressiveness of vermicomposts produced from animal manures and sewage sludge against *phytophthora nicotianae* breda de haan var. *nicotianae* // *Journal ofPhytopathology*. 2001. V. 149. № 2. P. 77-82.

Tsuji T., Kawasaki Y., Takeshima S. new fluorescence staiting assay for visualising living microorganisms in soil. // *Applied and Environmental Microbiology*. 1995. V. 61. №9. P. 3415-3421.

Vaz-Moreira I., Silva M.E., Manaia C. M., Nunes O. C. Diversity of Bacterial Isolates from Commercial and Homemade Composts // *Microb Ecol.* 2008.V. 55 P. 714–722.

Методика наукових досліджень у грибівництві; за редакцією академіка НААН Хареби В.В. / Автори: Бандура І.І., Бісько Н.А., Хареба В.В., Куц О.В., Хареба О.В., Цизь О.М., Кулик С.А. Київ, 2022. 128 с.

Цизь О.М. Грибівництво. Методичні рекомендації до практичних занять і самостійної роботи. К.: НУБіП, 2016. 40 с

Vivas A., Moreno B., Garcia-Rodriguez S., Benitez E. Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste. // *Bioresource Technology.* 2009. V. 100. P.1319–1326.

Wan J.H.C., Wong M.H. Effect of earthworm activity and P-solubilizing bacteria on P availability in soil // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2004. V. 167. P209-213.

Williams A. P., Roberts P., Avery L. M., Killham K., Jones D. L. Earthworms as vectors of *Escherichia coli*O157:H7 in soil and vermicomposts // *Microbiol Ecol.* 2006. V.58. P. 54–64.

Wright R.T., Hobbie J.F. Use of glucose and acetate by bacteria and algae in aquatic ecosystems // *Ecology.* 1966. V.47. P. 447–464.

Yasir M., Aslam Z., Kim S.W., Lee S.-W., Jeon C. O. , Chung Y. R. Bacterial community composition and chitinase gene diversity of vermicompost with antifungal activity // *Bioresource Technology.* 2009. V.100. P. 4396–4403.

Курепін В.М., Горбунова К.М., Курепін В.М. та ін. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ, 2020. 266 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/8596> (дата звернення 24.11.2024).

Охорона праці під час роботи з пестицидами. Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу. URL: <https://propozitsiya.com/ua/ohorona-praci-pid-chas-roboti-z-pesticidami> (дата звернення 23.11.2024).