

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Нафти, газу та екології

Кафедра Екології, води та природоохоронних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма 183 «Технології захисту навколишнього середовища»



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему **«Дослідження утилізації відходів рослинного походження методом  
вермикультивування»**

Здобувача Даліщинського С.С.

2 курсу, ТЗС-467 групи

Керівник доцент Мадані М.М.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 2023 р., протокол № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри ЕВтаПТ \_\_\_\_\_ Олексій ГАРКОВИЧ

Одеса – 2023 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Нафти, газу та екології

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

**к-т біол. наук, доц.**

\_\_\_\_\_ **О.Л. Гаркович**

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## **ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

\_\_\_\_\_ **Даліщинського Сергія Сергійовича**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження утилізації відходів рослинного походження методом вермикультивування».

Затверджена наказом ОНТУ від «27» 01 2023 року, наказ № 21-03

2. Термін здачі здобувачем роботи 01.12.23.

3. Вихідні дані роботи проведення вермикультивування рослинних відходів харчової промисловості.

4. Перелік питань, які потрібно розробити провести аналіз сучасного стану біотехнологічної утилізації відходів; оцінити можливість біоконверсії гречаного та соняшникового лушпиння; охарактеризувати екологічну роль вермикультивування; визначити оптимальні умови вермикультивування; розробити технологію вермикультивування гречаного та соняшникового лушпиння.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Таблиці та схеми, що відображають хід виконання випускної кваліфікаційної роботи.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

| Розділ | Консультант         | Підпис, дата   |                  |
|--------|---------------------|----------------|------------------|
|        |                     | завдання видав | завдання прийняв |
| 1      | Мадані М.М., доцент | 28.09          | 9. 10            |
| 2      | Мадані М.М., доцент | 28.09          | 19.10            |
| 3      | Мадані М.М., доцент | 28.09          | 09.11            |
| 4      | Мадані М.М., доцент | 28.09          | 14.11            |
| 5      | Мадані М.М., доцент | 28.09          | 21.11            |
| 6      | Мадані М.М., доцент | 28.09          | 29.11            |

7. Дата видачі завдання 28.09.2022 р.

Керівник \_\_\_\_\_ Марія МАДАНИ  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Сергій ДАЛІЩИНСЬКИЙ  
(підпис)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №  | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                                     | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1. | Характеристика сучасного стану концепції біотехнологічної утилізації рослинних відходів | 5.10.23                        |          |
| 2. | Характеристика використання та біоконверсії гречаного та соняшникового лушпиння         | 7.10.23                        |          |
| 3. | Характеристика та екологічна роль вермикультивування                                    | 12.10. 23                      |          |
| 4. | Формулювання об'єктів та методів дослідження                                            | 14.10.23                       |          |
| 5. | Експериментальне визначення оптимальних умов вермикультивування лушпиння                | 5.11.23                        |          |
| 6. | Розробка технології вермикультивування                                                  | 9.11.23                        |          |
| 7. | Формулювання висновків та рекомендацій                                                  | 14.11.23                       |          |
| 8. | Оформлення презентаційних матеріалів                                                    | 29.11.23                       |          |

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Сергій ДАЛІЩИНСЬКИЙ  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Марія МАДАНИ  
(підпис) (прізвище та ініціали)

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.*

*Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник Сергій ДАЛІЩИНСЬКИЙ  
(прізвище та ініціали) (підпис)

## АНОТАЦІЯ

Розрахунково-пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: стор.- 78, рис. – 16, табл. – 14, формули – 5, література – 57.

**Перелік ключових слів:** рослинні відходи, біотехнології, вермикультивування, біогумус.

**Тема:** Дослідження утилізації відходів рослинного походження методом вермикультивування.

**Об'єкт дослідження:** рослинні відходи – гречане та соняшникове лушпиння, яблучні вижимки.

**Предмет дослідження:** особливості біотехнології переробки рослинних відходів методом вермикультивування.

**Мета досліджень:** обґрунтуванні шляхів створення екологічно безпечної біотехнології утилізації органічних відходів харчової та переробної промисловості рослинного походження методом вермикультивування.

Кваліфікаційна робота магістра складається з таких розділів:

**Розділ 1.** Наведено аналіз розвитку та сучасного стану концепції біотехнологічної утилізації рослинних відходів. Проаналізовані сучасні методи біоконверсії целюлозоутримуючих матеріалів. Розглянута екологічна роль вермикультивування рослинних відходів в біологічному землеробстві. Проведений аналіз літературних джерел з утилізації та використання органічних відходів, досліджень із використання вермикультури в якості джерела білка в кормовиробництві. Наведено характеристику вермикультури роду *Eisenia fetida*.

**Розділ 2.** Розглянуті методики та умови проведення досліджень. Визначені об'єкти, охарактеризовані методи дослідження.

**Розділ 3.** Визначено оптимальні умови вермикультивування гречаного та соняшnikового лушпиння та технології вермикультивування. Досліджено вплив різних факторів та умов на оптимальний розвиток вермикультури *Eisenia foetida*.

**Розділ 4.** На основі отриманих даних розроблено та обґрунтовано технологію вермикультивування.

**Розділ 5.** Охарактеризовано заходи щодо охорони праці в науково-дослідній лабораторії.

**Розділ 6.** Розраховано зону надзвичайної ситуації при вибухах сумішей та речовин, що використовуються в лабораторії.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                                      | <b>3</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1. РОЗВИТОК І СУЧАСНИЙ СТАН КОНЦЕПЦІЇ<br/>БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ.....</b>            | <b>5</b>  |
| 1.1 Біоконверсія соняшникового та гречаного лушпиння.....                                                              | 5         |
| 1.2 Екологічна роль вермикультивування рослинних відходів в<br>біологічному землеробстві.....                          | 7         |
| 1.3 Вермикультура як відновлюване джерело тваринного білка.....                                                        | 20        |
| 1.4 Загальна характеристика вермикультури <i>Eisenia foetida</i> .....                                                 | 24        |
| <b>РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ...</b>                                                            | <b>28</b> |
| 2.1 Матеріали та методика досліджень.....                                                                              | 28        |
| <b>РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ<br/>ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ ЛУШПИННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ<br/>ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ.....</b> | <b>32</b> |
| 3.1 Вплив подрібнювання лушпиння на розвиток вермикультури <i>Eisenia<br/>foetida</i> .....                            | 32        |
| 3.2 Визначення терміну ферментації рослинних субстратів.....                                                           | 39        |
| 3.3 Вплив температури та вологості на розвиток <i>E.foetida</i> .....                                                  | 41        |
| 3.4 Визначення оптимальної щільності заселення субстрату <i>E.foetida</i> .....                                        | 46        |
| 3.5 Відділення вермикультури від субстрату.....                                                                        | 48        |
| <b>РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЯ ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ<br/>СОНЯШНИКОВОГО ЛУШПИННЯ І ОТРИМАННЯ<br/>БІОПРЕПАРАТІВ.....</b>            | <b>51</b> |
| 4.1 Технологія вермикультивування гречаного та соняшникового<br>лушпиння.....                                          | 51        |
| <b>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>                                                                                     | <b>63</b> |
| 5.1 Заходи із забезпечення безпечних умов праці.....                                                                   | 64        |
| 5.2 Заходи із пожежовибухонебезпеки.....                                                                               | 66        |
| <b>РОЗДІЛ 6 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....</b>                                                                                  | <b>68</b> |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>                                                                                                   | <b>70</b> |
| <b>РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....</b>                                                                                   | <b>72</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>                                                                                 | <b>73</b> |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Серед новітніх підходів до утилізації органічних і рослинних відходів можна виділити використання безвідходної екологічно безпечної технології їх біопереробки за допомогою вермикюльтури з метою отримання екологічно чистого добрива біогумусу.

Вирішення проблеми утилізації гречаного та соняшникового лушпиння шляхом розробки сучасної технології його біоконверсії сприятиме з однієї сторони поліпшенню екологічного стану довкілля, а з другої отриманню значної кількості ефективного органічного добрива, внесення якого у ґрунт дозволить одночасно збільшувати урожайність сільськогосподарських культур і відновлювати та підтримувати на високому рівні родючість ґрунту. У літературі відомості про розробку та застосування біотехнологічних методів для утилізації гречаного та соняшникового лушпиння з метою отримання біогумусу в Україні відсутні. Тому вивчення питань, пов'язаних з розробкою та впровадженням безвідходної технології переробки відходів рослинного походження, є дуже актуальним напрямком наукових досліджень, що має безперечний науковий і практичний інтерес.

**Мета і задачі досліджень.** Метою роботи є обґрунтування шляхів створення екологічно безпечної біотехнології утилізації гречаного та соняшникового лушпиння методом вермикюльтивування для отримання екологічно чистого добрива – біогумусу.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- визначити хімічний та поживний склад лушпиння;
- вивчити умови підготовки рослинних відходів до біоутилізації;
- визначити оптимальні умови вермикюльтивування;
- розробити технологію отримання біогумусу (вермикомпосту).

*Об'єкт дослідження:* рослинні відходи – гречане та соняшникове лушпиння, яблучні вижимки.

*Предмет дослідження:* особливості біотехнології переробки рослинних відходів методом вермикультивування.

*Методи дослідження:* лабораторні, вимірювально-вагові, розрахунково-порівняльні, математично-статистичні.

**Наукова новизна.** Розроблена біотехнологія утилізації гречаного та соняшникового лушпиння методом вермикультивування за допомогою вермикультури *E.foetida* з метою отримання біогумусу.

## **РОЗДІЛ 1 РОЗВИТОК І СУЧАСНИЙ СТАН КОНЦЕПЦІЇ БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ**

Розширення площі посівів соняшнику, яке спостерігається в Україні останні 10-15 років, загостило екологічну проблему, пов'язану з накопиченням рослинних відходів переробки насіння. У зв'язку з цим виникла необхідність переосмислити ряд теоретичних, біотехнологічних і організаційних пропозицій, що визначають роль і функції біоконверсії рослинних відходів у сучасному землеробстві.

### **1.1. Біоконверсія соняшникового лушпиння**

В Україні соняшник є основною олійною культурою, яка за даними М.В. Бабенко [1] щорічно вирощується на площі до 3 млн. гектарів. Дослідженнями Ю.В. Домашенко [2] показано, що при щорічній переробці насіння соняшнику на олію у розмірі 2,2-2,5 млн. тонн одержується до 1 млн. тонн лушпиння.

У роботі Товстоноженко Н. Ю. [3] відзначається, що ці відходи через низьку кормову цінність майже не застосовуються як кормовий продукт. За даними Капрельянца Л. В. [4] основними компонентами лушпиння є геміцелюлоза, целюлоза та лігнін. У значно менших кількостях містяться екстрактивні та зольні речовини. Перешкодою до використання соняшникового лушпиння є і те, що при його подрібненні створюються частинки голчастої структури, які можуть ушкоджувати травний тракт тварин.

Основна маса лушпиння представлена різними видами полісахаридів (від 45 до 65%), яка після подрібнення може бути потенційною сировиною для біотехнологічної переробки [4].

Крусір Г.В. та ін. [5] відзначає, що з початку 70-х років в багатьох країнах (США, Японія, Італія, Іспанія, Франція, Австрія, Німеччина, Угорщина, Польща, Китай тощо) широко проводилися науково-практичні дослідження з біологічної переробки різних рослинних відходів.

До числа актуальних задач екології відноситься розробка біологічних способів переробки (біоконверсія) целюлозовмістких матеріалів. Біоконверсія чи біотрансформація – це перетворення біополімерів целюлозовмісткої сировини під дією ферментних систем мікроорганізмів чи екзоферментів як у вільному (розчиненому) стані, так і в іммобілізованому.

Як целюлозовмістка сировина для таких процесів може використовуватися багата полісахаридами поновлювана рослинна біомаса - відходи переробки сільськогосподарських культур.

Процеси біоконверсії целюлозовмістких матеріалів можуть здійснюватися за різними технологічними схемами, залежно від біохімічного складу сировини, його придатності дії ферментів, заданої характеристики цільового продукту [4]. У процесах біоконверсії використовують необроблену рослинну сировину чи сировину, піддану попередній обробці механічними, хімічними, електрохімічними й іншими методами.

Нативна целюлоза дуже стійка до ферментативного гідролізу, оскільки кристалічна структура та присутній в ній лігнін перешкоджають проникненню целюлаз.

Питаннями хімічної делігніфікації соняшникового лушпиння та його подальшого розщеплення ферментами займалася Вострикова В.М. зі співавторами [6]. Відзначено, що після обробки надоцтовою кислотою целюлоза й геміцелюлози лушпиння здатні майже повністю розщеплюватися до простих цукрів. Однак цей спосіб обробки дорогий, і автори вважають найбільш вигідною обробку лушпиння 2% NaOH, в процесі якої відбувається ферментативне оцукрювання набряклого лушпиння у лузі і такий субстрат придатний для вирощування кормових дріжджів. Але цей спосіб має істотний недолік. При його застосуванні витрачається багато води й виникають труднощі при регенерації відпрацьованого розчину лугу, яка супроводжується виділенням їдких газів. При обробці лугами вимиваються геміцелюлози, і вихід матеріалу досягає близько 50% початкової ваги.

Дослідження ферментативного оцукрювання соняшникового лушпиння показали, що воно стійке до впливу целюлозолітичних ферментів препаратів культури *Geotrichum candidum*. Навіть після значної делігніфікації різними хімічними способами його оцукрювання проходило не більш, ніж на 15 - 17 %. Після віброобробки лушпиння протягом 1,5 - 2 годин ступінь його оцукрювання склав 42-47 % [7].

Сьогодні біля 10 % лушпиння використовується для виготовлення кормових дріжджів, а інше - як паливо для отримання пари [4]. Одержання дріжджів на багатьох гідролізно-дріжджових заводах у даний час не проводиться в зв'язку з низькою рентабельністю й екологічною небезпекою виробництва.

## **1.2. Екологічна роль вермикультивування рослинних відходів в біологічному землеробстві**

У роботах авторів [8, 9] приводяться приклади розробки принципів біологічного або альтернативного землеробства в Західній Європі та Америці. У ньому істотне місце відводиться використанню органічних добрив у вигляді вермикомпостів, а також стимуляторів росту рослин біогумусної природи.

В умовах ризикованого землеробства степових районів Північної Америки в даний час впроваджується концепція «гнучкого» землеробства (flexible cropping), яка передбачає можливість відступу від жорстко фіксованого чергування культур в сівоzmіні, з використанням високих рівнів біогумусних добрив при вирощуванні польових культур [9].

За повідомленням М.М. Городнього та ін. [10] в останні роки світова наука та практика в галузі переробки різних органічних відходів приділяє велику увагу використанню дощового черв'яка. У дослідженнях О.П. Кулика та ін. [11] відзначено, що у багатьох країнах далекого та деяких країнах ближнього зарубіжжя проблема біологічної технології збереження та підвищення родючості ґрунтів вирішується за допомогою гібриду червоного

каліфорнійського черв'яка, здатного переробляти гній усіх видів тварин, птахів, осади промислових стічних вод, харчові та промислові відходи.

Досвід багатьох країн світу свідчить про ефективність вермикультивування у рішенні проблем утилізації органічних відходів. За даними авторів [12-14] та ін. у США, Італії, Англії, Франції, Нідерландах створені підприємства з вермикомпостування побутових відходів. У Гонконзі вермикомпост одержують із свинячого гною шляхом попередньої обробки його сульфатом кальцію з подальшим вермикультивуванням. У працях [15, 16] та ін. відзначається, що у Німеччині, Угорщині, Данії, Польщі вермикультуру використовують для переробки гною, а також відходів мікробіологічної промисловості.

В Україні питаннями дослідження властивостей вермикомпосту і його впровадження займалися М.М. Городній, Г.В. Крусір та ін. [5, 10]. Робота А.В. Бикіна [17] присвячена вирішенню проблем переробки органічних відходів у нові види добрив.

За даними [17] для розведення використовують культуру гібриду червоного каліфорнійського черв'яка *Eisenia foetida*, виведеного в 1959 р. у США. Тривалість життя цього виду черв'яка близько 16 років. Запліднення й відкладання коконів в оптимальних умовах відбувається кожні 7 діб, через 20 днів з'являються личинки, що досягають статевої зрілості через три місяці. Потомство від одного каліфорнійського черв'яка може досягти 1,5 тис. особин за рік.

За повідомленням С. Edwards, у Великобританії [18] розроблена технологія й одержаний патент на переробку тваринницьких відходів, відходів картоплепереробних підприємств з метою отримання екологічно чистого добрива.

Як свідчать дані [19] на Ротамстедській дослідній станції (Великобританія) рідкий гній піддають сепарації. Фракцію, що містить 15-20% твердих речовин, укладають шаром 15-20 см на стелажі. З гною за допомогою

вермикультури одержують добриво, а черв'яків використовують для годівлі тварин.

У Франції жирові відходи, які забороняється скидати в море, змішують з осадом стічних вод [19]. Отриманий субстрат придатний для вермикультивування, однак, через підвищений вміст важких металів використання його як добрива можливо тільки для декоративних рослин і лісонасаджень.

О.М. Куценко та В.М. Писаренко [20] відзначають, що одержання біогумусу є по суті одним з шляхів вирішення проблеми використання екологічного механізму для поновлення родючості ґрунтів. Вирішується питання біотехнології гумусу, який є альтернативою використанню хімічних добрив.

Велика роль безхребетних як стимуляторів діяльності мікроорганізмів. Подрібнюючи рослинний матеріал, вони збільшують його загальну поверхню і сприяють розмноженню мікроорганізмів. Пропускаючи подрібнену їжу через травний тракт, змінюючи та зволожуючи її при травленні, безхребетні створюють ще більш сприятливі умови для їх розвитку. У результаті екскременти ґрунтових тварин стають центром надзвичайно бурхливого розмноження мікроорганізмів [19].

За даними Горбань В. А. [21], число амоніфікаторів (головним чином флуоресцентів) у кишечнику дощових черв'яків досягало 35 млн. шт. на 1 г сирової маси.

В копролітах дощових черв'яків розвиваються майже всі групи мікроорганізмів, що беруть участь у розкладанні рослинних решток. Як відзначає Аверченко В.І. [9], М. Loquet та ін. [22] показали, що у викидах дощових черв'яків настільки інтенсивне мікробіологічне життя, що їх порівнюють із природними компостами.

У праці [9] показано, що у кишечнику черв'яків присутні мікроорганізми *Bacillus agglomeratus*, здатні вилучати нітросполуки з білків. Цей процес продовжується і в копролітах, але з меншою інтенсивністю. Бактерії *Bac. cereus*

у кишечнику знаходяться в неактивній формі, а в копролітах розкладають білки до амінокислот і більш простих органічних сполук. Чисельність актиноміцетів у копролітах також збільшується в 1,5-2 рази порівняно з їх вмістом у ґрунті.

У 1 г вермикомпосту нараховують до  $2 \cdot 10^{10}$  мікроорганізмів, серед яких велика частка приходить на актиноміцети і бактерії-нітрифікатори [19].

За даними Елланської Н. Е. [23], свіжі копроліти ґрунтових тварин мають, як правило, підвищений, порівняно з навколишнім ґрунтом, вміст вуглецю, азоту, фосфору, калію тощо. Завдяки рухливості розчинних форм цих елементів, які легко гідролізуються у копролітах, останні стають прекрасним енергетичним матеріалом для мікроорганізмів і джерелом поживних речовин для рослин. Шаталін Д.Б. [24] установив, що дощові черв'яки виділяють провітамін D. Дощові черв'яки є важливим чинником збагачення ґрунту вітамінами групи B та ідентичними їм біогенними стимуляторами, причому черв'яки виділяють їх у ґрунт не тільки з копролітами, а також залозами шкірно-мускульного міхура та метанефридіїв з продуктами обміну. У копролітах дощових черв'яків виявлений підвищений вміст вітамінів B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>12</sub>.

У роботі G. Hoffmann [25] показано, що безхребетні мають багатий набір різноманітних ензимів. Так, у травневому тракту дощових черв'яків виявлені протеаза, ліпаза, β-інвертаза, целюлаза, хітиназа, уреаза. Виявлені окисні ферменти (дегідрогеназа, каталаза, поліфенолоксидаза і пероксидаза) в тілах дощових черв'яків. Поліфенолоксидази - ензими, необхідні для формування гумусових речовин. U. Kiss [26] установив, що мікроорганізми за участю поліфенолоксидази можуть окислювати такі клітинні метаболіти, як амінокислоти, алкалоїди, органічні кислоти. Ці ферменти також мають значення для клітинного дихання. Таким чином, безхребетні забезпечують ґрунт окисними ферментами.

Безхребетні здатні гідролізувати не тільки легкозасвоювані форми білків, вуглеводів, жирів, але і значно більш стійкі речовини - клітковину, пектин, ксилан, хітин тощо, тобто піддавати розпаду органічні речовини, які є

джерелом формування гумусових речовин. Дідур О.О. та ін.[27] відзначають, що безхребетні можуть також синтезувати гумусові речовини в процесі травлення (за допомогою ферментів типу фенолоксидаз, що виділяються кишковими симбіонтами, а також, цілком ймовірно, й самими ґрунтовими тваринами).

Усі ці явища демонструють, що не тільки подрібнення рослинного матеріалу та перерозподіл мікроорганізмів, але й глибока хімічна трансформація рослинних залишків - важлива функція дощових черв'яків. Відзначена висока водоемність копролітів у порівнянні з ґрунтовими агрегатами.

За даними Бикіна А.В. [17], черв'яки створюють сприятливі умови і для діяльності мікроорганізмів, що інгібують розвиток патогенних бактерій, зокрема сальмонел, це сприяє знезаражуванню вермикомпосту. Ґрунтові мікроорганізми і дощові черв'яки створюють єдиний харчовий ланцюг у ґрунтовій екосистемі, який стабілізує умови для скорочення термінів вермикомпостування.

Безхребетні мінералізують органічні речовини, які вони споживають, в прості сполуки: вуглекислий газ, воду, аміак, доступні для використання рослинами. У процесі метаболізму тварин відбувається також розщеплення складних органічних речовин на сполуки, що легко мінералізуються: сечовину, сечову й гіпурову кислоти, гуанін. Кривошей Ю.І. [28] встановлено, що вони виділяють у вільному стані багато солей: хлоридів і фосфатів калію, магнію, натрію, кальцію тощо.

У кишечнику черв'яків підвищується вміст органічного і неорганічного фосфору, обмінного кальцію і магнію. Біогенний кальцій, що накопичується, сприяє нейтралізації кислот у навколишньому середовищі. Лужні властивості мають і виділення залоз стінки середньої кишки цього черв'яка.

Ткачук О.П. [29] відзначає, що у кругообігу вуглецю особливо важлива клітковина, з якої складається 50-70 % рослинного матеріалу, що повертається

до ґрунту. Lewis D.B [30] доведено, що дощові черв'яки не тільки продукують целюлазу, але й обходяться без бактерій при перетравленні клітковини.

Черв'яки прокладають багато горизонтальних та вертикальних ходів (глибиною до 1,5 м). Це збільшує шпаруватість ґрунту, повітрообмін, полегшує проникнення коренів рослин у глибину. Густа мережа ходів з міцними стінками сприяє формуванню пружного ґрунтового каркасу, здатного значною мірою протистояти деформуючій дії ходових систем машин.

Регулюючий вплив ґрунтових тварин на мікробне угруповання полягає в тому, що вони споживають одних і створюють сприятливі умови для розмноження інших мікроорганізмів.

Складний конгломерат біогумусу за відносно близьким типом будови найкраще розділити на ряд груп і фракцій, які відрізняються одна від одної за молекулярною масою та хімічним складом [17]. Залежно від способу екстракції, що застосовується, можна виділити такі фракції: гумін, гумінові кислоти, фульвокислоти, гематомеланові кислоти. Особливої уваги заслуговує вміст гуміну. Гуміни мають значну питому поверхню ( $600-1000 \text{ м}^2/\text{г}$ ), велику адсорбційну здатність. Наприклад, їх аніонно-катіонна здатність становить  $400-600 \text{ мг-екв}/100 \text{ г}$  ґрунту. Крім того, вони добре поглинають воду і здатні до коагуляції. Різноманітними є і численні реакції та процеси, в яких безпосередньо бере участь органічна речовина біогумусу, і які відбуваються під її впливом. Це іонний обмін, комплексотворення металів, сорбція пестицидів і важких металів, інших хімічних речовин.

В аеробних умовах продукти гідролізу вуглеводів окислюються до карбонових кислот, альдегідів, оксихінонів і кислот. Інтенсивно мінералізуються розчинні вуглеводи, крохмаль, білки, досить швидко - геміцелюлоза та целюлоза. Найстійкіші до розкладання дубильні речовини, лігнін, віск і смоли. Паралельно відбувається і вторинний синтез - процеси гуміфікації. Вітаміни, антибіотики та ферменти, що входять до складу біогумусу, стимулюють ріст і розвиток рослин.

Авторами [31] доведено, що гумінові кислоти, які утворюються в кишечнику черв'яків, входять потім до комплексних сполук з мінеральними компонентами ґрунту і довго зберігаються у виді водоемних, водостійких і гідрофільних агрегатів. Встановлено, що ці кислоти при концентрації розчину 0,001-0,01% стимулюють розвиток кореневої системи і кореневе живлення рослин.

Неспецифічні органічні сполуки, які містяться у біогумусі, надають йому фізіологічної активності, сприяють утворенню органо-мінеральних комплексів та структуроутворенню.

Дослідженнями [31] встановлено, що біогумус має багатосторонній позитивний вплив на агрохімічні, фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунту. У біогумусі акумульовано велику кількість макро- та мікроелементів, які безпосередньо засвоюються рослинами. Він містить ряд ростових речовин, вітамінів, антибіотиків, 18 амінокислот і корисну мікрофлору. Якщо біогумус містить комплекс необхідних речовин, він може бути використаний для всіх сільськогосподарських культур, але особливо корисний для тих, які потребують поживних речовин, збалансованих за хімічним складом. Це добриво пролонгованої дії зі синхронним ефектом дозволяє одержати екологічно чисту продукцію, здатне поліпшувати ґрунти і знижувати антропогенний тиск, особливо внаслідок внесення підвищених доз мінеральних добрив.

Черв'яки виділяють із субстрату кальцій, знижуючи тим самим кислотність середовища. Коефіцієнт гуміфікації субстрату 15-25%, в той час як для гною він становить близько 10%.

Завдяки інтенсивній ферментації біогумус містить велику кількість біологічно активних речовин (ауксинів, гіберелінів тощо), які прискорюють проростання насіння, значно знижують стрес рослин, особливо овочевої розсади, при висаджуванні її у ґрунт, підсилюють приживлюваність, підвищують стійкість рослин проти захворювань, впливають на ріст і розвиток рослин, тим самим сприяючи одержанню продукції високої біологічної якості, придатної для тривалого зберігання, у більш ранні строки.

Біогумус має також інші цінні властивості: велику вологоємність, гідрофільність, механічну міцність; в ньому відсутнє насіння бур'янів.

Біогумус містить велику кількість біологічно активних речовин, які сприяють відновленню деградованих ґрунтів, тобто забезпечують підвищення його родючості.

Надзвичайно висока швидкість розмноження і активність безхребетних у гної використовується в сільськогосподарській практиці в Німеччині для швидкісної природної гуміфікації за методом професора Лесінга. Відповідно до цього методу, бурти гною закладаються на спеціальних площадках зі старим гноєм і нарощуються з перервами в кілька днів, за які ґрунтові тварини з нижнього шару встигають освоїти та переробити верхній. Метод дозволяє прискорити та полегшити протікання процесу біопереробки гною. Заселення свіжих шарів відбувається у певному порядку: спочатку - кліщі, потім - колемболи і слідом за ними - дощові черв'яки *E.foetida*.

Відповідно до способу S. Hanff [32], перемішують рідкі гнойові відходи з твердим матеріалом, що розкладається біологічно, типу тирси, стружки, листя і коренів дерев тощо, витримують цю масу для ферментації, вводять організми типу *Eiseniella tutraedra Savigny*, *E.foetida Savigny*, *Eisenia andrei Bouche*, компостують отриманий матеріал.

Сукупність хімічних і біологічних властивостей біогумусу робить його унікальним продуктом, що сприяє регенерації ґрунтів, поліпшує їх агрохімічні, фізичні і біологічні властивості.

Застосування біомаси вермикультури, що має протекторні й антитоксичні властивості при зниженні резистентності організму, перспективно для дитячого лікувального харчування, для одержання лікарських препаратів при лікуванні онкологічних захворювань. Кормове борошно з біомаси черв'яків є цінною протеїновою кормовою добавкою при вирощуванні риби, птахів, худоби. Воно багате на фізіологічно активні речовини - ферменти, гормони, вітаміни, що перевершує м'ясну добавку за рівнем вмісту всіх незамінних амінокислот (за винятком гліцину).

Шевчуком М.Й. та ін. [33] встановлено позитивний вплив вермикомпосту на нормалізацію вмісту нітратів і мікроелементів у зерні кукурудзи. Усі види вермикультури дещо підвищували активність пероксидази в листі та зерні зернових культур у процесі їх онтогенезу, що корелює з підвищенням врожайності та зниженням вмісту нітратів у рослинах.

Застосування біогумусу як адаптогенного препарату пом'якшує токсичну дію гербіциду, що діє на геном рослин у межах норми реакції організму. Біогумус підвищує адаптивний потенціал рослин, але сам не діє на геном рослин [34].

Самохваловою В.Л. [35] досліджено вплив дощових черв'яків на відновлення біологічних процесів у ґрунтах, забруднених важкими металами. Встановлено, що при використанні біогумусу важкі метали зв'язуються в малодоступні рослинні комплекси, що сприяє одержанню екологічно чистої рослинницької продукції.

У роботах Ящука В.У. [36] приведені дані про вплив різних видів біогумусу на агроекологічні показники ґрунту та розподіл цезію-137 у сільськогосподарських рослинах. Встановлено, що внесення біогумусу сприяє зниженню рівня радіації в різних органах рослин, у тому числі в плодах.

Дослідження свідчать про те, що застосування вермикомпосту на солонцях в Індії відновлює родючість ґрунтів. Установлена висока ефективність гранульованих органічних добрив з вермикомпосту на основі гною великої рогатої худоби при вирощуванні кукурудзи і ячменю у посушливих умовах Донецької області на чорноземі звичайному малогумусному, слабкоеродованому на лісовидних суглинках.

Керування мікробними популяціями в ґрунті є справою дуже складною. Внесення мікробів, які містять фізіологічно активні речовини: антибіотики, токсини, ферменти, деякі амінокислоти, вітаміни стимулятори росту рослин типу гіберелінів, ауксинів, цитокинінів, відіграє істотну роль в екосистемах.

Забродоцька Л.Ю. та ін. [37] відзначають, що одним з найважливіших напрямків біотехнологічних досліджень у сільському господарстві є хімічна регуляція росту та розвитку рослин.

Рослини є складною багатовимірною системою, що характеризується численними морфофізіологічними, біохімічними та іншими параметрами, багато з яких підлягають циклічним змінам упродовж окремих періодів росту і розвитку рослин. Тому застосування регуляторів росту рослин є одним з факторів науково-обґрунтованого управління внутрішньо популяційними і міжпопуляційними взаємовідносинами в агроценозі на основі речовинно-енергетичних і інформаційних взаємозв'язків, що склалися в біологічній ієрархічній системі між рослинами, і які при цьому не порушують закону екологічної кореляції екосистеми.

Важливе значення для рослинництва набувають не синтетичні гормональні препарати, а природний комплекс, що утворюється в результаті метаболізму мікробної клітини: фітогормони, вітаміни, амінокислоти, органічні кислоти й інші необхідні для рослини сполуки. У. Tomati та ін. [16] встановлено, що біостимулятори, які містяться у виділеннях дощових черв'яків, сприяють росту кореневої системи та надземної частини рослин, розмноженню мікрофлори. Мікробна активність, у свою чергу, може пояснити багато ефектів, що визначають біологічну активність і родючість ґрунтів. Головні регулятори росту - це метаболіти мікроорганізмів, що містяться в копролітах черв'яків. Гормоноподібний ефект, що виявляється в активізації росту, збільшенні біомаси кореневої системи.

Ґрунтові мікроорганізми впливають на ріст і розвиток рослин не тільки через участь у кругообігу речовин, але й безпосередньо - виділенням продуктів своєї нормальної життєдіяльності: вітамінів, ферментів, фітогормонів.

Гумінові препарати підвищують імунітет рослин, відіграють роль антидепресанту, особливо при несприятливих умовах зовнішнього середовища. Вченими багатьох країн світу, встановлено, що розчинні гумінові кислоти є дуже ефективними фізіологічно активними речовинами. Одна з причин

позитивної дії розчинних гумінових добрив при внесенні їх у ґрунт - це створення більш сприятливих умов для збереження ґрунтового гумусу, що бере участь в утворенні поглинаючого комплексу.

Велику важливість мають роботи Кулик О.П. по з'ясуванню ролі гумінових речовин [11]. Встановлено прямий позитивний вплив цих речовин на ріст коренів і опосередкований вплив на формування надземної маси. На підставі результатів досліджень зроблено висновок про те, що гумінові речовини позитивно впливають на ріст коренів у різних ґрунтах, підвищують їх активність із використання елементів живлення та вологи.

А.М. Галушка та ін. [38] показали, що застосування гумату натрію, особливо в сполученні з добривами й іншими фізіологічно активними речовинами, зумовлює статистично достовірне збільшення врожаю сільськогосподарських культур (до 20-25 %). Установлено, що гумінові кислоти мають донорно-акцепторні властивості та каталазну активність. Утворення гуміновими кислотами у воді нерозчинних органо-мінеральних похідних сполук, які характеризуються високою поглинаючою здатністю, сприяє закріпленню їх у ґрунті, що для останнього є важливим акумулятором енергії та джерелом поживних речовин.

Препарати гумусових речовин, виділених з різних ґрунтів як при внесенні їх у середовище кореневого харчування в розчиненому стані, так і при пророщенні насіння у розчинах цих речовин, позитивно впливають на ріст, розвиток і врожай томатів.

Рідкий біогумус широко застосовується в багатьох країнах світу (США, Німеччина, Франція, Китай, Японія, Угорщина, Болгарія, Чехія, Словаччина тощо). На сільськогосподарському підприємстві ЯКОШ у Костолиште (Словаччина) налагоджено випуск серії препаратів рідкого біогумусу, що носять наступні назви: Вермисіль спеціальний, Вермисіль Н, Вермисіль Mg. Вермисіль N, Соланумсіль, Корнсіль, Зеасіль і Футерсіль. Зокрема, Вермисіль спеціальний призначений для поліпшення поживного режиму ґрунту під

польовими культурами, овочами, виноградом, фруктовими деревами, квітковими та декоративними рослинами.

Перед внесенням біологічного гумусу ґрунт відповідним чином підготовлюють. За даними М.М. Городнього та ін. [10] підготовка включає наступні операції: оранку на глибину 30-35 см з ретельним боронуванням; гумус вносять рівномірно після опадів чи після штучного зрошення; після його внесення проводять зрошення; удобрене гумусом поле залишають на 3-6 місяців під пар.

Науково-виробниче товариство «Відродження» (м. Івано-Франківськ) виробляє біостимулятор «Вермистим» з біогумусу. Його ефективність обумовлена вмістом у ньому збалансованого комплексу біологічно активних речовин, мікро- та макроелементів. При вирощуванні цукрового буряка в ряді господарств України застосування «Вермистиму» забезпечило збільшення врожаю цукрового буряка на 38-65 ц/га, а також підвищення цукристості від 0,4 до 1,3 %.

У дослідженнях К.П. Масликової та ін. [39] двічі проведені поливи рослин томатів в період вегетації розчинами гумату натрію та біогумату сприяли підвищенню виходу ранньої продукції томата в 1,5-2 рази при загальному збільшенні врожаю.

Сапрофітні мікроорганізми виконують важливу функцію в забезпеченні нормальної життєдіяльності рослин, мобілізуючи з органічних речовин ґрунту елементи живлення в ризосфері кореневої системи рослин. Результати досліджень Н. Байрака [40] показали, що вміст сапрофітних бактерій в окремих рідких регуляторах наступний, (клітин/г): Імпульс -  $1,62 \cdot 10^4$ , Вітогран -  $2,65 \cdot 10^4$ , Тюльпан -  $1,35 \cdot 10^5$ , Гумісол -  $6,4 \cdot 10^5$ . Виділяючи вуглекислий газ і продукти кислої природи, вони дають змогу додатково мобілізувати карбонати і фосфати кальцію, окремі силікати калію та магнію. Поверхня обробленого гумісилом насіння містить угруповання мікроорганізмів, які позитивно впливають на проростаючу рослину. Поглинаючи легкодоступні органічні речовини ґрунту, вони зменшують можливість розвитку патогенної

мікрофлори, яка здебільшого є їх антагоністом. Середній вміст окремих амінокислот у гумісолі коливається в межах  $(44-61) \cdot 10^{-5}$  г/л. Н. Байраком [40] виявлена висока ефективність застосування гумісолу на ячмені. При обробці зерна гумісолом у дозі 15 л/т прибавка врожаю становила 4,4 ц/га, або 16,1%.

О.П. Кулик та ін. [41] відзначають, що використання вермикультури дозволяє створити замкнуті безвідходні технології аграрного виробництва з метою відродження на вищому продуктивному рівні виробництва екологічно чистої сільськогосподарської продукції, яку отримували до інтенсивного впровадження хімізації.

Фахівці з охорони навколишнього середовища відмічають, що вирощування земляних черв'яків - не тільки «екологічний», але і високоприбутковий промисел. Це дуже вигідний світовий бізнес, що приносить у рік до 30 мільярдів доларів.

Наведений огляд літературних даних свідчить про те, що екологічні проблеми, пов'язані з забрудненням навколишнього середовища органічними відходами, можна успішно вирішувати за допомогою дощових черв'яків. Крім того вермикомпостування економічно вигідне: з 1 т відходів можна одержати до 600 кг екологічно чистого добрива, а біомаса черв'яків може бути використана як кормова добавка в раціоні сільськогосподарських тварин, птахів, риби. Крім того, біомасу черв'яків використовують для одержання лікарських препаратів.

В.М. Писаренко та О.М. Куценко [20, 34] відзначають, що промислова біотехнологічна переробка за допомогою черв'яків перетворюється в нову галузь сільськогосподарського виробництва, здатну допомогти вирішити проблему дефіциту тваринного білка і підвищення родючості ґрунту. Використання біогумусу для удобрення полів різко скорочує витрати на перевезення гною. Якщо на 1 га сівозмінної площі рекомендовано вносити 5-10 т гною, то при використанні біогумусу достатньо для одержання того ж ефекту 3 т біогумусу, а для багатьох культур - 1,5 т/га.

Журавель С.В. та ін. [42] стверджують, що внесення вермикомпостів в деградовані ґрунти (як замітник утраченої трофічної ланки - мулового гумусу) безсумнівно буде сприяти створенню ліпших умов (ідентичних природним) для росту і розвитку рослин.

Нами обґрунтована необхідність впровадження екологічної технології в агропромисловому комплексі України, що дозволяє біотрансформувати вторинні ресурси підприємств (соняшникове та гречане лушпиння) та одержати екологічно чисту продукцію для використання в землеробстві [43, 44] та кормовиробництві [7].

### **1.3. Вермикультура як відновлюване джерело тваринного білка**

Дощові черв'яки містять достатню кількість білка, який може використовуватися як корм для тварин або джерело кормового білка. Були проведені дослідження тканин дощових черв'яків, які підтвердили цей висновок. Перші успішні досліди з годування тварин були здійснені на курчатах і поросятах [45]. В даний час ця технологія широко використовується в багатьох країнах з метою отримання із низькоцінних органічних відходів двох видів високоцінних господарсько корисних продуктів: вермикомпосту (біогумусу) і білково-вітамінної кормової добавки з біомаси дощових черв'яків.

Численні дослідження компонентів тканин різних видів дощових черв'яків показали, що загальний склад тканин дощових черв'яків суттєво не відрізняється від таких для багатьох тканин хребетних тварин. Спектр незамінних амінокислот в тканинах дощового черв'яка є порівнянним з таким з інших в даний час використаних джерел. За вмістом незамінних амінокислот вони відповідають кормам для тварин, птиці або риби, які рекомендовані комісіями ФАО і ВООЗ, особливо з точки зору вмісту лізину та комбінацій метіонін + цистеїн і фенілаланін + тирозин, що є дуже важливими компонентами тваринних кормів. Крім того, тканини дощового черв'яка містять довголанцюгові жирні кислоти та відповідну кількість мінеральних

речовин. Вони також містять ряд вітамінів, багаті нікотиновою кислотою і є цінними компонентами для кормів [46].

Багато видів дощових черв'яків можна вирощувати на різних органічних відходах, перетворюючи їх в біомасу черв'яків, причому остання може становити від 10% початкової маси відходів. Черв'яки можуть бути відокремлені від субстрату механічним способом і перероблені в сухі вермикорми, які потім будуть використані як білково-вітамінно кормова добавка для тварин.

Червоний каліфорнійський черв'як *E. foetida* – найбільш універсальний вид дощового черв'яка, він характеризується швидким ростом і коротким циклом життя, легко адаптується до різних видів органічних відходів, плідний і тому найкраще підходить для вермикультивування.

Для культивування в штучних умовах компостних черв'яків виду *E. Foetida* необхідні наступні умови: температура субстрату – 20-28 °C; вологість субстрату – 70-80% від повної вологоємності; значення рН середовища харчових субстратів в діапазоні від 5,0 до 8,0; регулярне додавання органічних матеріалів; насичення киснем повітря субстрату. Дотримання даних умов сприяє активному росту та розмноженню дощових черв'яків при максимальному споживанні корму, що призводить до прискорення переробки органічної фракції відходів, збільшенню виходу високоякісного біогумусу та біомаси черв'яків.

Різні методи обробки дощових черв'яків на корм для тварин були розроблені багатьма авторами. З біомаси дощових черв'яків отримують пастоподібний продукт або сухе борошно, які є прийнятними для використання в якості корму для тварин [45]:

*Бланшування.* Цей метод полягає в обробці дощових черв'яків в киплячій воді протягом однієї хвилини, додавання тридцяти відсоткової патоки разом з 0,3% сорбатом калію. Отриманий пастоподібний продукт може зберігатися при кімнатній температурі невизначено довго, так як ріст дріжджів і цвілі загальмовано.

Обробка мурашиною кислотою – отримання пастоподібного продукту з біомаси дощових черв'яків: обробка біомаси черв'яків тривідсотковою мурашиною кислотою.

Отримання сухого порошку, або вермиборошна. Сухе білкове вермиборошно з дощових черв'яків можна отримати за допомогою бланшування їх в киплячій воді протягом 1 хв, подальшої природної сушки на повітрі (або в сушильній шафі при температурі 95°C) та розмелювання в порошок. Інший тип сухого вермиборошна може бути отриманий за допомогою швидкого заморожування біомаси дощових черв'яків, її ліофілізації та розмелювання в порошок. Ще один спосіб отримання вермиборошна полягає в обробці черв'яків в ацетоні протягом 1 год з подальшим висушуванням в сушильній шафі при температурі 95°C і подрібненням в порошок.

Перші випробування з годівлі риби дощовими черв'яками були проведені Тасон А. [47]. Було показано, що ріст форелі при годуванні тільки дощовими черв'яками видів *E. foetida*, *Allolobophora longa* і *Lumbricus terrestris* L. був порівнянний з ростом риби, яку годували комерційним білковим препаратом. Риба, яку годували замороженими дощовими черв'яками *A. Longa* і *L. terrestris*, росла так само або навіть краще риби, яку годували комерційними кормами для форелі. На повній дієті з сублімованого порошку дощових чиряків *E. Foetida* форель росла менш активно. При цьому використання маси черв'яків, що зазнали бланшування в киплячій воді до заморожування, стимулювало зростання риби. Можливо, заморожування видаляло слиз, який цей вид черв'яків виділяє для захисту від хижих птахів і ссавців. Однак борошно з отримане з черв'яків *E. foetida*, які не піддавалися бланшуванню в киплячій воді, могло замінити рибне від 5 до 30%, що не впливало на швидкість росту форелі. Було показано, що тілапія *Tilapia* вирощувалася краще при використанні корму, що містить білок дощового черв'яка виду *P. excavatus* або *E. eugeniae*, ніж корму з додаванням рибного борошна [47].

За результатами досліджень Sabine [14] зазначають, що використання вермиборошна замість м'ясного борошна не несе значної різниці на зріст

курчат. Про подібні результати повідомляли Mekada та ін. Вони встановили, що курчата, яких годували дощовими черв'яками, додавали у вазі швидше, ніж курчата на інших дієтах (включаючи рибне борошно), мали велику масу грудки та споживали менше корму.

Sabine J. [14] зазначають, що в дослідях з годівлі поросят, які отримували додатково кормовий білок дощового черв'яка, росли так само добре, як і тварини, вирощені на комерційних кормах. На кормах з доповненнями білка дощових черв'яків поросята росли краще. Більш того, введення в раціон тварин білка дощових черв'яків призводило до збільшення стійкості до захворювань.

В космічній програмі вермикюльтура багато років використовується як компонент замкнутої екологічної системи космічного апарату для рециклінгу органічних відходів. Дощові черв'яки є зручним об'єктом для космічних експериментів завдяки невеликим розмірам, короткому циклу індивідуального розвитку, високої плідності, а також високого рівня біоконверсії органічних відходів в добриво та тваринний білок. В умовах тривалих космічних експедицій дощові черв'яки можуть використовуватися для утилізації і рециклінгу органічних відходів життєдіяльності космонавтів, харчових відходів, біомаси відмерлих водоростей, целюлози та інших органічних компонентів замкнутої системи космічного апарату. Одержуваний в результаті життєдіяльності черв'яків вермикомпост в подальшому може використовуватись як повноцінний штучний ґрунт для вирощування рослинної продукції, а також рослин, необхідних для проведення спостережень за їх станом в умовах дії комплексу чинників космічного польоту.

Наведений огляд літературних даних свідчить про те, що екологічні проблеми, пов'язані з забрудненням навколишнього середовища органічними відходами, можна успішно вирішувати за допомогою дощових черв'яків. Крім того, вермикомпостування економічно вигідне: з 1 т відходів можна одержати до 600 кг екологічно чистого добрива, а біомаса черв'яків може бути використана як кормова добавка в раціоні сільськогосподарських тварин, птахів, риби. Біомасу черв'яків використовують для одержання лікарських

препаратів. У Японії Ishii та Mihara [48] отримали патент на препарати, що регулюють кров'яний тиск, розчиняють тромби, лікують діабет.

#### 1.4 Загальна характеристика вермикультури *Eisenia foetida*

В наш час внаслідок забруднення природних середовищ, виснаження ґрунтів і інших ресурсів, у багатьох країнах стали вживати практичних заходів щодо біоконверсії відходів, доводити до масової свідомості актуальність концепції екоциклінгу. Його практична реалізація висловилася в новому напрямку біотехнології - вермитехнології, яка полягає в промисловому розведенні дощових черв'яків і дозволяє вирішити ряд актуальних екологічних проблем: підвищити родючість ґрунту, безпечно утилізувати органічні відходи, отримати гумусове добриво (копроліт або біогумус, вермикомпост), виростити екологічно чисту сільськогосподарську продукцію, одночасно повертаючи в ґрунт ті життєво важливі елементи, які з нього винесені з урожаєм.

Вермитехнологія має ряд напрямків, одним з яких є вермикультивування - розмноження дощових черв'яків. Як об'єкт культивування в більшості випадків використовують дощового компостного черв'яка *Eisenia foetida*, а точніше його підвид *Eisenia foetida andrei*, що має промислову назву «червоний каліфорнійський гібрид» - ЧКГ або «червоний каліфорнійський черв'як» - ЧКЧ.

З великої кількості видів дощових черв'яків, що відносяться до цього сімейства, для вермикультивування придатні тільки декілька видів: *Eisenia foetida* (і його підвиди *E. f. Foetida* і *E. f. Andrei*), звичайний дощовий черв'як (*Lumbricus terrestris*), малий червоний черв'як (*L. rubellus*) і кілька інших видів (*Dendrobaena veneta*, *Dendrobaena octaendra* та ін.).

В даний час в інтенсивному вермикультивуванні найбільш широко використовують такі три види: *Lumbricus rubellus*, *E. f. foetida*, червоний каліфорнійський гібрид. Нижче наводиться коротка загальна характеристика *Eisenia foetida* (Savigni, 1826) (рис. 1.1).



Рис. 1.1 – Черв'як *Eisenia foetida*

Довжина статевозрілих черв'яків 40-130 мм, ширина в області паска 2-4 мм. Число сегментів 80-120. Поясок займає 25-32-й сегмент. Забарвлення червоно-фіолетове або коричнево-червоне у вигляді поперечних смуг. Бороздки, що розділяють сегменти, світлі, що особливо добре видно, коли черв'як розтягнеться. Головна лопать епілоїдна. Спинні пори починаються з міжсегментної бороздки 4/5. Щетинки сильно зближені попарно. Чоловічі статеві отвори на 15-му сегменті, оточені великими залозистими полями, що заходять на сусідні сегменти. Поясок з 26-го, по 27-го по 31-й, 32-й сегмент. Пубертатні валики з 1/2 27-го, 28-го (рідко з 29-го) по 30-й, 31-й сегмент. Чотири пари сім'яних пухирців в 9-12-му сегментах. Дві пари сім'яприймників в 9-му і 10-му сегментах, відкриваються в міжсегментні бороздки 9/10 і 10/11 у лінії спинних пор. Відзначено дисковидні сперматофори, що зустрічаються на 22-27-му сегментах. Диссепиментами 6/7-8/9 кілька потовщені. Вапняні залози слабо розвинені, не мають дивертикулів. Поздовжня мускулатура перехідного типу.

*Eisenia foetida* поширений дуже широко. Мешкає найчастіше на звалищах, в гної, парниках, де можна зустріти понад 1000 особин на 1 м<sup>2</sup> [34].

Вид має високу плодовитість, витривалий до мінливих умов середовища. Даний черв'як невимогливий до їжі, практично всеїдний. Саме цих черв'яків, здатних в короткий термін трансформувати відходи в органічне добриво без запаху, використовують при організації господарств з вермикультивування.

Підвид *Eisenia foetida andrei* вирощується в комерційних цілях під назвою «червоний каліфорнійський черв'як», виділений в результаті селекційних досліджень, вироблених в США. Забарвлення темно-червоного кольору. Доросла особина досягає в довжину 8-9 см, в діаметрі 3-5 мм, живе до 16 років. Маса дорослої особини 0,8-1 г. Кормом служать різні субстрати органічного походження, відходи м'ясокомбінатів, рибо- і овочепереробних підприємств, а також відходи целюлозної промисловості, торф, осади з міських промислових очисних споруд, тирса. ЧКГ володіє великою плодючістю. Статевої зрілості досягає у віці 3 місяців. Протягом усього життя він регулярно розмножується, в результаті чого утворюється два кокона, які дозрівають і розкриваються через 14-21 діб, залежно від температури середовища проживання. Має порівняно невелику довжину, в природних умовах дає щотижня 1-2 кокона, з яких через 3 тижні виводяться від 2 до 20 черв'ячків, але в живих залишаються не всі. Через три місяці черв'ячки стають статевозрілими і можуть самі давати потомство. Один черв'як дає потомство 200-400 особин на рік.

Городній М.М. відзначає, що серед великої кількості видів кільчастих в умовах помірного клімату з найбільшим успіхом можна розводити вид *Eisenia foetida* [10].

Проведений аналіз наукових джерел дозволяє прийти до висновку, що новий напрямок біотехнології – вермикультивування (промислове розведення деяких видів дощових черв'яків) – дозволяє вирішити на біологічній основі актуальні екологічні проблеми: утилізації органічних відходів, підвищення родючості ґрунту, одержання високоякісного екологічно чистого органічного добрива при збільшенні виробництва якісної сільськогосподарської продукції. Актуальними та перспективними є розробки з переробки рослинних органічних відходів із застосуванням мікроорганізмів і ферментних систем тварин,

зокрема, вермикультури *E.foetida*. Метод вермикультури істотно обмежує або виключає небезпеку забруднення навколишнього середовища політантами і дозволяє отримати біогумус, основними агроекологічними властивостями якого є: багатство корисної мікрофлори; пролонгована дія; оптимальна реакція середовища для розвитку рослини; відсутність насіння бур'янів; вміст біологічно активних речовин (фітогормонів), які підвищують стійкість рослин до захворювань й зменшують стресовий стан. Внесення вермикомпостів до ґрунту створює сприятливі умови для підвищення родючості ґрунту, що сприяє активізації процесів розвитку та формування урожайності культур. Екзогенне збагачення рослин природними екологічно чистими стимуляторами росту (екстракти з продуктів біопереробки червоного каліфорнійського черв'яка) суттєво збільшують врожайність сільськогосподарських культур. Але на сьогодні в науковій літературі відсутні дослідження з розробки технології біоконверсії відходів агропромислового комплексу (соняшникового, гречаного лушпиння) методом вермикультивування з метою отримання біогумусу.

Все це зумовило вибір теми наших наукових досліджень.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Матеріали та методика досліджень

В лабораторних умовах ОНТУ кафедри «Екології, води та природоохоронних технологій» визначали оптимальні умови існування для вермикультури *E.foetida* у субстраті на основі гречаного та соняшникового лушпиння. Для кожного експерименту відбиралось за 30 статевозрілими та 6 ювенільних особини.

Дослідження з вермикультивування проводилися протягом місяця. Повторність досліду одноразова. Спостереження проводилися при температурі 24-26 °С. Результати оцінювались за кількістю черв'яків і їх біомасою.

Перед проведенням досліду лушпиння подрібнювалось.

Подрібнене лушпиння перемішувалося з водою в змішувачі при співвідношенні 1:1,5; зволожений субстрат закладався в бурти висотою 60 - 70 см. Після завершення процесу ферментації (зниження температури всередині бурту до температури навколишнього середовища) субстрат розкладався в ящики. Розмір яких 40,5 x 34 см, висота бічних стінок - 22 см. Кількість – 4 шт. Вермикультуру вносили з розрахунку 5 тис. черв'яків на 1 м<sup>2</sup>. Вологість підтримували на рівні 70-80% шляхом поверхневого поливу. Кожного тижня після заселення проводився відбір проб субстрату за допомогою спеціально виготовленого пробовідбірника (металевий циліндр діаметром 10 см і висотою 30 см). У трьох місцях в шаховому порядку відбирали пробу субстрату з черв'яками на всю глибину розміром 10x10 см у кожному ящику. Підраховувалася загальна кількість статевозрілих черв'яків **П** (з паском), ювенільних **Ю** (без паска) і коконів **К** у кожній пробі субстрату.

Загальна кількість черв'яків на стелажі визначалася за формулою:

$$O = [П + Ю + (K \times 5)] \times S,$$

де 5 - середня кількість черв'яків у коконі

S - площа полиці стелажа.

При вивченні складу та властивостей вихідної сировини (гречане та соняшникове лушпиння) використовували комплекс біохімічних, фізико-хімічних методів досліджень, представлених у таблиці 2.1.

Комп'ютерні розрахунки і створення графічного матеріалу здійснювалися за стандартними методиками за допомогою табличного процесору Microsoft Excel 2021.

Таблиця 2.1 – Методи досліджень, які використовувалися при виконанні експериментів

| № з/п | Показник                              | Принцип методу, специфіка визначення                                                                                                                                                     | Джерело, ГОСТ       |
|-------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1     | 2                                     | 3                                                                                                                                                                                        | 4                   |
| 1     | Вологість, суха речовина              | Гравіметричний метод                                                                                                                                                                     | ДСТУ ISO 16586:2005 |
| 2     | Зола                                  | Сухе озолення                                                                                                                                                                            | ДСТУ 7942:2015      |
| 3     | Полісахариди, що легко гідролізуються | Методом визначення речовин, що редукують, у гідролізатах, які утворюються шляхом гідролізу сировини 2% -ї $HCl$ при $t = 100\text{ }^{\circ}C$                                           | [49]                |
| 4     | Пентозани                             | За методом Толенса (гідроліз водяним розчином з масовою часткою $HCl$ 12 %)                                                                                                              | [49]                |
| 5     | Полісахариди, що важко гідролізуються | Методом визначення речовин, що редукують, у гідролізатах, які утворюються шляхом гідролізу залишку сировини (після гідролізу ЛГП і промивання) 78%-ї $H_2SO_4$ при кімнатній температурі | [49]                |
| 6     | Целюлоза                              | За методом К'юршнера (азотно-спиртовий метод)                                                                                                                                            | [49]                |
| 7     | Лігнін                                | За методом Класона (гідроліз з використанням концентрованої $H_2SO_4$ )                                                                                                                  | [49]                |
| 8     | Загальний азот                        | За методом К'ельдаля                                                                                                                                                                     | ДСТУ 4726:2007      |
| 9     | Органічна речовина                    | За методом І.В. Тюріна (окислювання органічної речовини розчином біхромату калію у сірчаній кислоті)                                                                                     | [50]                |
| 10    | Активна кислотність, рН               | Потенціометричний метод з використанням рНметра, рН-121                                                                                                                                  | ДСТУ 7862:2015      |

| Продовження табл. 2.1 |                    |                                                                                                      |               |
|-----------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1                     | 2                  | 3                                                                                                    | 4             |
| 11                    | Фосфор загальний   | Фотометричним методом                                                                                | ГОСТ 26717-85 |
| 12                    | Калій загальний    | Полум'яно-фотометричним методом                                                                      | ГОСТ 26718-85 |
| 12                    | Гумус              | За методом І.В. Тюріна в модифікації Симакова і Ципльонкова                                          | [50]          |
| 13                    | Органічна речовина | За методом І.В. Тюріна (окислювання органічної речовини розчином біхромату калію у сірчаній кислоті) | [50]          |

### РОЗДІЛ 3

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ ГРЕЧАНОГО ТА СОНЯШНИКОВОГО ЛУШПИННЯ

### 3.1. Вплив подрібнення лушпиння на розвиток вермикультури *E.foetida*

Лушпиння є пористим, волокнистим матеріалом, з дуже розвитою внутрішньою поверхнею (питома поверхня досягає  $150 \text{ м}^2/\text{г}$ ) [51].

Вермикультура адаптована до проживання та пересування в пухкому середовищі. У цьому відношенні подрібнене соняшникове лушпиння є ідеальним середовищем. Пухкість субстрату на основі соняшnikового лушпиння забезпечує аерацію, створює оптимальні умови для дихання черв'яків. Черв'яки поглинають їжу шляхом усмоктування, тому субстрат повинний бути досить вологим і подрібненим.

Олійчук С. та ін. [52] встановлено, що необхідним етапом у здійсненні ферментативного перетворення целюлози є адсорбція целюлолітичних ферментів на поверхні субстрату і в ряді випадків визначена кореляція між кількістю адсорбованого ферменту та швидкістю ферментативної реакції. Показаний взаємозв'язок між індексом кристалічності целюлози та її питомою поверхні. Зразки висококристалічної целюлози характеризуються досить малою питомою поверхнею, у той час як більшість зразків аморфизованої подрібненої целюлози мають розвинуту загальну поверхню. Більш висока реакційна здатність целюлози спостерігається при більшій загальній поверхні.

Визначення загальної поверхні подрібненого соняшnikового та гречаного лушпиння (титриметричним і хроматографічним методами). Питома поверхня часток діаметром  $0,1\text{-}0,2 \text{ мм}$  складає  $110 \pm 10 \text{ м}^2/\text{г}$ , часток з  $d=0,2\text{-}0,4 \text{ мм}$  –  $145 \pm 10 \text{ м}^2/\text{г}$  (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Питома поверхня подрібненого лушпиння (соняшникового/гречаного)

| Розмір фракції,<br>мкм | Питома поверхня, м <sup>2</sup> /г |                        |
|------------------------|------------------------------------|------------------------|
|                        | титриметричний метод               | хроматографічний метод |
| 100-200                | 110±10                             | 110±6                  |
| 200-315                | 145±10                             | 145±10                 |
| 315-400                | 145±10                             | 150±10                 |

Існуючі способи передобробки (фізичні, механічні, хімічні, біологічні) мають переваги та недоліки. Перевагою цих методів є збільшення реакційної здатності целюлозовмісткої сировини, недоліком - досить висока вартість внаслідок їх матеріало- та енергоємності, необхідність використовувати спеціальні конструкційні матеріали, нейтралізувати та регенерувати розчинники, що може обумовити забруднення навколишнього середовища.

Подрібнення соняшникової та гречаної лузги здійснювали механічним способом, оскільки передобробка проходить в одну стадію і не вимагає додаткового відмивання сировини, що застосовується у випадку хімічної обробки.

Для одержання продукту високої якості підібрали подрібнювач, що дозволяє досягти ступеню подрібнювання сировини не більше 1 мм, що може забезпечити практично повну біопереробку лушпиння (діаметр ротового отвору черв'яка не перевищує 1 мм).

Таке тонке подрібнювання дозволяє одержати однорідний помол без сепарації, у якому вміст фракції 100-10000 мкм складає 87%. За міжнародними стандартами у біогумусі допускається вміст не більш 15% непереробленої вермикультурою сировини. У наших зразках вміст фракції лушпиння діаметром більше 1 мм складає 14,5 %.

У процесі досліджень і на підставі літературних даних нами обраний подрібнювач роторного типу, подрібнююча дія якого забезпечується поєднанням стирання й удару (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Вплив різних видів здрібнювання лушпиння на показники розмелювання

| Вид подрібнювання                    | Розмір фракції, мкм | Форма фракції | Вміст фракції, % |
|--------------------------------------|---------------------|---------------|------------------|
| Механічне подрібнювання              | 300-500             | голчаста      | 90-95            |
| Механічне перетирання з ударною дією | 110-300             | сферична      | 80-87            |

За допомогою мікроскопа була вивчена мікроструктура різних фракцій подрібненого лушпиння. Виявилось, що вони відрізняються за формою: характеризуються голчастою та сферичною формою.

Дослідження Кулик О. П. та ін. [7] показали, що целюлоза в клітинній стінці лушпиння декристалізується при вібраційному розмелюванні, відбувається практично аморфізація матеріалу. Показник декристалізації свідчить про зміну і руйнування надмолекулярної будови.

Одержані дані дослідження свідчать про те, що структура кристалічності лушпиння впливає на ступінь подрібнення цього матеріалу, а також на показники аморфізації зразків.

Ступінь впливу деструкції лушпиння на полісахаридний склад оцінювали за вмістом в ньому полісахаридів, що легко гідролізуються. Подрібнене лушпиння із вмістом полісахаридів 22,5% піддали фракціонуванню. Проведені дослідження показали, що домінантними є 80, 100 і 200 мкм, які склали 86 % (табл. 3.4) .

Таблиця 3.4 - Фракційний склад подрібненого соняшникового лушпиння

| Розміри частинок фракції, мкм | Вміст фракції, % | Маса 1 дм <sup>3</sup> подрібненого лушпиння, г |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------------------------|
| < 500                         | 0,71             | 314,4±0,01                                      |
| <350                          | 4,4              | 311,2±0,03                                      |
| <200                          | 49,7             | 265,0±0,01                                      |
| <100                          | 25,72            | 213,0±0,02                                      |
| <80                           | 11,07            | 223,0±0,02                                      |
| <60                           | 8,4              | 235,7±0,04                                      |

Вміст полісахаридів, що легко гідролізуються, при подрібненні лушпиння у фракціях 80 і 200 мкм знаходився на рівні контролю (початкова суміш). Він складає в межах 19,26-22,6%. Виявилося, що механічна деструкція соняшникового лушпиння не сприяла руйнуванню хімічної структури целюлози.

Для її руйнування і більш повного поїдання вермикультурою необхідно проводити мікробіологічну ферментацію.

На наступному етапі були проведені дослідження з вермикультивування на субстраті із гречаного лушпиння з різним ступенем подрібнювання: d<100 мкм, d=100-300 мкм, d=300-500 мкм, d=500-1000 мкм, d=500-3000 мкм (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Вплив ступеню здрібнювання гречаного лушпиння на ріст *E.foetida*

| Ступінь подрібнювання лушпиння мкм | Біомаса вермикультури, г |               |               |                |                | Збільшення біомаси, % |
|------------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------|
|                                    | початок дослід           | через 2 тижні | через 4 тижні | через 6 тижнів | через 8 тижнів |                       |
| <100                               | 5,8                      | 5,9           | 5,95          | 5,91           | 5,8            | -                     |
| 100-300                            | 6,1                      | 8,3           | 10,2          | 11,1           | 12,0           | 96                    |
| 300-500                            | 5,9                      | 6,8           | 7,6           | 9,8            | 11,7           | 98                    |
| 500-1000                           | 6,2                      | 7,0           | 8,3           | 8,9            | 9,6            | 55                    |
| 500-3000                           | 5,9                      | 6,8           | 7,2           | 8,7            | 9,2            | 61                    |

На субстраті  $d < 100$  мкм із перших днів вермикультивування спостерігалася низька активність черв'яків, углиб вони не заривалися, знаходилися на поверхні в клубку. Збільшення біомаси не відбувалося, частина популяції черв'яка загинула. Це явище можна пояснити, по-перше, тим, що гречане лушпиння дрібної фракції злежується, не забезпечує аерацію для дихання черв'яків, стає твердим і нездоланим для пересування. По-друге, дрібні частки лушпиння (практично „борошно”) забивають травний тракт. Відомо, що для кращого здрібнювання і перетирання проковтнутих рослинних залишків у субстрат часто додають пісок. Отже, для забезпечення життєдіяльності черв'яків необхідна присутність більш великих часток.

Біомаса черв'яків на субстраті зі ступенем здрібнювання 100-300 мкм за 8 тижнів зросла на 96%, 300- 500 мкм – на 98%, 500-1000 мкм - на 61%, 500 – 3000 мкм - на 55%.

Таким чином встановлено, що подрібнене до 300 – 500 мкм соняшникове лушпиння є середовищем придатним для розведення черв'яків.

За літературними даними [25] найбільш сприятливим для росту черв'яків виявився вміст у субстраті 76% целюлози.

Мінеральних речовин (золи) у рисовому лушпинні міститься в 4,5 рази більш, ніж у соняшковому, і в 1,7 рази більш, ніж у гречаному. Целюлози в гречаному лушпинні (до 50%) значно більше, ніж у соняшковому і рисовому (табл.3.3).

Завдяки достатньому вмісту в лушпинні целюлози і мінеральних речовин, необхідних для нормального травлення вермикультури, для приготування харчового субстрату не потрібно додаткових добавок. Целюлоза забезпечує велику кількість енергії черв'якам для швидкого росту. Її кількість не є лімітуючим чинником, але забезпечує швидкий ріст мікроорганізмів, яких заковтує вермикультура *E.foetida*.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад лушпиння соняшнику, рису та гречки, %

| Лушпиння    | Волога    | Зола      | ЛГП <sup>x</sup> | ВГП <sup>xx</sup> | Смоли   | Лігнін    | Целюлоза  | Пентозани |
|-------------|-----------|-----------|------------------|-------------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Соняшникове | 7,7-9,3   | 3,7-4,5   | 18,0-19,43       | 28,7-29,9         | 5,9-6,3 | 28,5-29,5 | 22,5-23,1 | 19,5-21,0 |
| Рисове      | 8,5-10,8  | 17,0-19,5 | 27,5-29,18       | 24,7-26,5         | 1,1-1,3 | 21,1-23,2 | 32,6-33,4 | 25,5-26,3 |
| Гречане     | 11,2-13,2 | 10,1-12,3 | 22,5-23,4        | 21,7-22,9         | 1,4-1,6 | 19,5-20,2 | 48,5-50,0 | 22,8-23,2 |

Примітка: <sup>x</sup> – полісахариди, що легко гідролізуються

<sup>xx</sup> – полісахариди, що важко гідролізуються

Найбільший приріст біомаси вермикультури спостерігався в субстраті на основі соняшникового лушпиння, а найкращий показник за репродукцією - в суміші з соняшникового та гречаного лушпиння (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 - Вплив різних видів поживних раціонів на репродуктивні показники вермикультури

| Вид субстрату             | Початок дослідів |      | Через 2 тижні |      | Через 4 тижні |       | Через 6 тижнів |       | Через 2 місяці |       |
|---------------------------|------------------|------|---------------|------|---------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|                           | 1                | 2    | 1             | 2    | 1             | 2     | 1              | 2     | 1              | 2     |
| Соняшникове лушпиння (СЛ) | 36               | 3,52 | 38            | 5,67 | 43            | 11,71 | 48             | 11,93 | 52             | 12,51 |
| Гречане лушпиння (ГЛ)     | 36               | 2,88 | 39            | 5,01 | 45            | 5,63  | 49             | 7,54  | 55             | 9,64  |
| Рисове лушпиння (РЛ)      | 36               | 2,47 | -             | -    | -             | -     | -              | -     | -              | -     |
| СЛ+ГЛ                     | 36               | 2,96 | 36            | 5,24 | 46            | 6,21  | 52             | 8,35  | 64             | 10,52 |
| СЛ+РЛ                     | 36               | 2,93 | 35            | 5,25 | -             | -     | -              | -     | -              | -     |
| ГЛ+РЛ                     | 36               | 2,88 | 38            | 6,35 | 40            | 6,82  | 44             | 7,72  | 48             | 9,93  |
| СЛ+ГЛ+РЛ                  | 36               | 2,94 | 38            | 6,47 | 44            | 7,12  | 48             | 9,52  | 52             | 10,21 |

Примітка: 1 – кількість черв'яків, штук, 2 – біомаса черв'яків, г

Гречане лушпиння містить вітамін Е. Тому субстрати на основі гречаного лушпиння є більш поживними, ніж на основі соняшникового, завдяки вмісту в них цього вітаміну та біостимуляторів. Таким чином, підбираючи склад поживного субстрату, можна цілеспрямовано регулювати ріст біомаси вермикультури *E.foetida*.

Проте для збільшення поживності субстрату, було вирішено додати до нього побічний продукт консервного виробництва – яблучні вичавки (ЯВ). Хімічний склад сирих яблучних вичавок багатий клітковиною, безазотними екстрактивними речовинами, пектиновими речовинами, цукрами, в тому числі фруктозою і глюкозою, дубильними речовинами [53] (Єгоров Б.В. та ін.) (табл. 3.4).

Табл. 3.4 – Хімічний склад яблучних вичавок, %

| Показник                        | ЯВ            |
|---------------------------------|---------------|
| Вологість                       | 73,2          |
| Сухі речовини                   | 26,8          |
| Сирий протеїн                   | 1,45          |
| Сирі жири                       | 1,25          |
| Сира клітковина                 | 7,1           |
| Безазотні екстрактивні речовини | 11,2          |
| Зола                            | 0,7           |
| Титрована кислотність           | 1,08          |
| Сахара                          | 7,2           |
| в т.ч. фруктоза                 | 12            |
| глюкоза                         | 10            |
| Дубильні речовини               | 0,033...0,054 |
| в т.ч. катехіни                 | 73,6          |
| таніни                          | 26,4          |
| Розчинні речовини               | 10            |
| Нерозчинні речовини             | 5,40          |
| Пектинові речовини              | 2,42          |

### 3.2. Визначення терміну ферментації рослинних субстратів

Мікробіологічна підготовка субстратів для використання вермикультури є однією з ключових ланок у технологічному циклі вермикомпостування. Основна мета цієї ферментації полягає в стабілізації схильних до гниття органічних речовин, збереженні великої кількості поживних і органічних речовин і одержанні однорідного, придатного для культивування цих черв'яків субстрату.

На розвиток процесу самозігрівання лушпиння найбільше впливає фізіологічна активність його мікрофлори. Вміст целюлози в соняшниковому лушпинні складає 22-24 %. З групи аеробних целюлозорозкладаючих мікроорганізмів в ньому слід виділити рід *Cytophaga*, *Jorangium*, *Archangium* і *Celvibrio*. З актиноміцетів виділяються рід *Streptomyces*, *Streptosporangium*, а з грибів представники родини *Fusarium*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Verticillus*, *Botrytis* і *Rhisoctonia*.

Серед анаеробних целюлозних бактерій виділяється мезофільна група з представниками *Clostridium omeliansfci*, *Clostridium dissolvens* і *Clostridium cellobioparum*. З термофільних анаеробних бактерій домінує *Clostridium thermocellum* з оптимальною температурою розвитку 58-60 ° C.

Лушпиння містить до 30% лігніну, який є полімером з декількома ароматичними групами з молекулярною масою від 1000 до 10000. При розкладанні лігніну в анаеробних умовах беруть участь гриби родини: *Clavaria*, *Armillaria*, *Fomes*, *Polystichus*, *Polyporus* і *Ustilina* [54]. Активними у відношенні до лігніну є наступні види: *Fusarium nivala*, *Trichoderma lignorum*, *Altornaria temus*, *Stremphylium botryosum*. Під впливом цих мікроорганізмів лігнін деполімерізується на прості ароматичні речовини .

Найбільше мікроорганізмів міститься у гречаному лушпинні порівняно з соняшниковим і рисовим (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Чисельність і співвідношення мікроорганізмів у лушпинні при його ферментації, [54]

| Вид лушпиння | Загальна кількість мікроорганізмів (тисяч на 1 г лушпиння) | Бактерії, % | Актиноміцети, % | Гриби, % |
|--------------|------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|----------|
| Соняшникове  | 1835                                                       | 78,1        | 21,2            | 0,7      |
| Гречане      | 2169                                                       | 69,8        | 29,6            | 1,6      |
| Рисове       | 1692                                                       | 80,4        | 18,7            | 0,9      |

Ферментація є мікробіологічним процесом, у якому важливу роль грають такі фактори: розмір часток, наявність кисню для мікробного розкладання відходів, час для здійснення компостування, волога, ретельне перемішування відходів. Процес аеробного „компостування” можна розбити на етапи стабілізації та дозрівання. На етапі стабілізації температура підвищується до термофільного рівня (55°C) і з наступним поступовим зниженням її до рівня навколишнього середовища. З підвищенням температури відбувається розмноження бактерій і органічні сполуки лушпиння легко окисляються, метаболізуються. Надлишкова енергія, що виділяється, обумовлює швидке підвищення температури (до 55 °C), при якій патогенні мікроорганізми гинуть. На кінцеве підвищення температури впливає наявність кисню.

Коли джерело енергії виснажиться, температура знижується поступово і в цей час починають активно розвиватися актиноміцети.

За умови доступу води та кисню під впливом мікроорганізмів, що живуть в лушпинні, розкладаються і гуміфікуються органічні залишки. Черв'яки споживають будь-які органічні речовини, що пройшли стадію розігріву в результаті ферментації. Активно споживаючи органічні речовини, вони утилізують увесь азот, що міститься в них, і повертають його в навколишнє середовище у вигляді аміаку, сечовини. Велика частина азоту перетворюється в амоній і нітрати. Збільшується кількість рухливих форм фосфору, калію, магнію. У процесі переробки субстрату зростає його вологоємність, досягаючи

такого ж рівня як у торфі. Усі ці властивості підвищують цінність відходів соняшникового, гречаного та рисового лушпиння як добрив після відповідної переробки.

Невеликі розміри часток необхідні для збільшення швидкості мікробного розкладання. Подрібнення відходів сприяє зменшенню розмірів часток. Пухкість сумішей субстратів забезпечує аерацію. Належна аерація обумовлює надходження повітря в кількості, достатній для підтримки аеробних умов у всьому компості.

Зволожений субстрат з соняшникового, гречаного лушпиння та їх сумішей закладали в спеціальну ємкість для ферментації висотою 70 см. З метою поліпшення аерації маси, що компостується, активації мікробіологічної діяльності, вирівнювання вологи по всьому обсягу, усунення анаеробних гнильних зон у глибині бурту, проводили розпушення субстрату.

На початку ферментації протягом п'яти днів при окислюванні мікроорганізмами легкодоступного вуглецю лушпиння у середині бурту температура зростає до 50 °С. Так, на другу добу вона склала 35 °С, на третю – 40 °С, на четверту – 45 °С на п'яту добу досягла 50 °С. Через тиждень температура субстрату зрівнялася з температурою навколишнього середовища. Черв'яки, адаптовані до життєдіяльності на лушпинні, були пересаджені на ферментований субстрат. Вони почали зариватися всередину, адаптуватися до субстрату і переробляти його.

У результаті проведених досліджень з підготовки компостів для вермикультивування встановлено, що експозиція ферментації субстратів з гречаного та соняшникового лушпиння склала 10-14 днів.

### **3.3. Вплив температури та вологості на розвиток *E.foetida***

Черв'яки відносяться до пойкилотермних організмів (температура тіла залежить від температури середовища). Оскільки динаміка температури тіла пойкилотермних організмів визначається змінами температури середовища,

інтенсивність метаболізму також знаходиться в прямій залежності від зовнішньої температури. Швидкість ферментативних реакцій не є лінійною функцією температур. Теоретично верхній температурний поріг життя визначається температурою денатурації білків. Необоротні порушення структури білків звичайно виникають за температури 50°C. У черв'яків теплова загибель настає при більш низьких температурах, раніш, чим починають коагулювати білки. Порушення метаболічних і регуляторних процесів настає і за дуже низьких температур. У черв'яків охолодження гальмує механізми, що забезпечують приплив кисню до кліток сильніше, ніж інтенсивність клітинного подиху. Гальмується переварювання їжі в кишечнику черв'яків.

Дослідження з впливу температурного режиму на збільшення біомаси вермикультури *E. foetida* на ферментованих субстратах на основі гречаного лушпиння проводилися при температурі 15°C, 20°C, 25°C, 30°C. Проведено досліди і з впливу на життєдіяльність черв'яків знижених температур, а також температур вище 30°C.

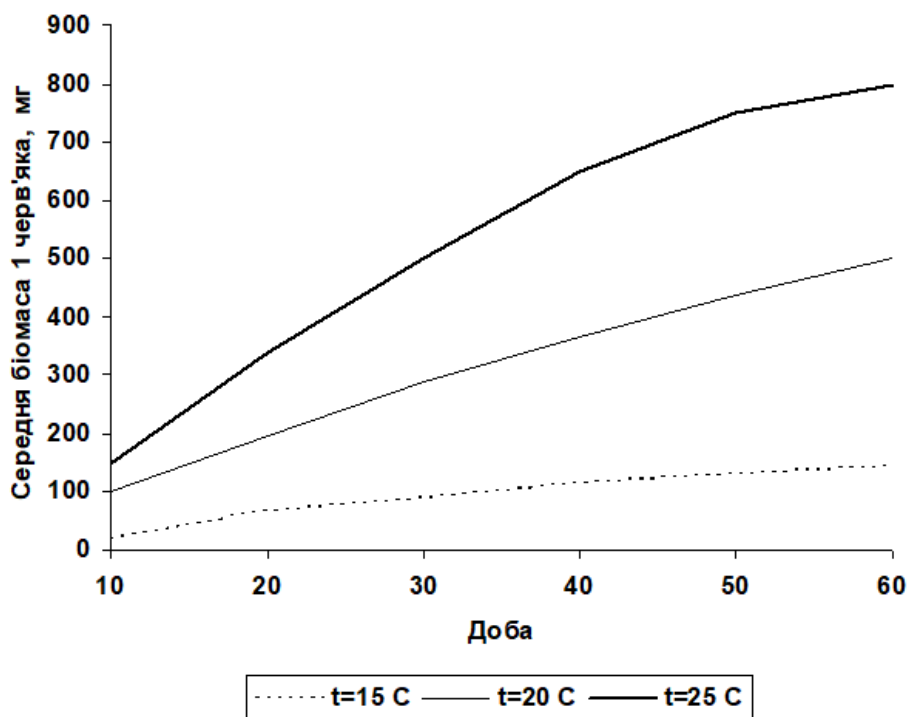


Рис. 3.1 Вплив температури на біомасу вермикультури *E. foetida*

Установлено, що при температурі нижче 3°C червяки не виживають. Навколишня температура значно впливає на ріст біомаси вермикультури. Найбільший ріст спостерігався при температурах 20-25°C (рис. 3.1).

За  $t=30^{\circ}\text{C}$  спостерігався захисний рефлекс черв'яків, що супроводжується підвищенням екскреції слизу. При температурі  $35^{\circ}\text{C}$  і вище черв'яки гинуть.

Імовірно, зменшення біомаси вермикультури пов'язано з порушеннями в енергетичному обміні, що приводить до витрат органічної речовини. Зміна температурних умов впливає і на різні фізіологічні процеси, безпосередньо пов'язані з водною регуляцією. Змінюється діяльність видільної системи. За високої температури зневоднювання відбувається швидше, тому що вода витрачається для боротьби з перегрівом.

На рис. 3.2 представлені зони оптимальної життєдіяльності і зони песимума для черв'яків *E. foetida* залежно від температури.

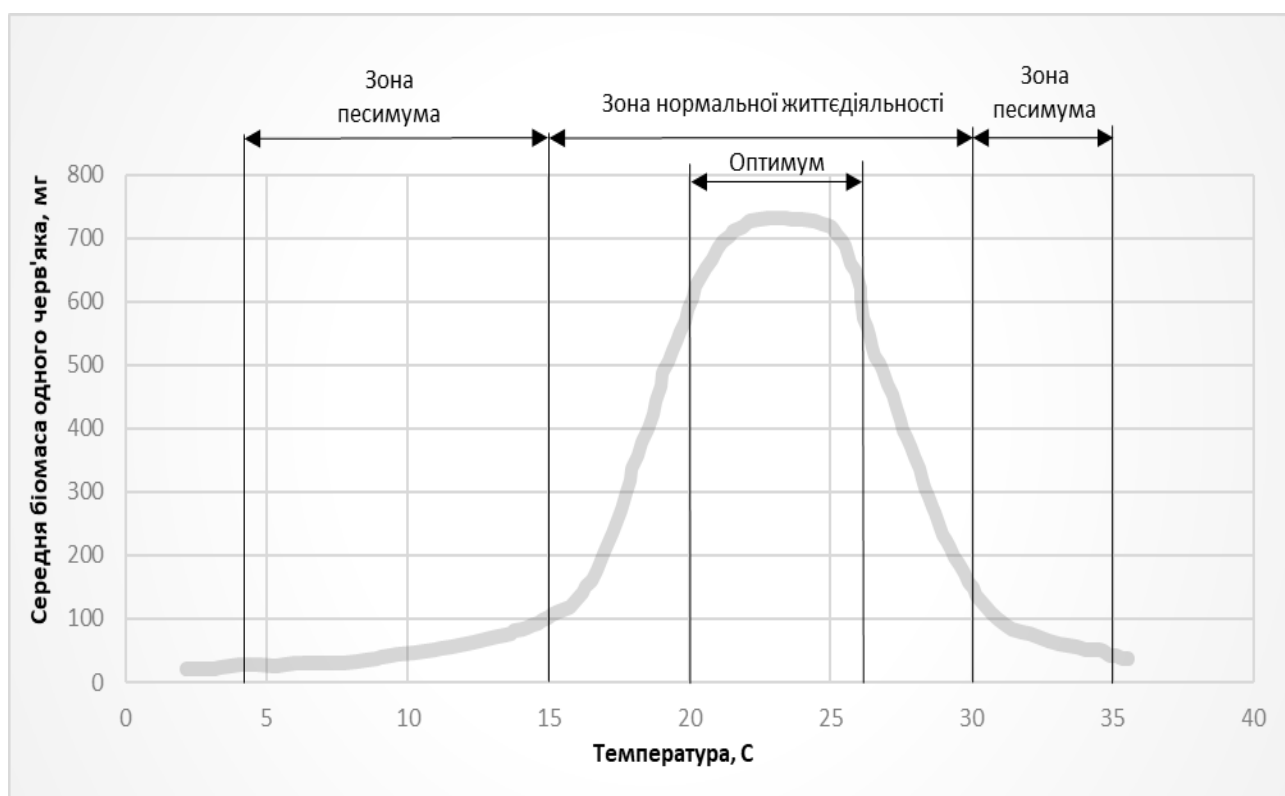


Рис. 3.2. Температурні умови для зростання біомаси вермикультури

Зона оптимальної температури для вермикультури *E.foetida* – 23-26°C. Зонами песимума є межі 3-15°C й 30-35°C. Зона нормальної життєдіяльності – 15-30°C. Верхня межа витривалості (критична максимальна температура) + 35°C, нижня межа (критична мінімальна температура) – 3°C. Екологічна валентність *E.foetida* щодо температури – 3-35 °C.

Отже, для підтримки оптимальних температур взимку варто захищати черв'яків від промерзання, а влітку – від попадання прямих сонячних променів.

Вологість особливо важлива для життєдіяльності вермикультури *E.foetida*. Ці черв'яки дуже чуттєві до втрат вологи, тому що їх покриви не забезпечують захист від висихання, і водний запас легко міняється під впливом умов зовнішнього середовища. Черв'яки здатні втрачати воду інтенсивніше, ніж інші ґрунтово-підстилкові безхребетні, і зміна вмісту рідини в організмі приводить у них до значних коливань маси тіла. При спостереженнях в природних умовах і на підставі лабораторних експериментів було встановлено, що маса тіла черв'яків *Eisenia nordenskioldi* може мінятися в 2-3 рази, і зміни цієї величини корелюють із вологістю ґрунту.

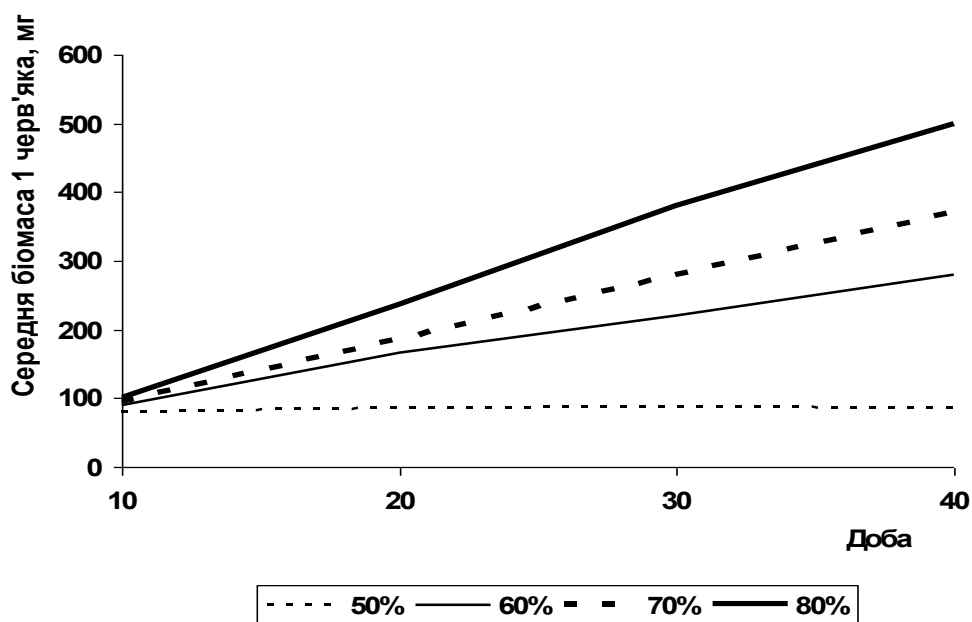


Рис. 3.3. Динаміка росту біомаси вермикультури *E.foetida* залежно від вологості субстрату

Черв'яки мають здатність переносити високий відсоток втрати води, що входить до складу їхнього тіла, але при втраті понад 70 % вологості від маси тіла черв'яки гинуть.

Нами були знайдені оптимальні умови вологості для субстрату на основі подрібненого соняшникового лушпиння (рис. 3.3).

Результати досліджень виявили пряму залежність швидкості росту *E.foedita* від вологості середовища (при оптимальній для розвитку температурі 25 °C). Черв'яки здатні давати приріст біомаси при вологості вище 50%. Нижче цієї позначки ріст припиняється, хоча черв'яки залишаються живими до 30 днів. При вологості нижче 40 % черв'яки не здатні жити довго. Оптимальною можна вважати вологість від 65 % до 80 %.

Нами установлені зони оптимальної життєдіяльності і зони песимума для черв'яків *E.foetida* залежно від вологості (рис. 3.4).

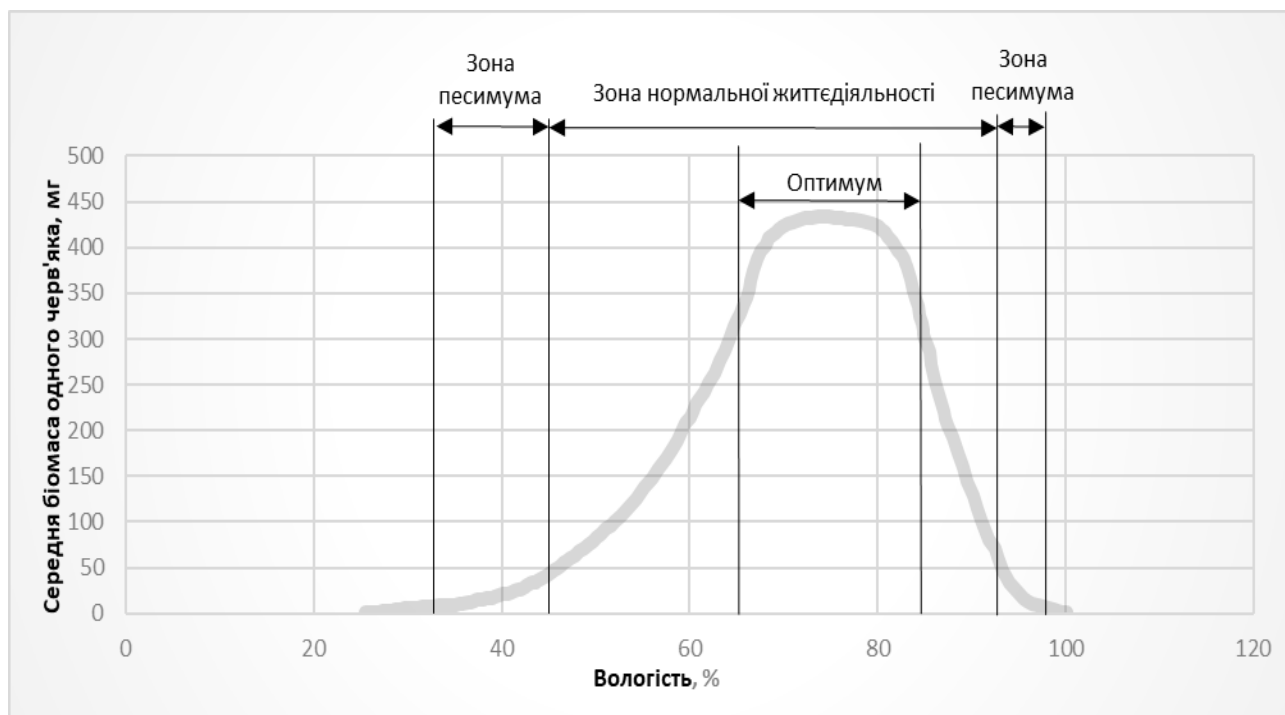


Рис. 3.4. Оптимальні умови вологості субстрату для росту біомаси вермикультури *E.foetida*

Зона оптимальної вологості для вермикультури *E.foetida* – 65-80%. Зонами песимума є межі 30-40 % й 95-98 %. Зона нормальної життєдіяльності – 60-90 %. Верхня межа витривалості (критична максимальна вологість) – 98 %, нижня межа (критична мінімальна вологість) – 40 %. Екологічна валентність *E.foetida* щодо вологості – 40-98 %.

#### 3.4. Визначення оптимальної щільності заселення субстрату вермикультурою *E.foetida*

Для визначення оптимального співвідношення біомаси вермикультури до маси відходів нами проведені дослідження з вермикультивування при різних щільностях заселення *E.foetida*. Англійськими дослідниками С. Edwards та ін. [18] встановлено, що якщо необхідно одержати біогумус у найкоротший термін, важливе значення має загальна біомаса черв'яків. Кількість черв'яків великого значення не має. Черв'як поїдає їжу в кількості, рівній масі його тіла. Якщо необхідно одержати біомасу черв'яків в якості корму, то органічні відходи заселяються ювенільними черв'яками у віці 1-1,5 місяця, тому що вони подвоюють свою вагу швидше, ніж статевозрілі.

Щільність заселення вермикультурою 50 шт. на 10 см<sup>2</sup> відповідає щільності 5 тис./м<sup>2</sup>, 100 шт. на 10 см<sup>2</sup> - 10 тис. /м<sup>2</sup>. За іншими варіантами щільність заселення склала 15 тис./м<sup>2</sup>, 20 тис./м<sup>2</sup> та 30 тис./м<sup>2</sup> (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Оптимальна щільність заселення субстрату вермикультурою *E.foetida*

| Варіант досліджу | Щільність заселення вермикуль-<br>-турою,<br>шт./1 м <sup>2</sup> | Середня вага 1 черв'яка,<br>мг | Загальна біомаса верми-<br>культури,<br>г | Біомаса субстрату,<br>г | Співвідношення біомаси вермикультури до субстрату |
|------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|
| 1                | 2                                                                 | 3                              | 4                                         | 5                       | 6                                                 |
| 1                | 5000                                                              | 210                            | 10,5                                      | 525                     | 1:50                                              |
| 2                | 10000                                                             | 190                            | 190                                       | 760                     | 1:40                                              |

| Продовження табл. 3.6 |       |     |       |     |      |
|-----------------------|-------|-----|-------|-----|------|
| 1                     | 2     | 3   | 4     | 5   | 6    |
| 3                     | 15000 | 175 | 25,5  | 765 | 1:30 |
| 4                     | 20000 | 185 | 38,02 | 760 | 1:20 |
| 5                     | 30000 | 170 | 51,1  | 765 | 1:15 |

При більшій щільності заселення зростає швидкість переробки відходу. Отже, для інтенсифікації виходу біогумусу потрібна максимально можлива щільність заселення вермикультурою *E.foetida*.

Загальна біомаса черв'яків зростає при більш високих щільностях заселення (15-30 тис./м<sup>2</sup>), але біомаса одного черв'яка менша, ніж при щільності заселення 5-10 тис./м<sup>2</sup> (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Вплив щільності заселення вермикультури на ріст її біомаси

| Показник                  | Період досліджень | Щільність заселення вермикультурою, шт./1 м <sup>2</sup><br>Співвідношення біомаси черв'яків і субстрату |               |               |               |               |
|---------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                           |                   | 5000<br>1:50                                                                                             | 10000<br>1:40 | 15000<br>1:30 | 20000<br>1:20 | 30000<br>1:15 |
| 1                         | 2                 | 3                                                                                                        | 4             | 5             | 6             | 7             |
| Середня вага черв'яка, мг | Початок досліду   | 210                                                                                                      | 190           | 170           | 185           | 170           |
|                           | Через місяць      | 474                                                                                                      | 416           | 383           | 345           | 294           |
| Приріст, %                |                   | 226                                                                                                      | 219           | 219           | 186           | 173           |

Таким чином, можна зробити висновок, що для інтенсифікації процесу отримання біомаси вермикультури щільність заселення повинна бути в межах 5-10 тис./м<sup>2</sup>, а для інтенсифікації процесу одержання біогумусу - 15-30 тис./м<sup>2</sup>.

У варіанті зі щільністю заселення вермикультурою 15 тис./м<sup>2</sup> (1:30) спостерігається і високий приріст біомаси вермикультури, і досягається максимальна ступінь переробки субстрату. За 30 днів можна одержати практично цілком перероблений вермикультурою субстрат, тому що 1 черв'як

переробляє за добу кількість субстрату, котра дорівнює вазі черв'яка. З огляду на те, що вологість субстрату дорівнює 80% і черв'яка також - 80%, перерахунок на суху речовину дорівнює співвідношенню 1:30.

### **3.5. Відділення вермикультури від субстрату**

Одна з головних проблем у вермитехнології – відділення черв'яків від біогумусу. Існуючі методи відрізняються енергоємністю і не забезпечують високий ступінь відділення вермикультури від субстрату.

Установка відділення черв'яків від субстрату М.М. Сенчук та ін. [55], що складається з конвеєра, виконаного з окремих пакетів, що утворюють замкнутий контур, джерела освітлення і тепла, установлених над конвеєром; утримуючий додатковий поперечний конвеєр з імітатором субстрату під верхньою стрічкою з пакетами і вібратор для відділення черв'яків, розміщених із внутрішньої сторони стрічки. Використання додаткових пристроїв (світловий вплив і вібрація) обумовлюють трудомісткість та енергоємність процесу, а вермикультура піддається стресу.

Спосіб відділення вермикультури від біогумусу А.А. Дудукіна та ін. [56], відповідно до якого після його дозрівання черв'якам протягом 2-х тижнів не підсипають свіжий субстрат, потім засипають шар відходів, куди переповзають черв'яки, закріплюють приставну полицю, через яку верхній шар із черв'яками надходить на транспортер, а біогумус падає вниз у бункер. Недоліком цього способу є низька ефективність відділення черв'яків від біогумусу. Дрібні черв'яки залишаються у біогумусі. Для повного вилучення вермикультури цю операцію потрібно повторити кілька разів.

Відомо, що черв'яки дихають через шкіру. Тому вони зариваються на глибину не більш 40 см. У черв'яків у транспорті кисню беруть участь дихальні пігменти крові, що активно зв'язують кисень неміцними зв'язками при зовнішньому газообміні і віддають його в тканинах, де тиск цього газу

невеликий. Участь дихальних пігментів різко підвищує загальну кисневу ємність крові.

У кільчастих черв'яків *E.foetida* гемоглобін є дихальним пігментом (залізовмісний білок, що знаходиться в розчині). При нестачі або недостатній кількості кисню вони виповзають у верхні шари субстрату. Ця особливість поведінки черв'яків була покладена в основу обраного способу відділення вермикультури від переробленого субстрату [42].

Перед закладкою ферментованого субстрату у ящики розміром 0,5 x 0,5 м та висотою 30 см їх внутрішні поверхні викладаються поліетиленом, кінці якого виступають над поверхнею ящика на відстані 15 см. В кожен ящик заселяються 250, 500, 750 екземплярів *E.foetida*. Температура навколишнього середовища – 20-25° С.

По закінченні процесу переробки (3 місяці) на готовий продукт накладається поліетиленова плівка, розмір якої підібрано таким чином, щоб з усіх боків від краю ящика до краю плівки залишався вільний простір 2-3 см для виповзання черв'яків на поверхню плівки. Протягом доби черв'яки виповзають через залишений зазор на плівку. Кінці бічних поліетиленових плівок відгинаються і черв'яки знімаються у спеціальну ємність. З поверхні біогумусу знімається плівка з черв'яками, що переповзли на неї.

Результати експерименту показали, що створивши дискомфортні умови (відсутність повітря), можна за добу вилучити до 87 % черв'яків при температурі навколишнього середовища 20-25°С.

По закінченні процесу переробки (3 місяці) на готовий продукт накладається поліетиленова плівка, розмір якої підібрано таким чином, щоб з усіх боків від краю ящика до краю плівки залишався вільний простір 2-3 см для виповзання черв'яків на поверхню плівки. Протягом доби черв'яки виповзають через залишений зазор на плівку. Кінці бічних поліетиленових плівок відгинаються і черв'яки знімаються у спеціальну ємність. З поверхні біогумусу знімається плівка з черв'яками, що переповзли на неї.

Результати експерименту показали, що створивши дискомфортні умови (відсутність повітря), можна за добу вилучити до 87 % черв'яків при температурі навколишнього середовища 20-25°C (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Кількісна оцінка відділення черв'яків від біогумусу

| Кількість черв'яків, екз. |                   | Кількість черв'яків, що виповзли з субстрату |      |
|---------------------------|-------------------|----------------------------------------------|------|
| на початку досліду        | на кінець досліду | екз.                                         | %    |
| 250                       | 680               | 592                                          | 87,1 |
| 500                       | 1563              | 1188                                         | 76,0 |
| 750                       | 2286              | 1949                                         | 85,3 |

Таким чином, в процесі досліджень нами встановлені значення основних параметрів, необхідних для нормального функціонування вермикультури при біоконверсії соняшникового лушпиння: час ферментації лушпиння складає 10-14 днів при оптимальній ступені подрібнювання – 300-500 мкм; зони оптимальної життєдіяльності і пригнічення *E.foetida* залежно від температури та вологості субстрату (оптимальна температура – 23-26 °C, вологість - 65-80%, щільність заселення субстрату черв'яками – 10-15 тис./м<sup>2</sup>). Визначений термін досягнення статевої зрілості вермикультури *E.foetida*: при температурі 25 °C – 65 днів, при температурі 15°C – 82 дні. Встановлено оптимальне співвідношення субстрату і біомаси вермикультури (30:1). Обраний спосіб відділення вермикультури від субстрату дозволяє при температурі навколишнього середовища 20-25°C за добу вилучити 70-80% вермикультури *E.foetida*.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНОЛОГІЯ ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ СОНЯШНИКОВОГО ЛУШПИННЯ І ОТРИМАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ

#### 4.1 Технологія вермикультивування гречаного та соняшникового лушпиння

Процеси біоконверсії лушпиння можуть здійснюватися за різних технологічних схем залежно від біохімічного складу сировини, активності ферментних систем мікроорганізмів, заданої характеристики цільового продукту тощо. Виявлені нами основні закономірності процесу біоконверсії гречаного та соняшникового лушпиння за допомогою вермикультури дозволили розробити технологію отримання біогумусу.

Технологія процесу одержання біогумусу на основі рослинної сировини включає такі основні стадії:

- подрібнювання лушпиння до часток розміром не більш 1 мм;
- зволоження подрібненого лушпиння;
- ферментація протягом 10-14 днів;
- заселення ферментованого субстрату вермикультурою;
- біопереробка субстрату протягом 1,5-3 місяців;
- відбір вермикультури.

Характеристика вихідної сировини наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика вихідної сировини

| Найменування сировини | ДСТУ чи ТУ     | Показники, обов'язкові для перевірки перед випробуванням                      | Примітка                                                                         |
|-----------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Соняшникове лушпиння  | ДСТУ 7123:2009 | Вологість не більш 13% (перед здрібнюванням), відсутність металевих предметів | Розмір часток після здрібнювання соняшникового лушпиння повинний бути 0,1-1,0 мм |
| Гречане лушпиння      | ДСТУ 4524:2006 | Вологість не більш 13% (перед здрібнюванням), відсутність металевих предметів | Розмір часток після здрібнювання соняшникового лушпиння повинний бути 0,1-1,0 мм |
| Яблучні вижимки       | ТУ 4283:2007   | Вологість не більше 60%                                                       | —                                                                                |

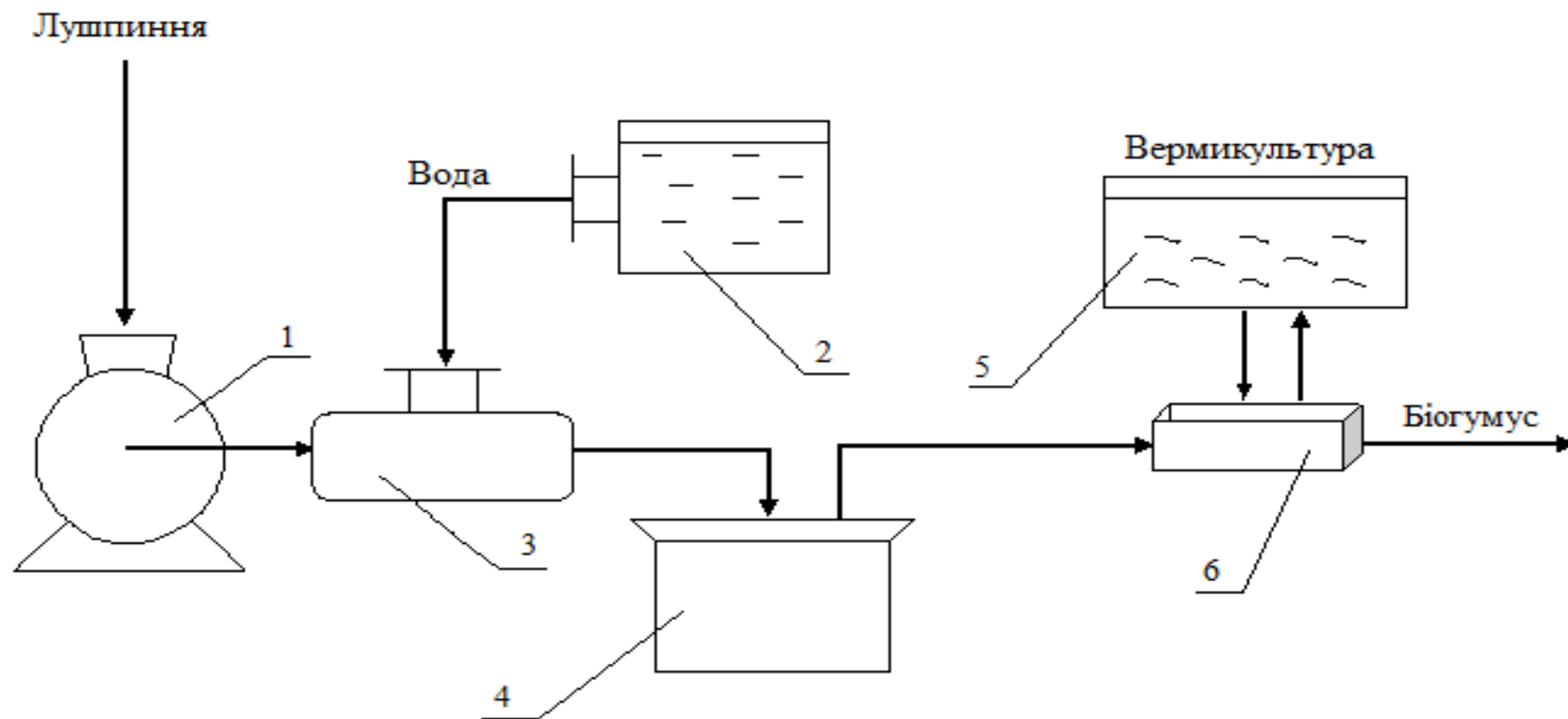


Рис. 4.1 – Технологічна схема

1 – подрібнювач; 2 – ємність з водою; 3 – змішувач; 4 – ферментатор; 5 – ємність для вермикультури; 6 – стелажі (ящики)

Процес вермикультивування лушпиння з метою одержання біогумусу показаний у вигляді технологічної схеми (рис. 4.1).

Утворення біогумусу з лушпиння є складним біохімічним процесом, який складається з двох стадій (ресинтезу і синтезу). На першій стадії під впливом ферментів мікроорганізмів порушується анатомічна будова лушпиння, а складні органічні сполуки (білки, жири, вуглеводи і ін.) розпадаються на простіші або проміжні продукти перетворення. Білки розщеплюються до амінокислот, полісахариди до моносахаридів, лігнін до фенолів та ін. (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Функціональна схема біотрансформації соняшnikового лушпиння при вермикюльтивуванні

Утворення гумусних сполук пов'язане з травною діяльністю червоного каліфорнійського черв'яка, а також з процесом конденсації різних речовин ароматичної природи при приєднанні до них амінокислот і протеїнів.

Для дослідження було визначено декілька варіантів складу суміші органічних відходів рослинного походження, відходів харчової і переробної промисловості (рис. 4.3). Основою досліджуваних сумішей є гречане лушпиння, змінювались лише додаткові наповнювачі (табл. 4.2).



а



б



в

Рис. 4.3 – Органічні відходи харчової та переробної промисловості  
а – гречане лушпиння; б – соняшникове лушпиння; в – яблучні вичавки.

Здійснюється процес вермикультитування наступним чином:

1. Подрібнювання гречаного та соняшникового лушпиння в млині роторного типу (1) до розміру частинок 0,3-0,5мм (рис. 4.4). Яблучні вижимки подрібнювати необхідності немає. Подрібнювання лушпиння до розміру часток не більше 1 мм обумовлене тим, що діаметр ротового отвору вермикюльтури *Eisenia foetida* не перевищує 1 мм. Крім того, нативне лушпиння має дуже міцну структуру. При подрібнюванні збільшується доступність целюлози для дії ферментів. Вигляд подрібненого гречаного та соняшникового лушпиння представлений на рис. 3.4.



Рис. 4.4 – Подрібнене гречане та соняшникове лушпиння

2. Зволоження подрібненого лушпиння. Оптимальна вологість для процесу ферментації та нормальної життєдіяльності вермикюльтури складає 70-80%. Перемішування подрібненого лушпиння з водою в співвідношенні 1:1,5 (3). Ретельне перемішування цього субстрату дозволяє забезпечити вирівнювання суміші за вологістю та створення умов для життєдіяльності мікроорганізмів.

3. Зволожену сировину закладають на ферментацію в ємність (4) для ферментації (відро) (рис 4.5) або у бурти висотою 50-60 см ( на 7-14 днів у співвідношенні компонентів (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Різні види сумішей органічних відходів та тривалість їх ферментації

| № варіанту | Склад субстрату                                                        | Тривалість ферментації, днів |
|------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1          | 100% гречане лушпиння (ГЛ)                                             | 10                           |
| 2          | 50% ГЛ, 50% соняшникове лушпиння (СЛ)                                  | 13                           |
| 3          | 50% ГЛ, 25% СЛ, 25 % відходи консервного виробництва – яблучні вижимки | 8                            |
| 4          | 50% ГЛ, 50% яблучні вижимки                                            | 7                            |



Рис. 4.5 – Процес ферментації субстрату

На початку ферментації протягом 2-3 днів при окислюванні мікроорганізмами легкодоступного вуглецю всередині субстрату температура зростає до 50° С, що по мірі використання сполук, які легко засвоюються мікрофлорою, поступово знижується. З метою поліпшення аерації субстрату, що компостується, активації мікробіологічної діяльності, вирівнювання вологи по всьому об'єму та усунення анаеробних гнильних зон проводять розпушення субстрату на глибині до 15 см.

Показники ферментації рослинного лушпиння наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні показники ферментації лушпиння

| №<br>п/<br>п | Вид<br>субстрату | Вологість,<br>% | Ступінь<br>подрібнен<br>ня, мм | Співвідно<br>шення<br>С:N | Максимальна<br>температура,<br>°С | рН<br>субстрату | Тривалість<br>ферментації,<br>днів |
|--------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| 1            | ГЛ               | 65-80           | 0,1-0,3                        | 18:1                      | 46                                | 7,0             | 10                                 |
| 2            | ГЛ+СЛ            | 65-80           | 0,1-0,5                        | 19:1                      | 51                                | 7,1             | 13                                 |
| 3            | ГЛ+СЛ+<br>ЯВ     | 65-80           | 0,1-1,5                        | 22:1                      | 57                                | 6,5             | 8                                  |
| 4            | ГЛ+ЯВ            | 65-80           | 0,1-1,5                        | 20:1                      | 54                                | 6,1             | 7                                  |

4. Після зниження температури в субстраті до 15-25° С проводять контроль якості ферментованого субстрату методом індикаторної культури. Для цього на його поверхню поміщають кілька десятків черв'яків і, якщо вони швидко заглиблюються в нього, значить він придатний як якісний корм і не вимагає подальшої доробки.

5. Ферментований субстрат закладають шаром 15 см у пластикові ящики (6), розміром 0,405×0,34×0,22м (об'єм 7л), які попередньо були вистелені плівкою (рис 4.6). Вермикультуру рівномірно розподіляють по поверхні густотою від 5 тис. черв'яків на 1 м<sup>2</sup>, тобто по 600 особин у кожен ящик (рис. 4.7).



Рис. 4.6 – Різні суміші субстрату в ємностях

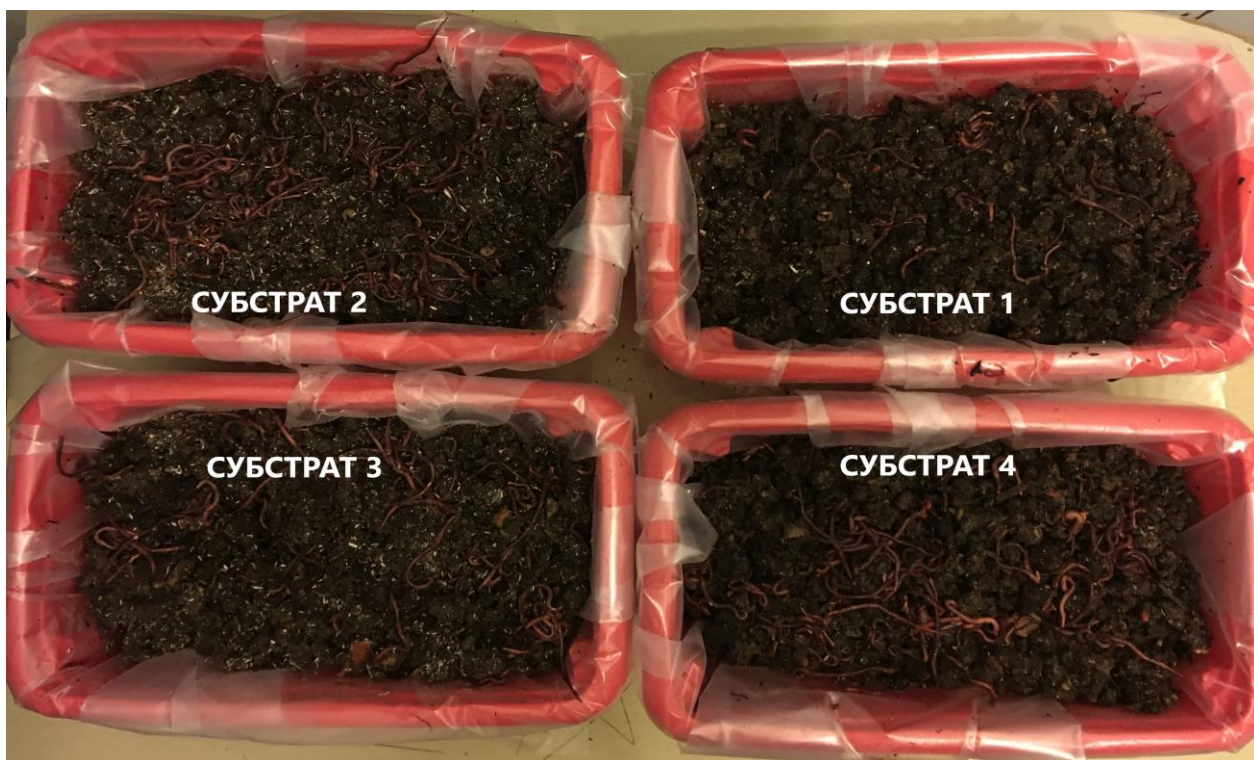


Рис. 4.7 – Вермикультура

6. У період біоконверсії (рис. 4.8) (протягом 1,5-3 місяців) важливою умовою є підтримка оптимальної вологості субстрату (70-80 %), а також відповідний температурний режим. Ущільнений шар органічних відходів (суміші) необхідно періодично розпушувати для проникнення кисню в глибину і виділення нагромаджених газів. Нові порції ферментованого лушпиння додають через 25-30 днів шаром 3-5 см, його готують за описаною вище схемою, тобто попередньо піддають ферментації.



Рис 4.8 – Процес біоконверсії

7. Підрахунок чисельності черв'яків проводиться 1 раз на місяць. Відбір проб здійснюється за допомогою пробовідбірника, що є паралелепіпедом з відкритими основами (квадратами 10x10 см) і висотою 30-40 см, зробленого з металу чи пластмаси. У трьох місцях ящика (стелажу) в шаховому порядку беруть проби з черв'яками на всю глибину розміром 10x10 см. Підраховують кількість статевозрілих черв'яків (С), ювенільних (Ю) (молодих) і коконів (К) у кожній пробі.

Загальну кількість черв'яків в ящику (на стелажі) розраховують за формулою:

$$З = [П + Ю + К \times 5)] \times S$$

де 5 – середня кількість личинок черв'яків у коконі (К);

S – площа стелажа (ящика), м<sup>2</sup>

8. По закінченні біоконверсійного процесу проводять виділення черв'яків. Важливою умовою є створення так званого «голодування» на протязі декількох днів перед відділенням від субстрату. Поверхню біогумусу покривають поліетиленовою плівкою, розмір якої підбирається таким чином, щоб від бічних стінок ємності залишався зазор шириною 0,5-1 см для переміщення черв'яків на плівку (рис. 4.9). Створивши черв'якам дискомфортні умови (відсутність повітря), за добу можна видалити з переробленого субстрату до 80% черв'яків, яких пересаджують на свіжий ферментований субстрат.



Рис 4.9 – Процес відділення вермикультури

Нами проведені дослідження за основними показниками біотрансформації рослинних субстратів вермикультурою *E.foetida* (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Показники біоконверсії рослинного лушпиння вермикультурою *E.foetida*

| Показник                                                          | ГЛ    | ГЛ+СЛ | ГЛ+СЛ+ЯВ | ГЛ+ЯВ |
|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|----------|-------|
| Тривалість вермикультивування, міс                                | 1     | 1     | 1        | 1     |
| Щільність заселення субстрату вермикультурою, тис./м <sup>2</sup> | 5-10  | 5-10  | 5-10     | 5-10  |
| Склад популяції черв'яків, %                                      |       |       |          |       |
| - статевозрілих                                                   | 25    | 25    | 27       | 25    |
| - ювенільних                                                      | 75    | 75    | 73       | 75    |
| Вологість біогумусу, %                                            | 67-80 | 65-80 | 70-85    | 78-83 |
| Температура навколишнього середовища, ° С                         | 17-23 | 17-23 | 17-23    | 17-23 |
| Висота субстрату для вермикомпостування, см                       | 15-20 | 15-20 | 15-20    | 15-20 |
| Частота розпушування субстрату, разів на місяць                   | 2     | 2     | 2        | 2     |
| Підгодівля свіжим субстратом, разів на місяць                     | 3     | 3     | 3        | 3     |

Було досліджено вплив різних поживних раціонів на основі лушпиння на репродуктивні показники вермикультури (табл. 4.5, рис. 4.9).

Таблиця 4.5 – Вплив різних видів поживних раціонів на репродуктивні показники вермикультури

| Вид суб-ту | Початок досліджу |       | Через 1 тиждень |        | Через 2 тижні |        | Через 3 тижні |        | Через місяць |        |
|------------|------------------|-------|-----------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|--------------|--------|
|            | 1                | 2     | 1               | 2      | 1             | 2      | 1             | 2      | 1            | 2      |
| 1          | 2                | 3     | 4               | 5      | 6             | 7      | 8             | 9      | 10           | 11     |
| ГЛ         | 600              | 48,00 | 650             | 83,50  | 698           | 89,60  | 750           | 93,83  | 817          | 125,77 |
| ГЛ+СЛ      | 600              | 49,01 | 635             | 107,89 | 684           | 112,15 | 733           | 118,67 | 800          | 158,71 |
| ГЛ+СЛ+ЯВ   | 600              | 50,33 | 633             | 94,55  | 676           | 144,29 | 717           | 195,74 | 805          | 198,83 |
| ГЛ+ЯВ      | 600              | 47,67 | 634             | 105,83 | 650           | 107,14 | 667           | 113,97 | 733          | 128,35 |

Примітка: 1 – кількість черв'яків, штук, 2 – біомаса черв'яків, г

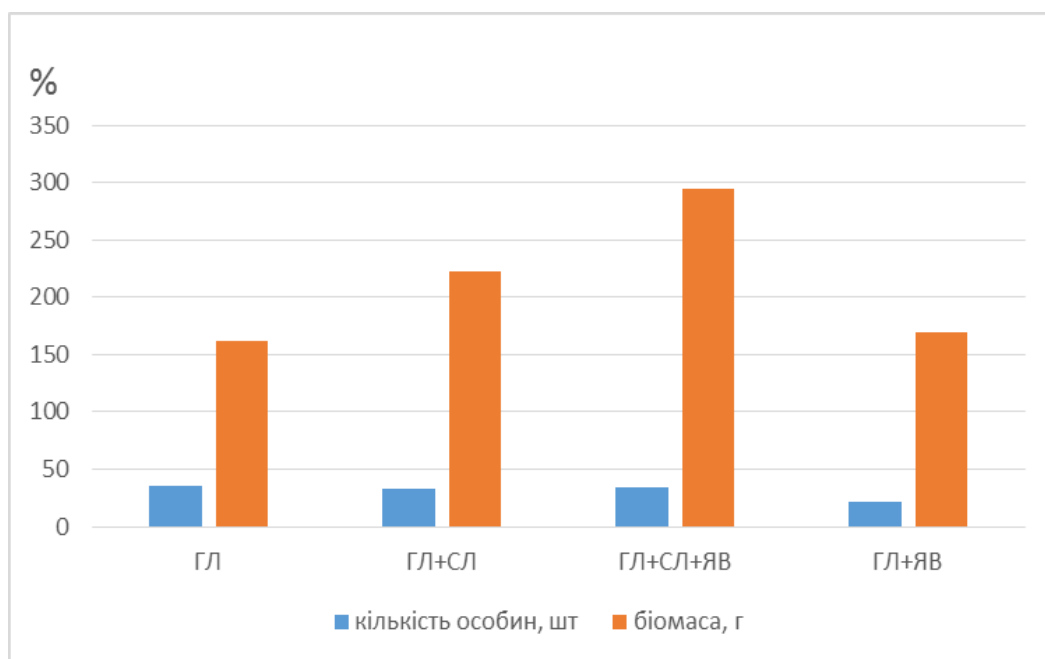


Рис. 4.9 – Приріст вермикультури *E.foetida*

Найбільший приріст біомаси вермикультури спостерігався в суміші з двох видів лушпиння та яблучних вичавок (295%), а найкращий показник за репродукцією – в субстраті на основі гречаного лушпиння (36%).

Таким чином, підбираючи склад поживного субстрату, можна цілеспрямовано регулювати ріст біомаси вермикультури *E.foetida*.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Робота в науково-дослідній лабораторії характеризується наявністю ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів всіх чотирьох класифікаційних груп, встановлених НАПБ Б.03.002-2007. Порушення правил безпеки експлуатації і конструктивні недоліки обладнання нерідко призводять до травм, тому охорона здоров'я людей шляхом створення безпечних і сприятливих для людини умов праці, є основною задачею охорони праці в лабораторіях.

Актуальними заходами з охорони праці для лабораторій вважаються впровадження умов праці на всіх робочих місцях відповідно з діючими нормами, видалення обладнання, робота на якому пов'язана з травмонебезпечними факторами, а також забезпечення здорових санітарно-гігієнічних умов, заміна старої, зношеної техніки і обладнання на нове, безпечне для життя і здоров'я робітника, за рахунок чого забезпечиться зниження і (або) ліквідація виробничого травматизму і професійних захворювань.

Охорона праці є дуже актуальною, оскільки передбачає:

- створення здорових і безпечних умов праці під час технологічних і виробничих процесів і операцій;
- своєчасне проведення заходів з техніки безпеки, виробничої санітарії, механізації і автоматизації важких, шкідливих і небезпечних робіт;
- забезпечення нормальних температурно-вологісних умов і чистоти повітря у приміщеннях, в яких знаходяться працівники і службовці;
- страхування людей від нещасних випадків і виробничого травматизму шляхом впровадження безпечного обладнання і покращення виробничих (робочих) умов;
- забезпечення навчання робітників безпечним методам праці, проведення систематичного інструктажу і пропагування безпечних прийомів праці;
- забезпечення робітників необхідним спецодягом і засобами індивідуального захисту;

- оптимізацію режимів праці і відпочинку, спрямованих на підтримку високої працездатності робітників, досягнення високої продуктивності праці, підвищення ефективності виробництва.

### 5.1 Заходи із забезпечення безпечних умов праці

**Розміщення лабораторного устаткування і його обслуговування.** При розміщенні обладнання в лабораторному корпусі (2 поверхи) виконують слідуючі основні вимоги:

- однотипне обладнання розміщують на одному поверсі;
- забезпечують максимальну освітленість робочих місць;
- дотримуються вимог охорони праці, техніки безпеки і максимально використовують площу лабораторії;
- забезпечують мінімальну кількість комунікацій.

Усе лабораторне устаткування встановлене з урахуванням умов його технічного обслуговування відповідно до вимог технічних паспортів.

Передбачено наступні відстані між обладнанням, а також між обладнанням і стінами будівель:

- проходи, які пов'язані з виходами в суміжні приміщення, на сходи повинні бути не менше 1,0 м, а між обладнанням – не менше 0,8 м;
- для підйому на площадки повинні бути вбудовані стаціонарні сходи шириною не менше 0,7 м.

**Забезпечення нормованих показників мікроклімату і чистоти повітря.** Допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в лабораторії регламентується ДСТУ Б А. 3.2-7:2009.

У приміщеннях, які опалюються, допускається в холодний і перехідний період року зниження температури повітря поза постійних робочих місць на 10°C. В холодний і перехідний періоди року в лабораторних приміщеннях допускається підвищення швидкості руху повітря до 0,7 м/с на постійних робочих місцях при одночасному підвищенні температури повітря на 2° С.

Не допускається установлювати нагрівачі, які ускладнюють систематичну очистку від пилу, наприклад, ребристі труби.

Для забезпечення нормованих показників мікроклімату і чистоти повітря у лабораторії запропоновані наступні заходи :

- раціональне розміщення обладнання з дотриманням правил розташування обладнання з передбаченням відсмоктування повітряної суміші від обладнання з якого вони виділяються. Обладнання встановлюється таким чином, щоб не загороджувати вікна, тобто біля стін або в середині приміщення.

- раціональне опалення. Для підтримання температурних режимів робочої зони на рівні оптимальних в лабораторії використовують електроопалення.

У лабораторії в якості вентиляції застосовується місцева витяжна вентиляція, яка служить для видалення забруднюючих речовин у місцях їх утворення шляхом відсмоктування забрудненого повітря від обладнання, що герметизується. Повітря, що видаляється назовні повинно бути скомпенсованою припливними пристроями. Приточні системи повинні перешкоджати утворенню вакууму в приміщеннях при дотриманні норм запиленості, температури, вологості та швидкості повітря в робочій зоні.

- раціональний режим праці і відпочинку.

**Захист від ураження електричним струмом.** Заходи і засоби захисту від ураження електричним струмом починаються з визначення категорії приміщень з електробезпеки. Категорія і клас приміщення регламентуються НАПБ Б.03.002-2007.

Науково-дослідні лабораторії за електробезпекою відноситься до класу приміщення з підвищеною небезпекою.

Захист працюючих від ураження електричним струмом у проекті здійснюється наступними заходами:

- виконання електрообладнання і електричних мереж повинно відповідати виду діяльності, категоріям приміщень і зон з пожежної і вибухової небезпеки і умовам оточуючого середовища;

- в пожежовибухонебезпечних приміщеннях електропроводки, кабельні лінії і виконання електрообладнання за ступенем захисту оболонок повинні відповідати п. 7.3 і 7.4 [57];

- недоступність струмоведучих частин. Принцип недоступності струмоведучих частин забезпечується їх розташуванням на недоступній висоті та заведенням в металеві канали;

- захисне заземлення та захисне відключення. Всі струмопровідні елементи мають подвійну ізоляцію. Все обладнання в 380 В має заземлення, опір якого 4 -10 Ом. Крім заземлення обов'язково використовують захисне відключення на випадок короткого замикання.

## **5.2 Заходи із пожежовибухонебезпеки**

**Пожежна безпека.** Науково-дослідні лабораторії за пожежовибухонебезпекою відноситься до категорії Б (НАПБ Б.03.002-2007).

Пожежна безпека лабораторного корпусу забезпечується наступними заходами та засобами:

- захист електричних мереж у лабораторіях від короткого замикання і перевантажень;

- передбачено наступні типи вогнегасників. Кожне виробниче приміщення забезпечене порошковими вогнегасниками тільки одного типу.

- передбачено системи пожежогасіння: внутрішня - від пожежних кранів, установлених на мережі внутрішнього протипожежного водопроводу. Кожний пожежний кран укомплектований пожежним рукавом, що розташований у навісних шафах. Внутрішні пожежні крани ручного пуску встановлені у виробничому приміщенні у місцях найбільшої концентрації пожежонебезпечного устаткування; зовнішня - від пожежних гідрантів, установлених на зовнішній мережі протипожежного водопостачання та для забору води з протипожежної водопровідної мережі, відстань між якими 90 м, відстань гідранта від корпусу 4,5 м.

- передбачено додаткові первинні засоби пожежогасіння: ящики з піском; бочки з водою; пожежні відра; совкові лопати; сокири, що розташовані на території на видному місці, біля виходу з лабораторного корпусу.

### Шляхи евакуації

Передбачені два евакуаційні виходи, що здатні забезпечити безпечну та швидку евакуацію людей.

Плани евакуації вивішені на видних місцях біля основного виходу з кожного поверху. Шляхи евакуації забезпечуються евакуаційним освітленням, а ті шляхи, що не мають природного освітлення, постійно освітлюються при наявності людей. План евакуації з лабораторного корпусу при пожежі наведений на рис. 5.1.



Рис. 5.1 - План евакуації з лабораторного корпусу при пожежі

## РОЗДІЛ 6 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Електрообладнання, яке знаходиться в приміщенні лабораторії, використання потенційно небезпечних речовин під час досліджень, а також зберігання вибухонебезпечних речовин - все це збільшує вірогідність виникнення техногенних аварій в лабораторії. Оскільки існує ймовірність виникнення ситуації техногенного характеру (пожежі, вибуху, забруднення навколишнього середовища) питання необхідності захисту працівників є досить актуальним і потребує розгляду.

### **Розрахунок зони надзвичайної ситуації при вибухах сумішей та речовин, що використовуються в лабораторії у відкритому просторі**

При оцінці обстановки, що виникає на об'єкті, де використовуються вибухопожежонебезпечні речовини, важливо розрізняти випадки, коли аварія виникає в приміщенні чи поза приміщенням. Вибухи в приміщеннях приводять до більш тяжких руйнацій тому, що частка участі горючої речовини внаслідок виключення розпорошення, у вибуху значно більша. Також при вибухах у приміщеннях значну небезпеку для людей становить не стільки безпосередній вплив ударної хвилі (УХ), скільки вторинні впливи (уламки, бите скло тощо) при руйнуванні обладнання, котре там знаходиться, та конструкцій об'єкта.

В лабораторії умовно вибухнула ємність з *уайт-спіритом* масою  $M=0,005$  т (одиначне зберігання). Ємність з уайт-спіритом розташовується на відстані  $R_{об} = 25$  м від лабораторної кімнати на складі хімікатів. Визначити характер руйнування лабораторного приміщення, якщо каркас будівлі – залізобетонний.

Для оцінки осередку ураження при вибуханні легкозаймистого повітряного середовища необхідно розрахувати:

1. Визначення радіуса зони детонаційної (бризантної) дії вибуху  $R_1$  за формулою:

$$R_1 = 17,5 \sqrt[3]{M} = 17,5 \sqrt[3]{0,5 * 0,05} = 2,4 \text{ м}, \quad (6.1)$$

де  $R_1$  – радіус зони детонаційної (бризантної) дії вибуху, м;

$M$  – маса уайт-спіриту у резервуарі, т. За  $M$  приймається 50 % вмісту резервуара при одиночному збереженні.

2. Радіус зони дії продуктів вибуху (осколків)  $R_2$  об'ємного вибуху розраховуємо за формулою:

$$R_2 = 1,7 \cdot R_1 = 1,7 \cdot 2,4 = 5,2 \text{ м}, \quad (6.2)$$

де  $R_2$  – радіус зони дії продуктів вибуху (осколків), м;

3. Надмірний тиск  $\Delta P_\Phi$  у зоні розльоту продуктів вибуху дорівнює:

$$\Delta P_\Phi = 1300 \cdot \left( \frac{R_1}{R_{об}} \right)^3 + 50 = 1300 \cdot \left( \frac{5,2}{25} \right)^3 + 50 = 61,7 \text{ кПа}, \quad (6.3)$$

де  $\Delta P_\Phi$  – надмірний тиск у зоні розльоту продуктів вибуху, кПа;

$R_{об}$  – відстань від центру вибуху до об'єкта, м.

4. Радіус дії  $R_3$  ударної хвилі визначається залежністю:

$$R_3 = 12 \cdot R_1 = 12 \cdot 5,2 = 62,4 \text{ м}, \quad (6.4)$$

де  $R_3$  – радіус дії ударної хвилі, м;

5. Надмірний тиск  $\Delta P_{yx}$  у зоні дії повітряної ударної хвилі обчислюється за формулою:

$$\Delta P_{yx} = \frac{233}{\sqrt{1+0,41 \left( \frac{R_{об}}{R_1} \right)^2 - 1}} = \frac{233}{\sqrt{1+0,41 \left( \frac{25}{5,2} \right)^2 - 1}} = 34,5 \text{ кПа}, \quad (6.5)$$

де  $\Delta P_{yx}$  – надмірний тиск у зоні дії повітряної ударної хвилі, кПа.

Можна зробити висновок що ступінь руйнування лабораторного корпусу оцінюється як сильний.

Для того, щоб попередити виникнення вибуху уайт-спіриту, необхідно притримуватися правил зберігання горючих речовин.

Облаштування складів легкозаймистих речовин повинне проводитись згідно з ДСТУ Б А. 3.2-7:2009, та відповідати Правилам пожежної безпеки в Україні.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблена схема біотехнологічної утилізації гречаного та соняшникового лушпиння при комбінованому використанні створених оптимальних умов вермикультивування *E.foetida*.

2. Встановлено, оптимальним ступенем подрібнювання лушпиння є 100-300 мкм та 300-500 мкм. При культивуванні на такому субстраті збільшується біомаса черв'яків відповідно на 96% і 98%.

3. Визначений хімічний склад лушпиння (соняшникового і гречаного). Вміст целюлози в ньому складав 22,5-50,0%, лігніну – 19,5-29,5%, полісахаридів, що легко гідролізуються – 18-29,18 %, полісахаридів, що важко гідролізуються – 21,7-29,9 %, золи – 3,7-19,5 %, смоли – 1,1-6,3 %.

4. Оптимальна температура для розвитку та функціонування вермикультури *E.foetida* складала 23-26° С. Зонами песимума є границі 3-15°С й 30-35° С, а нормальної життєдіяльності – 15-30° С. Верхня межа витривалості (критична максимальна температура) - +35° С, а нижня межа (критична мінімальна температура) -+ 3° С. Екологічна валентність цього черв'яка щодо температури – 3-30° С .

Оптимальна вологість для вермикультури становить 75-85%. Зонами песимума є межі 40-65 % й 90-98 %, зоною нормальної життєдіяльності – 65-90%. Екологічна валентність – 40-98 %.

6. Оптимальними параметрами попередньої підготовки (ферментації) лушпиння для вермикомпостування є: ступінь подрібнювання відходів 0,3-0,5 мм, вологість субстратів – 75-80 %, максимальна температура в буртах – 50-55 °С, тривалість ферментації – 10-14 днів, частота перемішування субстрату – 1 раз на тиждень.

8. Оптимальні умови процесу вермикомпостування лушпиння: вологість базового субстрату 70-80%, температура 20-25° С; щільність посадки – 5-10 тис. черв'яків на 1 м<sup>2</sup> (для прискореного нарощування поголів'я вермикультури),

15-30 тис. особин на 1 м<sup>2</sup> (для прискорення процесу вермикомпостування); рН субстрату = 6,5-7,5; періодичність внесення свіжого субстрату - 1 раз у 10 днів.

9. Найбільший приріст біомаси вермикультури через місяць був на субстраті з двох видів лушпиння та яблучних вичавок (295%), а найкращий показник за репродукцією – на основі суміші соняшникового та гречаного лушпиння (36%).

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для раціональної утилізації побічних продуктів харчової промисловості – гречаного та соняшникового лушпиння, яблучних вичавок – застосовують розроблений технологічний процес їх біоконверсії, шляхом вермикультивування, який заснований на двох послідовних етапах трансформації: ферментації лушпиння природним комплексом мікрофлори і отриманні ефективного екологічно чистого органічного добрива біогумусу – продукту життєдіяльності (копролітів) вермикультури *Eisenia foetida*.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабенко М.В. Формування і розвиток економічних взаємовідносин в олієжировому підкомплексі АПК. Автореф. дис.... к-та екон. наук: 08.07.02 / Дніпропетр. держ. агроунівер. - Дніпропетровськ, 2003. - 20с.
2. Домашенко Ю.В. Розвиток оліє-сировинного виробництва і збуту соняшнику в умовах ринку. Автореф. дис. канд. екон. наук 08.07.02. Дніпропетр. держ. агроунівер. - Дн-ськ, 2002. 21 с.
3. Товстоноженко Н. Ю. та ін. Вермикультивування: біологічні особливості, екологічне значення та ефективність переробки різних органічних відходів. *Молодь – аграрній науці і виробництву. Екологізація виробництва та охорона природи як основа збалансованого розвитку*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Біла Церква БНАУ, 14 квіт. 2023. Біла Церква, 2023. С. 26-29.
4. Капрельянц, Л. В. Біотехнологічні основи переробки вторинної рослинної сировини в харчові та кормові продукти [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.18.02 "Технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів та комбікормів". Одес. технол. ін-т харч. пром-сті ім. М.В. Ломоносова. Одеса : ОТХП, 1993. 32 с.
5. Крусір Г. В. Біоконверсія органічних відходів - вирішення проблеми деградації ґрунту / Г. В. Крусір, А. В. Бучка. Матеріали конференції VI Всеукраїнського з'їзду екологів, 21-22 вересня 2017. ВНТУ, 2017. С. 64.
6. Востирикова В. М. та ін. Целюлазний комплекс мікроорганізмів: Антропоцентричний та екобіоцентричний погляди. *Екологічна безпека держави*: тези доповідей Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 19-21 квіт. 2011. Київ НАУ, 2011. С. 109.
7. Кулик О.П., Гармаш С.М., Чернишова Т.П., Кравченко К.А., Булейко С.Ю. Соняшникове лущиння у кормовиробництві. *Тваринництво України*. 2003. №2 . С. 27.
8. Білявський Г.О. Основи загальної екології. К.: Либідь, 2015. 368 с.
9. Аверченко В.І. Ґрунтознавство: навч. пос. Харків: Мачулін, 2018. 118с.

10. Городній М.М. та ін. Агроекологія. К. : Вища школа, 2013. 216 с.
11. Кулик О.П. та ін. Дослідження впливу біогумату на розвиток рослин після мікроклонального розмноження в культурі *in vitro* на прикладі фіалки узумбарської. Матеріали II Міжнар. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених. Дніпропетровськ, 2005. С. 309.
12. Coombs J. Biological san-traps. *Nature*. 2007. № 5. P. 582-583.
13. Edwards C.A. The use of earhtworms for composting farm wastes. *Composting of agricultural and other wastes*. 2005. №12. P. 229-252.
14. Sabine J. The nutritive value of earthworm meal. *Proceedings of Conference on Utilization of Soil Organisms in Sludge Management*, Syracuse, N.Y. ed. by R. Kalamazoo. MI. 2008. P. 122-130.
15. Бомба М. Я. Біологічне землеробство: стан та перспективи розвитку. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2016. № 59. С. 9-18.
16. Tomati U., Grappelli A., Galli E. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biol. Fertil. Soils*. 2008. V.5. P. 288-294.
17. Бикін А.В. Біоконверсія органічних відходів агропромислового комплексу та продуктивність агроєкосистем при застосуванні нових видів добрив: Автореф. дис...д-ра с.-г. наук: 06.01.04; 06.01.06. Націон. агроунів. К., 2009. 38 с.
18. Patent 2126574 A GB , C 05 F 3/00 11/00. Animal or vegetable waste transformed by earthworms /Clive Artnur Edwards. - № 8219213; Заявл. 02.07.82; Опубл. 04.07.83 - 9 с.
19. Hussaini A. Vermiculture bio-technology: An effective tool for economic and environmental sustainability. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 2013. № 7.2. P. 56-60.
20. Куценко О.М., Писаренко В.М. Агроекологія. К.: Урожай, 2005. 256 с.
21. Горбань В. А. Еолово-грунтові відклади та їх вплив на формування едафотопів лісових культурбіогеоценозів степової зони України: Монографія. Дніпро: Свідлер АЛ, 2017. 201 с.

22. Loquet M., Vincelas M. Cellulolyse et ligninolyse lices autube digestif d'E.foetida andrei Bouche. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 2007. V. 24 (40). P. 559-571.
23. Елланська Н. Е. Значення мікроорганізмів в алелопатії вищих рослин. *Інтродукція рослин*. 2003. №3. С. 106-110.
- Шаталін Д. Б. Дощові черв'яки (*Lumbricidae*) лісових та урбоекосистем степового Придніпров'я: структурно-функціональна організація угруповань та екологічні аспекти вермикультури : дис... канд. с.-г. наук : [спец]. 03.00.16 « Екологія ». Дніпропетровський ДАЕУ. Дніпро : 2017. 188 с. Режим доступу : <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/7879>.
25. Hoffman G. Verteilung und Herkunft einiger Enzyme im Bonden. *L. Pflanzenernahr, Dung., Bodenkunde*. 1999. № 2. P. 174-179.
26. Kiss U. A gibisztaurubek es hangybolyfold invertaza aktivitasa. *Agrokem. es. talaj.* 2007. № 1. P. 65-68.
27. Дідур О. О. та ін. Зоогенні тенденції буферної здатності ґрунту як складова екологічної реабілітації урбоґрунту в межах паркової зони мегаполіса. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*. 2017. № 46. С. 106-114.
28. Кривошей Ю. І. Формування та еволюція комплексу ґрунтової біоти під впливом едафічних і кліматичних чинників. *Збірник тез доповідей викладацьких, аспірантських та магістрантських наукових досліджень за підсумками проведення "Дня науки-2013"*, 2013. С. 24.
29. Ткачук О.П. Сільськогосподарська екологія: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 542 с.
30. Lewis D.B., Whitney P.J. Cellulase in *Nereis virens*. *Nature*. 2020, № 5167. P. 603-604.
31. Вермикультура як засіб стабілізації агрооекосистем. *Біосфера XXI століття: матер. III всеукр. конф. м. Севастополь, 2011. Вид-во Сев НТУ, 2011. С. 125-127.*

- 32.Спосіб компостування і виготовлення компосту. Kompostierverfahren und danach hergestellter Kompost: Заявка 19830483, Германия, МПК<sup>7</sup> С 05 F 17/00, Hanff S. № 19830483.8; Заявл. 08.07. 2008; Опубл. 13.01.2009. 2с.
- 33.Шевчук М. Й. та ін. Агроекологічна ефективність застосування ферментованого органічного добрива на дерново-слабопідзолистому ґрунті. Монографія. Рівне : НУВГП , 2017. 183 с.
- 34.Агроекологія: теорія і практикум / Писаренко В.М., Перебийніс В.І., Самородов В.М. та ін. / Під загальн. ред. В.М. Писаренка. Полтава, ІнтерГрафіка, 2003. 319 с.
- 35.Самохвалова В. Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Біологічні студії*. 2014. № 1. С. 217-236.
- 36.Ящук В.У. та ін. Гумінові речовини – безпечні регулятори екосистем. К. : Національна академія аграрних наук України, 2016. 89 с.
- 37.Забродоцька Л.Ю. Основи агрономії : навч. посіб. Луцьк : Інформ.-вид. відділ Луцького НТУ, 2019. 360 с.
- 38.Галушка А.М., Силюк В.П. Вплив перед посівної обробки насіння біологічно активними речовинами на урожай пшениці: Зб. наук. пр. Дніпропетровськ, 2002. С. 82-86.
- 39.Масликова К.П. Томати: хвороби та захист. Дніпропетровськ: Дніпропетровський державний аграрний університет, Центр екологічних знань, "Зелене світло", 2000. 20 с.
- 40.Байрак Н. Гумісол - елемент біоорганічного землеробства. *Пропозиція*. 2002. № 6. С. 54.
- 41.Kulik A.P., Garmash S.N., S.Yu. Buleiko, N.B. Polishchuk, T.P. Chernyshova. Producing a feed additive on the basis of sunflower shell. *Ecology of the Industrial Regions*. 2005, V. 1 (1-2). P. 111-115.
- 42.Журавель С. В та ін. Критерії оцінки динаміки розвитку вермибіоти за умов контейнерного способу вирощування. *Sciences of Europe*. 2021. №82-2. С. 8-11.

- 43.Гармаш С.Н., Кулик А.П., Ванжа Н.И., Науменко А.і. Біоконверсія органічних відходів підприємств агропромислового комплексу. *Наука і освіта*. Матер. VII Міжнар. наук.-практ. конф. *Сільське господарство*, Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2004. С. 41-42.
- 44.Гармаш С.М., Гейсун А.А., Єфименко К.Ю. Біотехнологічна переробка рослинних відходів. Матеріали II Міжнародної наукової студентської конференції "*Trans Mech Art Chem*". Дніпропетровськ, 2004. С. 88.
- 45.Машкін Ю.О. Вермикультивування – альтернативний спосіб одержання білково-мінеральної кормової добавки. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*: збірник наук. Праць. Біла Церква: БНАУ, 2015 . Вип.2(120) . С. 132-136
- 46.Осіпенко І.В. Використання біомаси вермикультури за виготовлення комбікормів та показники його поїдання курчатами-бройлерами. *Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту. Сучасний розвиток технологій тваринництва. Інноваційні підходи в харчових технологіях*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Білоцерківський НАУ, 20 жовтня 2022. Біла Церква: БНА. 2022 . С. 25-27.
- 47.Tacon A.G.J., Stafford E.A., Edwards C.A. A preliminary investigation of the nutritive value of three terrestrial lumbricid worms for rainbow trout. *Aquaculture*. 2003. № 35. P. 187-199.
- 48.Patent 5024844 USA, A61K 035/56. Process for the production of dried earthworm powder and antihyperlipemic, antidiabetic, antihypertensive and antihypotensive preparations containing dried earthworm powder as active ingredient / Ishii; Yoichi (Miyazaki, JP); Mihara; Hisashi (Miyazaki, JP). - № 228672; Заявл. 05.08.88; Опубл. 18.06.91.
- 49.Технологія гідролізного виробництва. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни: навч. посіб. для студ., КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Р.І. Черьопкіна. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 46
- 50.Кирильчук А. А. Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум : навч. посібник, Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. 354 с.

- 51.Сироватко К.М., Зотько М.О. Технологія кормів та кормових добавок: навч. посіб., Вінниця: ВНАУ, 2020. 263 с.
- 52.Олійчук С., Данілова К., Коваль О. Ферментативний гідроліз крохмале-целюлозної сировини до зброджуваних цукрів у виробництві біоетанолу. *Продовольчі ресурси*. 2019. №7.13. С.121-130.
- 53.Єгоров Б. В., Цюндик А. Г., Оріхова В. Г. Перспективи переробки і використання яблучних вичавок. *Зернові продукти і комбікорми*. 2015. №3. С.38-42
- 54.Сігарьова Д.Д., Калатур К. А. Взаємовідносини між хижими грибами і нематодами та їх використання у біологічному захисті рослин. *Захист і карантин рослин*. 2013. № 59. С. 246-257.
- 55.Патент № 17772 А України, МКП 6 А 01 К 67/00. Установка для відділення черв'яків від субстрату / Сенчук М.М., Таргоня В.С. - № 96083168; Заявл. 7.08.96; Опубл. 20.05.1997, Бюл. № 5.
- 56.Патент № 21302 України, МКП 6 С 05 F 17/00. Спосіб одержання біогумусу / Дудукін А.А., Абрамов О.О, Козак В.В., Хоменко А.П., Дринь О.В. -№ 95042159; Заявл. 28.04.95; Опубл. 30.04.1998, Бюл. № 2.
57. ПУЕ-2017 від 15.02.2017 №118. Правила улаштування електроустановок. Міністерство енергетики і вугільної промисловості України.