

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

Факультет харчових технологій та біотехнологій

Кафедра біотехнологій та радіології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

на тему: «Використання в якості органічного субстрату
для вермикомпостування та вермикультивування
відходів грибництва»

Виконав: студент 2 курсу,
групи 1, спеціальності
162 Біотехнології та біоінженерія
Ренкас В. О.

Керівник: к.с.-г. наук, с.н.с., доцентка
кафедри біотехнології та радіології
Сварчевська О. З.

Рецензент: к.с.-г. наук, доцент кафедри
технології виробництва і переробки
продукції дрібних тварин Періг Д. П.

Робота заслухана на засіданні кафедри біотехнології та радіології і
рекомендована до захисту в ЕК, протокол № ___ від _____ 2023 р.

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

Буцак В. І.

Львів – 2023

ЗМІСТ

	стор.
АНОТАЦІЯ	4
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1. Відходи харчової промисловості та сільськогосподарського виробництва	9
1.1.1. Переробка та застосування харчових відходів	9
1.1.2. Відходи сільськогосподарського виробництва	14
1.1.3. Технологія утилізації відходів сільського господарства	15
1.2. Технології вермикомпостування та вермикультивування	18
1.2.1. Характеристика процесів та їх відмінності	18
1.2.2. Біотехнологічні процеси вермикомпостування та вермикультивування	21
1.2.3. Характеристика продуктів вермикомпостування та вермикультивування	22
1.3. Характеристика, технологія, продукція та відходи грибівництва	26
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
2.1. Характеристика об'єктів дослідження. Матеріали дослідження	40
2.2. Методика досліджень і розрахунків	42
2.2.1. Умови проведення процесу вермикультивування	42
2.2.2. Методи дослідження субстрату та біогумусу	43
2.2.2.1. Метод визначення вологи та сухого залишку	43
2.2.2.2. Метод визначення відсоткового вмісту золи у субстраті	45
2.2.2.3. Визначення активної кислотності (pH)	47
2.2.2.4. Методи визначення вмісту нітрогену та сирого протеїну	47
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	48
3.1. Дослідження субстрату для вермикультивування популяцій дощового каліфорнійського черв'яка <i>Eisenia fetida</i>	48

3.2. Вплив різного субстрату на ріст біомаси дощового каліфорнійського черв'яка <i>Eisenia fetida</i>	50
3.3. Показники субстратів після проведення вермикультивування	51
3.4. Аналіз результатів	53
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	56

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота надрукована на 64 сторінках комп'ютерного тексту. Вона складається зі вступу, огляду літератури, умов та методики проведення досліджень, результатів досліджень, висновків і списку використаної літератури, який містить 80 джерел вітчизняної та зарубіжної літератури. Робота містить 2 таблиці та 4 рисунки.

Ключові слова: черв'як, *Eisenia fetida*, вермикомпостування, вермикультивування, органічні відходи, субстрат, біогумус, печериця, глива, кокон, мульча, гній.

Актуальність теми. Поява вермитехнології та дедалі зростаюче використання її в різних країнах викликані несприятливими змінами навколишнього середовища, необхідністю екологічно безпечно утилізувати значні обсяги органічних відходів різного походження.

Вермитехнологія відноситься до біологічних способів переробки органічних відходів (біоконверсія). Привабливість даного методу полягає в його біологічній основі, що виключає небезпеку забруднення навколишнього середовища.

Вважається, що перетворення дощовими черв'яками гною та інших органічних відходів у повноцінний протеїн і гумусне добриво — це природний процес саморегуляції природного середовища. Метод вермикомпостування дозволяє створити механізм біохімічного кругообігу речовин, дає можливість організувати практично безвідходний, замкнений цикл сільськогосподарського виробництва.

У зв'язку з цим, процеси вермикультивування та вермикомпостування є перспективними напрямками не лише для утилізації органічних відходів і утворення цінного добрива, але й одержання затребуваних біологічно активних кормових добавок.

На основі вищесказаного, рахуємо, що вибрана тема для вивчення актуальна та потребує вивчення для впровадження у виробництво утилізації відходів за допомогою вермিতেхнологій.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи — оцінити можливість використання відходів грибівництва в якості органічного субстрату в процесах вермикультивування та вермикомпостування.

Для досягнення мети сформульовано наступні завдання:

1. Вивчити досвід використання відходів сільського господарства в якості субстрату в процесах вермикультивування та вермикомпостування.
2. Оцінити ефективність використання відходів грибівництва на розвиток популяції дощових черв'яків *Eisenia fetida*.
3. Оцінити ефективність вермикомпостування відходів від виробництва печериць і гливи за порівняльною характеристикою одержаного біогумусу.

Об'єкт дослідження — компостна технологічна лінія дощового черв'яка виду *Eisenia fetida*.

Предмет дослідження — процеси вермикультивування та вермикомпостування.

Методи дослідження. Робота проведена з використанням біотехнологічних методів, а саме вермикомпостування та вермикультивування на субстратах з відходів грибівництва (від вирощування гливи та печериці). Також фізико-хімічних і біохімічних методів дослідження субстрату та біогумусу: метод визначення вологи і сухого залишку, метод визначення відсоткового вмісту золи у субстраті, визначення рН, методи визначення вмісту нітрогену та сирого протеїну.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше проведено дослідження впливу органічних відходів, одержаних від вирощування грибів (гливи та печериці) на процес вермикультивування. В результаті досліджень встановлено, що з відходів грибівництва найбільш прийнятним субстратом

виявилась мульча печериць, у якій спостерігалась позитивна динаміка збільшення кількості дощових черв'яків.

Практичне значення одержаних результатів. Полягає у тому, що одержані результати експериментальних досліджень можуть бути використані у безвідходних технологіях утилізації відходів грибівництва шляхом біоконверсії популяцією каліфорнійського дощового черв'яка.

ВСТУП

Урбанізація, постійно зростаюча кількість населення Землі та споживацький спосіб життя людей призводять до безмірно зростаючого виробництва і накопичення величезних обсягів промислових, сільськогосподарських та побутових відходів [1].

Суттєва частина цих відходів (до 60–70%) за своєю природою є органічною та нетоксичною. Проте, вони володіють потенціалом глобального збільшення забруднення навколишнього середовища: води, повітря та ґрунту, тому що від них на теперішній час позбавляються, розміщуючи їх на звалищах, спалюючи в печах або захоронюючи на полігонах [2]. Ці способи утилізації відходів екологічно небезпечні та економічно не вигідні. Якщо ці органічні відходи перетворити у матеріали, корисні для сільського господарства, то вдасться зберегти величезну кількість основних поживних речовин для рослин. Тому, зростає зацікавленість до використання органічних відходів у якості добрив, поліпшувачів ґрунту та джерел енергії.

Вермитехнології, тобто технології, що базуються на використанні компостних (гнойових) черв'яків, поєднують у собі всі ті переваги. Вермикомпостування — це найбільш екологічно безпечна і сприятлива для навколишнього середовища біотехнологія переробки та утилізації біодеградуючих органічних або органічних відходів і перетворення їх у матеріали з додатковою вартістю. За допомогою вермикультури можна переробляти органічні матеріали відходів, при цьому вони перетворюються у гумус і біомасу дощових черв'яків [3].

Незважаючи на те, що за останні роки в Україні було видано дуже мало наукової та практичної професійної літератури щодо вермикультури, наукові дослідження компостних черв'яків і розробка біотехнологічних способів з використанням компостних черв'яків для переробки органічних відходів (технологія вермикомпостування) отримали широке поширення [4, 5]. Вермикомпостування давно переступило стадію експериментальних розробок

та перетворилось у багатьох країнах світу (Канада, США, ЄС, Китай, Південно-Східна Азія, Австралія) у широкомасштабний бізнес і стало базою вермиіндустрії.

Практична частина роботи була виконана на волинській вермифермі «Зелена ферма», яка займається переробкою органічних відходів на біогумус за допомогою каліфорнійського черв'яка.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Відходи харчової промисловості та сільськогосподарського виробництва

1.1.1. Переробка та застосування харчових відходів

Харчові відходи (ХВ) — це їжа, яка втратила споживчі властивості за її використання, переробки або зберігання. У невеликих кількостях вони не становлять небезпеки для людини [6].

Із зростанням чисельності міст кількість таких відходів збільшується. Якщо їх не утилізувати, то вони стають розсадником мікроорганізмів і можуть викликати епідемію. Переробка відходів харчування — проблема людського суспільства [7]. Передові технологічні методи перетворюють дане сміття в енергію, корм для тварин і добрива.

Щільність народонаселення зростає. Щоб прогодувати людство підприємства виробляють величезну кількість продуктів харчування [8]. Галузь переробляє сировину рослинного та тваринного типу, інші ресурси. Одні компанії займаються первинною обробкою сировинних ресурсів, а інші — вторинною. Відходи отримуються на стадіях виробництва, зберігання та реалізації продукції:

- 1) За виробництва: це відбраковані сировинні ресурси, які втратили цінність та не відповідають державним стандартам.
- 2) Під час реалізації: на базах, прилавках магазинів, ринках частина сировини втрачає властивості через порушення цілісності упакування, терміну придатності. Протермінована, неякісна їжа вибраковується та викидається.
- 3) За приготування їжі.

Отримані харчові відходи на всіх стадіях повинні збиратись, перевозитись на сміттєві полігони та складуватись. Частина сміття

захоронюється. Решту сміття використовується для вторинної переробки [9]. На державному рівні розроблено правила та норми щодо поводження з харчовими відходами.

СанПіН (санітарні правила і норми) — це державні нормативні акти. Вони запобігають інфекційним зараженням і масовим отруєнням людей та екології [10, 11]. Правила поводження обов'язкові для виконання усіма особами будь-якої форми власності. За порушення санітарних нормативів громадяни несуть юридичну відповідальність.

Відходи харчового виробництва бувають у рідкому та твердому стані. Від їх фізичної якості залежить спосіб утилізації та вторинне застосування [12]. В організаціях загального харчування, садочках, школах діють Держстандарти [13, 14]. Вони рекомендують методи розрахунку кількості втрат за приготування їжі.

З метою дотримання раціонального виходу придатної продукції використовують таблицю відходів харчових продуктів за їх холодної кулінарної обробки. Це допомагає знизити відсоток отриманого сміття.

У класифікаційному каталозі сміття поділяють на п'ять категорій небезпеки:

- 1) Перший клас найбільше шкідливий для екології.
- 2) Другий клас становить серйозну небезпеку. Період відновлення після впливу триває тридцять років.
- 3) Третій клас сміття менш небезпечний. Повернення до початкового стану можливе після десяти років.
- 4) Четвертий клас відходів може завдавати природі незначної шкоди. Період відновлення триває три роки.
- 5) Сміття п'ятого класу нешкідливе.

Відходи харчової промисловості за класифікаційним каталогом відносяться до четвертого та п'ятого класу загрози. Значення має період відновлення екології.

У залишках їжі швидко розмножуються паразити, починаються гнилісні процеси. Запах розкладання притягує комах та гризунів. Щурі та миші слугують джерелом поширення інфекції. Для усунення епідемії несортовані харчові відходи кухонь і організацій суспільного харчування вчасно утилізуються [15].

Особливі умови приписуються до їх тимчасового зберігання на території закладу. Підприємства, де виникають залишки їжі, проводять їх збір окремо від решти сміття. Для збору харчових відходів застосовують контейнери, які оснащені кришкою.

Тимчасове зберігання харчових відходів за відсутності холодильного обладнання становить влітку вісім годин, а взимку — тридцять. Ємності для збору повинні оброблятися за допомогою хімічних речовин [16]. Вивезення проводять у ранковий та вечірній час. Відповідальними особами призначають керівників закладів.

Ємності, які використовуються для збору харчових відходів, не можуть застосовуватись для сміття іншого призначення. Вивезення здійснюють транспортні організації, які мають спеціальне обладнання для роботи з таким видом сміття, з документами, що підтверджують клас небезпеки та кількісний вміст шкідливих речовин у ньому.

Організація громадського харчування або дошкільний заклад складають договір на вивезення харчових залишків (ХЗ). Підприємство заповнює журнал реєстрації ХЗ, куди щоденно вносяться дані з їх обліку. Зразок заповнення журналу обліку поводження з харчовими відходами замовляють у компанії, яка проводить санітарний аудит [17].

Транспортна організація, яка має договір на вивезення харчових відходів, вивозить велику частину сміття на полігони, де вони захоронюються. Інша частина, що не пройшла денатурацію, застосовується в якості додаткового корму худобі.

Залишки їжі використовуються у виробництві кормів для худоби та домашніх улюбленців. У них містяться необхідні компоненти:

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

Застосовувана технологія дозволяє отримати корм, придатний для повноцінного живлення.

Біопереробка

Переробка харчових відходів у корми передбачає використання чистих залишків без шкідливих нехарчових домішок. Біопереробка застосовується для утилізації сміття, яке не може використовуватися для одержання корму для тварин.

За допомогою новітніх технологій органіку переробляють бактерії [18]. Технологія переробки перетворює сміття у перегній або нешкідливий гумус, який не завдає шкоди екології, а також безпечний для людини.

Звалище

Сміттеві полігони використовують для різного виду відходів [12]. Вони займають родючі землі, руйнують ґрунт, виділяють органічні кислоти. Зв'язуючись із важкими металами, потрапляють у воду, порушуючи баланс усієї екосистеми [2]. Захоронення харчових відходів на звалищах застосовується у ряді країн. Воно рахується застарілим методом утилізації [19].

Термообробка

За термальної обробки харчове сміття спалюють у печах. За спалювання одержують енергію, яка використовується для опалення, підігріву води. Такий спосіб утилізації допомагає позбавитись від значних обсягів сміття [19]. У процесі виділяються токсичні речовини. Знезараження допомагає зменшити екологічну загрозу [20].

Утилізація у домашніх умовах

Удома багато хто викидає у відро залишки їжі або ж зливає їх у каналізацію. Використання харчових відходів повинно бути раціональним.

Існують апарати, принцип дії яких базується на застосуванні черв'яків. Вони переробляють недоїдки у корисний гумус, який надалі застосовують у якості добрива. Використовується метод компостування залишків їжі на приватних ділянках [21].

Способи утилізації рідких харчових відходів

Утилізація рідких відходів відрізняється від переробки твердого сміття. У рідких продуктах утворюється осад [22].

На виробництві застосовують флотацію [23]. З цією метою харчові відходи насичують повітрям. Пухирці проникають у рідину. Вони допомагають осаду спливати на поверхню. Даний процес регулюється шляхом зміни подання напору повітря та займає до восьми годин. Осад видаляють, а потім утилізують. Якщо осадові речовини займають значний об'єм у рідині, то застосовують гравітаційний метод. Він допомагає ущільнити стік за допомогою тиску. Ця процедура займає добу.

Найраціональнішим способом усунення осаду є кондиціонування. Цей процес складається з:

- реагентної обробки;
- безреагентної обробки осаду.

За першого способу переробка відходів харчових підприємств виходить у вигляді великих пластівців, а в другому застосовуються критичні температури.

Можливе видалення осаду за допомогою піролізу. Видалення проходить у безкисневому режимі. Волога під дією високої температури випаровується, далі одержаний сухий осад видаляють. Останній метод є найефективнішим.

Вторинне використання харчових відходів, утилізація дозволяють зберегти природні ресурси, відновити екологічну рівновагу [24]. Застосування залишків їжі в якості компосту підвищує родючість ґрунту. Використання енергії за спалювання економить паливні ресурси. Зменшується кількість сміттєзвалищ. Бюджетні кошти на будівництво нових полігонів можна направити на відновлення природного середовища [25].

Продукти утилізації харчових відходів та їх застосування

Харчові відходи після утилізації використовуються наступним чином:

- 1) Мінеральна сировина — сировина, отримана за допомогою компостування замінить видобувні природні мінеральні добрива. Такий продукт не виявляє шкідливого впливу на тваринний та рослинний світ.
- 2) Добавки — перероблені у кормові добавки, корисні інгредієнти зберігаються та повторно застосовуються.
- 3) Замінник палива — відходи можуть застосовуватись у якості альтернативного палива, замінюючи газ і деревину. Використовуючи передові способи, отримують газ шляхом бродіння органічних речовин і одержання метану.

Отже, утилізація харчових відходів допоможе не лише зберегти природу, а й отримати вигоду від вторинного використання [26, 27].

1.1.2. Відходи сільськогосподарського виробництва

Агропромисловий комплекс є лідером серед виробничих галузей за кількістю утворених шкідливих речовин. Відходи, що одержуються за ведення сільського господарства, призводять до глобального потепління. Без очищення, переробки, утилізації вони отруюють водойми, ґрунти, негативно відбиваються на атмосфері. При цьому, «сільськогосподарське сміття» може бути сировиною для кормів, палива або добрив. Сучасні технології дозволяють організувати маловідходне або безвідходне виробництво [28].

Частка сільськогосподарських відходів зростає щорічно разом з приростом населення Землі та збільшенням виробництва харчових продуктів. Для впровадження принципів бережливого виробництва кожному сільськогосподарському підприємству необхідно виявити найшкідливіші для екології фактори [29].

Побічні продукти, що одержуються за вирощування рослин, розведення сільськогосподарських тварин, роботи підприємств сфери агропромислового комплексу, відносять до сільськогосподарських відходів [30]. Їх небезпека для

навколишнього середовища, способи нейтралізації та утилізації безпосередньо залежать від типу.

Розведення сільськогосподарських тварин на приватних об'їстях, на спеціалізованих підприємствах призводить до утворення основної маси відходів [31]. На частку тваринництва припадає більше, ніж половина від загальної маси відходів, утворених у галузі. При цьому, переробці підлягають не більше, ніж десять відсотків шкідливих речовин. Основними видами відходів тваринництва є: продукти життєдіяльності тварин і птиці — гній або послід, шкідливі гази, неочищені стоки, відходи рослинництва [32, 33].

Молочні та м'ясопереробні підприємства пов'язані з потраплянням у каналізацію залишків внутрішніх тканин туш, кров'яних тілець, інших твердих відходів. За відсутності належних систем очищення вони забруднюють ґрунтові води, водойми.

Негативно впливає на навколишнє середовище метан, що утворюється у скупченнях гною при складуванні в ями [34]. Цей газ є однією з головних причин глобального парникового ефекту.

За допомогою переробки можна знизити негативний вплив відходів тваринництва на екологію сіл. Наприклад, за контрольованого бродіння гній переробляється у біологічне паливо. Внутрішні органи, кістки, тканини тварин шляхом сушіння та подрібнення перетворюються у добавки для кормів. З екскрементів виробляють добрива.

1.1.3. Технологія утилізації відходів сільського господарства

Принципи бережного та екологічного виробництва основані на сучасних технологіях [35]. Вони дозволяють утилізувати, переробляти відходи сільського сектору. Існують сучасні способи утилізації різних видів відходів сільськогосподарського виробництва, які визнані екологічно безпечними (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Способи утилізації сільськогосподарських відходів

Вивезення на поля

Перевірений віками спосіб утилізації гною має плюси та мінуси. Кінський, коров'ячий гній з підсобних господарств допускається вивозити в поле необробленим для поступового утворення перегною, удобрення ґрунту. При цьому, курячі, свинячі екскременти можуть спричинити шкоду ґрунту. З-за підвищеної кислотності, наявності антибіотиків, стійких до їх впливу мікроорганізмів можна зіпсувати екосистему родючих шарів ґрунту [32].

Компостування

Найефективнішим способом переробки відходів рослинницької галузі сільського господарства є біоконверсія [36]. Контрольоване бродіння дозволяє отримувати біопаливо, натуральні добрива. Частина рослинної маси також може використовуватись у якості корму для сільськогосподарських тварин і птиці. Дотримання технології дозволяє одержати якісне добриво [37]. Для цього необхідні спеціальні площадки, обладнання, запаси матеріалів, які допомагають знизити кількість вологи в сировині (соломи, торфу, тощо).

Компостування також допомагає отримати біогумус з рідкого курячого посліду та торфу [38, 39]. Залежно від технології процес займає від 5 днів до 2

місяців. Для прискорення вдаються до допомоги корисних бактерій, інших мікроорганізмів, що форсують переробку посліду.

Біоенергетичні методи утилізації

Комплексний підхід до утилізації відкривають біоенергетичні технології, які направлені на:

- переробку відходів тваринництва;
- захоплення шкідливих газів;
- створення добрив;
- одержання біологічного палива у твердому, рідкому та газоподібному видах.

Установки працюють на твердих побутових відходах, гної, використаних підстилках для тварин і птиці, залишках сільськогосподарських кормів, забруднених стоках.

Шляхом поетапного підвищення температури та розділення продуктів бродіння отримують тверді добрива, рідкі аналоги дизельного палива, газомоторне паливо для сільськогосподарських машин, промислових охолоджувачів, газ для роботи ТЕЦ мініформату, інші продукти [40].

Рибницько-біологічні ставки

Каскад зі ставків-накопичувачів у 4 етапи переробляє неочищені стоки сільськогосподарського виробництва у чисту воду для технічних потреб [41].

У першій ставок спрямовуються стоки з гноєм та іншими відходами. Відстоюючись, вони розшаровуються на тверді речовини — добрива та рідку фракцію. Її поїдає спеціально запущені у ставок види водоростей та планктону.

У другій водоймі водорості насичують стоки, що пройшли першу сходинку очищення, киснем. Надлишки екологічно чистих водоростей виловлюють і згодовують худобі.

За потрапляння у третій ставок водорості стають їжею для черв'яків і ракоподібних.

Четвертий (заключний) ставок — для розведення риби. Мальки харчуються рослинами та зоопланктоном з третього ставку. Найчастіше

розводять товстолобика, їжею якого є рослини, та коропа, який надає перевагу черв'якам і рачкам [42].

Вермикультура

Прогресивна екологічна технологія, яка базується на вирощуванні черв'яків [43]. У західних країнах найчастіше використовують каліфорнійську породу черв'яків. У нетоксичних продуктах тваринництва (від посліду до мулових відкладень стічних труб) вирощуються колонії черв'яків. З'їдаючи зайве, вони створюють безпечний біогумус (добриво) [44]. Сама ж маса черв'яків використовується для підгодівлі тварин і птиці.

1.2. Технології вермикомпостування та вермикультивування

1.2.1. Характеристика процесів та їх відмінності

Сучасна світова наука та практика велику увагу приділяє проблемам переробки органічних відходів і раціонального використання їх як високоцінного біологічного ресурсу [45, 46]. Проте, застосування більшості технологій біоконверсії потребує значних енергозатрат. При цьому, ці технології не є безвідходними та, відповідно, екологічно чистими [47]. Якість більшості одержаних з цих відходів тваринництва органічних добрив не відповідає агротехнічним та екологічним вимогам з-за наявності життєздатного насіння бур'янів, патогенів і неприємного запаху. Це не виключаючи ймовірності забруднення повітря, ґрунту та ґрунтових вод водорозчинними фракціями нітрогенвмісних сполук. У Західній Європі, США, Японії та інших країнах у кінці 20 століття почали впроваджувати вермитехнологію переробки органічних відходів, яка вирішує дані проблеми [48].

Вермитехнологія — система організаційно-технічних заходів з культивування дощових компостних черв'яків на різних субстратах у конкретних екологічних умовах, обробки та застосування копроліту і біомаси черв'яків у сільському господарстві. Це новий напрямок сільськогосподарської

науки. Її застосування дозволяє підвищити продуктивність, екологічну стійкість та саморегулюючу здатність агроєкосистем [49]. У світовій літературі вермтехнологія розглядається як елемент екологічно чистого сільськогосподарського виробництва.

Вермтехнологія має 2 напрямки:

- вермикультивування, за якого розмножують дощових компостних черв'яків або одержують їх біомасу;
- вермикомпостування, головною метою якого є екологічно безпечна переробка різноманітних органічних відходів і отримання маси екскрементів дощових компостних черв'яків — копроліту (вермикомпосту, біогумусу) — цінного органічного добрива.

За переробки органічних відходів цими методами кінцевими продуктами є біомаса дощових черв'яків і біогумус (органічне добриво) [44]. Вермикультивування більшою мірою орієнтоване на одержання біомаси дощових черв'яків з метою їх подальшого використання в якості кормової добавки у раціонах свиней та птиці, у фармацевтиці, а також у технологіях знешкодження ґрунтових забруднень, відновлення ґрунтів і підвищення їх родючості. Основною метою вермикомпостування є переробка органічних субстратів для отримання удобрювальних компостів (біогумусу) та відновлення родючості ґрунтів, знешкодження побутових відходів, осаду стічних вод (ОСВ), інших відходів, які важко піддаються утилізації [50].

Найбільше поширення вермикомпостування та вермикультивування отримали у Канаді, США, Індії, Китаї, Австралії, Мексиці, Південній Кореї, Італії та на Кубі [51–54]. На українському ринку також спостерігається зростання кількості в основному невеликих вермикомпостних господарств, які виробляють біогумус.

Дощові черв'яки потребують перш за все нітрогенвмісної органіки, запаси якої у ґрунті є обмеженими. Тому найбільша кількість дощових черв'яків зазвичай спостерігається у місцях локалізації органічного субстрату, що багатий на нітроген (на пасовищах, поблизу екскрементів трав'яних тварин

тощо) [55]. Крім нітрогенвмісних речовин (протеїнів, амінокислот), перероблювана сировина повинна містити клітковину, вуглеводи, вітаміни, різноманітні мінеральні речовини, і, навпаки, не містити токсичних отруйних речовин, що характерні для міських твердих побутових відходів (ТПВ). У складі субстрату для росту черв'яків також повинен бути присутнім мінеральний інертний наповнювач, ґрунт або пісок. Оптимальними для життєдіяльності черв'яків є наступні умови: температура 15–25 °С, вологість 70–90%, рН = 7–7,6, темрява та хороша аерація. Черв'яки надзвичайно чутливі до виділення газів, що утворюються у процесі гниття (сірководню, аміаку та метану). Зокрема, допустимий рівень вмісту аміаку становить 0,5 мг на кілограм субстрату. Тому, в промислових установках вермикультивування намагаються уникати утворення застійних (мертвих) зон і підтримують вміст кисню у газовій фазі не менше 15%, а вуглекислого газу — не більше 6 %. На розмноження черв'яків негативно впливає перенаселеність субстрату, що переробляється. Тому щільність популяції є важливим контрольованим показником [56].

По відношенню до перероблюваних субстратів черв'яки повинні володіти не лише підвищеною здатністю споживати субстрат і високою швидкістю його розкладання, а й швидко адаптуватись до зміни субстрату та бути стійкими до захворювань. З всієї різноманітності дощових черв'яків для вермикультивування придатні лише декілька видів. Багато видів спеціально виведених рас черв'яків потребують адаптації до локальних умов і часто заражені нематодами (іншими червами-паразитами), багато з яких є фітопатогенні для сільськогосподарських рослин. Боротьба з нематодами є надзвичайно складною та малоуспішною [57].

1.2.2. Біотехнологічні процеси вермикомпостування та вермикультивування

Вермикультивування — це процес відновлення популяції дощових черв'яків. Виробничий досвід свідчить, що з метою підвищення ефективності верминологій даний процес повинен базуватись на культивуванні гнойових черв'яків, які володіють високими технологічними якостями. Практично основним компонентом усіх технологій вермикомпостування є гнойовий черв'як *Eisenia fetida (foetida)* [58].

Компостні черв'яки інтенсивно живляться та споживають велику кількість органіки. Багаточисленні джерела інформації на дану тему наводять різні відомості, які стосуються продуктивності вермикультури [58–60].

В основі процесу вермикомпостування лежить біологічна особливість черв'яків заковтувати шматочки органічної речовини, трансформувати у кишкової порожнині до гумітів і виділяти у вигляді невеликих грудочок продовгуватої форми — копролітів. Органічна сировина, яка заселена черв'яками, впродовж одного – двох днів втрачає неприємний запах, а через чотири – шість тижнів перетворюється в органічне добриво, якість і властивості якого залежать від виду компостованого матеріалу.

Короткий термін компостування пояснюється тим, що сировина переробляється одночасно трьома групами організмів: мікроорганізмами, найпростішими та черв'яками. При цьому, створюються умови, які сприяють пригніченню патогенної мікрофлори [61, 62]. За традиційної переробки органічної сировини коефіцієнт гуміфікації зазвичай не перевищує 10 %, а в сировині, яка заселена черв'яками він збільшується у 1,5–2,5 рази [63].

За допомогою вермикомпостування досягається не лише трансформація гною (посліду) тварин (птиці) та / або підстилки, опалого листя, соломи тощо в органічне добриво (біогумус), а й отримання сировини у вигляді маси черв'яків для виробництва кормової добавки [49, 50, 54, 64].

Технологія вермикомпостування базується на тому, що черв'яки у процесі життєдіяльності заковтують органічні залишки, подрібнюють їх у кишківнику, хімічно трансформують і викидають назовні, тим самим збільшуючи площу їхнього контакту з мікроорганізмами-деструкторами, які приймають участь у розкладанні відходів, та покращують умови для їх життєдіяльності [65, 66].

Черв'яки роблять більш інтенсивним процес перетворення органічного матеріалу, також відбувається активна мінералізація органічної речовини [66]. При цьому вивільняються такі біологічно активні речовини, як калій та фосфор. Компостування за допомогою дощових черв'яків призводить до утворення особливої структури ґрунту. Компост містить поживні речовини у формі, яка є найсприятливішою для живлення рослин. Окрім того, його можна вносити у будь-якій дозі.

1.2.3. Характеристика продуктів вермикомпостування та вермикультивування

Вермикультивування є потужним джерелом відтворюваного повноцінного протеїну для тваринництва, що пояснюється, з одного боку, багатим амінокислотним складом, з іншого боку, пролонгованою дією біостимуляторів вермикультури, які покращують метаболічні процеси і зміцнюють імунну систему, що підвищує збереження та ефективність використання кормів [4, 60]. Застосування цих кормів дозволяє підвищити живу масу, зокрема птиці на 40 % у порівнянні з контролем і збільшити її збереженість на 10 %. Це пояснюється не лише покращенням протеїнової частини раціону, але й активності травних ензимів.

За переробки однієї тонни органічної їжі черв'яками отримується сто кілограмів біомаси черв'яків, яка відрізняється високою поживною цінністю. Черв'яки містять до 70 % протеїну, який містить 18 амінокислот (у тому числі 8 незамінних), до 5–20% вуглеводів, до 8–11% ліпідів. До складу біомаси входять

численні ензими, мікроелементи, вітаміни групи В, біотин, фолієва, пантотенова та нікотинова кислоти, а також ряд біологічно активних сполук [54].

Наявні дані про проведення утилізації курячого посліду на птахофабриках методом вермикомпостування з метою одержання протеїнових кормових добавок і біогумусу [39]. Розрахунок проводився за умови виходу сорока тисяч тонн посліду. Ця кількість посліду дозволяє отримати за вермикомпостування 800 тонн кормових добавок і 16 тисяч тонн біогумусу, що забезпечує високу економічну ефективність та підвищення ККД використання кормів у середньому на 25%. Протеїн, отриманий з черв'яків, використовувався з високим ефектом і для інших видів тварин [60].

Організація вермикомпостування дозволить повністю вирішити питання кормових добавок, покращити санітарно-гігієнічний стан регіону, а поєднане виробництво кормових добавок і біогумусу дозволить максимізувати його економічну ефективність та отримати цінне органічне добриво [44, 50, 67].

З кожної тони субстратів на основі пташиного посліду за культивування гнойових черв'яків утворюється вісім кілограмів живої біомаси черв'яків за цикл їх розвитку (160+20 діб) з площі 1 м². Упродовж року кількість їх зростає приблизно в тисячу разів, біомаса — більше, ніж у сто разів. Порошок, виготовлений з гнойових черв'яків містить приблизно 62–71% протеїнів. Це більше, ніж у сухих дріжджах (44%), білковому концентраті сої (45%), м'ясному борошні (60%) або рибному борошні (61%).

На думку італійських фахівців, з 1 м² можна одержувати до ста кілограмів біомаси черв'яків у рік. Для цього вилучати з субстрату їх слід через кожні два місяці культивування на стадії завершення логарифмічного росту популяції (культивування – дощовий черв'як – копроліт).

На сьогоднішній час серед споживачів величезною популярністю користуються органічні продукти. Це продукція харчової промисловості та сільського господарства, яка виготовлена у відповідності з затвердженими правилами (стандартами), що передбачають відмову від використання

(мінімізацію використання) синтетичних мінеральних добрив, пестицидів, регуляторів росту, штучних харчових добавок, а також забороняють використання ГМО (генетично модифікованих продуктів). Наприклад, у сільському господарстві не використовують мінеральні швидкорозчинні добрива на полях, а для боротьби зі шкідниками використовують біологічні та фізичні методи (шум, ультразвук, температурні режими, світло, пастки). Відносно готової продукції, заборонено мінералізацію, рафінування та інші прийоми, які знижують поживні властивості продукту, а також додавання штучних ароматизаторів, барвників, крім тих, що визначені у відповідних стандартах [68]. Загалом, це овочі та фрукти, ріст і розвиток яких відбувається у природному середовищі, при цьому застосовуються натуральні добрива. За таких умов не можливо одержувати високі врожаї, більше зберігається якість продукції. Впродовж багатьох років такі продукти вирощували тільки приватні фермерські господарства, використовуючи різні компости. Одним з екологічно чистих компостів у органічному рослинництві в тому числі є вермикомпост [69]. На сьогоднішній час у будь-якому господарському магазині можна купити ґрунт, у складі якого обов'язковим компонентом є вермикомпост.

Вельми суттєвою відмінністю біогумусу від простих органічних добрив є те, що у ньому міститься велика кількість водорозчинних форм нітрогену, калію та фосфору — найнеобхідніших речовин. Мікроелементи теж переходять у більш рухливу форму. Вміст доступних водорозчинних фракцій у біогумусі також досить високий [44]. Це особливо важливо у перший період росту та розвитку рослин.

Вермикомпост або біогумус одержують за утилізації органічної сировини (найрізноманітніших відходів) за допомогою дощових черв'яків промислових ліній [51]. До основних його властивостей відносяться: покращені фізичні властивості, високий вміст гумусу, низька кислотність, малий вміст важких металів, який залежить від виду сировини, що утилізується. Окрім підвищення врожайності, його можна застосовувати для «омолодження» ґрунту в разі його деградації. Технологія вермикомпостування є практично безвідходною. Вона

базується на здатності черв'яків поглинати у процесі своєї життєдіяльності органічні залишки та ґрунт, які в організмі черв'яків подрібнюються, хімічно трансформуються, збагачуються поживними елементами, ензимами і мікроорганізмами [52].

Біогумус являє собою чорну розсипчасту з приємним запахом ґрунтоподібну масу, яка схожа на чорнозем. Оскільки біогумус містить велику кількість (до 32 % на суху вагу) гумінових речовин (гуміни, гумінові кислоти та фульвокислоти), то це надає цьому органічному добриву високих агрохімічних і рістстимулювальних властивостей [63].

Усі поживні речовини в ньому знаходяться у збалансованому поєднанні та у вигляді біодоступних для рослин сполук [44]. Біогумус не містить важких металів, насіння бур'янів, патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів. Більше того, він містить у собі унікальну спільноту корисних для рослин і ґрунту мікроорганізмів, які при внесенні біогумусу в ґрунт заселяють його, виділяють антибіотики, фітогормони, бактерицидні та фунгіцидні сполуки, що призводить до витіснення патогенної мікрофлори. Зрештою, це все оздоровлює ґрунт і усуває чимало широко розповсюджених хвороб рослин. Добриво легко та поступово засвоюється рослинами впродовж усього циклу розвитку. Застосування цього добрива покращує агрохімічні властивості, підвищує якість і збільшує врожай сільськогосподарської продукції [50].

У Канаді та США розроблено сучасні вермитехнології, що дозволяють утилізувати всілякі органічні відходи й отримувати одну тону біогумусу з площі 20 м² впродовж 7 діб [52].

За даними інших авторів, на 1 м² за 200 днів переробляється більше однієї тони компосту й одержується 500 кг біогумусу 50% вологості та 10 кг біомаси живих черв'яків [54]. При цьому, маса збільшується у 20–50 разів за щільності дві–три тисячі на 1 м². Окрім цього, канадські вчені вказують, що за 24 години 1 тону гнойових черв'яків споживає в якості їжі 1 тону гною свиней. Адаптація гнойового черв'яка до гною свиней становить пів року. Якщо грядка, площею 2 м² буде містити сто тисяч черв'яків змішаного розміру, включаючи

кокони, то з цієї грядки можна отримати 6 центнерів біогумусу в рік і 10 тисяч дорослих особин щомісячно.

Ефективність біогумусу:

- швидко відновлює природну родючість ґрунту, покращує його структуру та здоров'я;
- зв'язує у ґрунті важкі метали та радіонукліди, не дає рослинам накопичувати нітрати;
- не володіє інертністю дії (насіння та рослини відразу реагують на нього);
- скорочує терміни проростання насіння, прискорює ріст і цвітіння рослин, скорочує терміни досягання плодів на 2–3 тижні;
- забезпечує високу приживлюваність саджанців і розсади, оптимальний ріст квітів, їх інтенсивне та тривале цвітіння;
- забезпечує стійкий імунітет у рослин, підвищуючи їхню стійкість до несприятливих погодних умов, стресових ситуацій, бактеріальних і гнилісних хвороб;
- значно підвищує врожайність і покращує смакові якості вирощуваної продукції;
- забезпечує стабільний високий екологічно чистий врожай.

Таким чином, біогумус слугує дуже цінним добривом у сільському господарстві. Його застосування дозволяє підвищити врожайність культур, покращити мікрофлору ґрунту, збільшити коефіцієнт гуміфікації в 1,5–2,5 рази, знизити кислотність ґрунту, зменшити кількість валових форм важких металів у ньому [53].

1.3. Характеристика, технологія, продукція та відходи грибівництва

Грибівництво в Україні є однією з нових, молодих галузей сільськогосподарського виробництва. У світовій практиці — це високорентабельне виробництво, яке ґрунтується на сучасній науково

обґрунтованій технології, що забезпечена технічними засобами, технологічним обладнанням і системою машин. Розвиток матеріальної бази галузі дозволив за останні тридцять років перевести виробництво гливи та печериці на промислову основу, суттєво підвищити вихід високоякісного продукту, що має великий попит як на внутрішньому, так і на міжнародному ринку. Галузь грибівництва набуває величезного значення у зв'язку з серйозним погіршенням екологічного середовища та неможливістю використання у їжу дикоростучих грибів [70].

Грибівництво відрізняється від інших галузей сільськогосподарського виробництва та має ряд переваг завдяки можливості виробництва грибів цілий рік, інтенсивному типу виробництва, високій врожайності, можливості утилізувати відходи інших галузей сільського господарства і використанню різних пристосованих приміщень за їх відповідної реконструкції [71]. Переведення галузі грибівництва на індустріальну основу в Україні розпочалось у 1976 році. Розвиток галузі йшов по шляху організації великих підприємств-гектарників з обсягом виробництва свіжих грибів 850-1000 тон у рік, як на вітчизняному, так і на імпортному обладнанні.

Великі промислові комплекси з виробництва печериць є спеціалізованими підприємствами з високим рівнем механізації та автоматизації технологічних процесів. Для підтримання оптимального температурно-вологісного режиму, регулювання подання повітря та відведення газоподібних продуктів обміну речовин камери для вирощування грибів обладнані системами кондиціонування, опалення і вентиляції, водо- та паропостачання, а також системами автоматичного контролю і регулювання умов мікроклімату з використанням комп'ютерних систем. Грибівництво — це перспективна галузь сільськогосподарського виробництва в Україні, яка привертає до себе увагу не лише величезних, але й дрібних виробників [72].

Технологія приготування субстрату включає 3 послідовні та взаємопов'язані процеси:

- попередня підготовка соломи розм'якшенням (анаеробна фаза);

- ферментація (аеробна фаза);
- термічна обробка субстрату (пастеризація і кондиціонування субстрату).

Попередня підготовка соломи полягає в її зволоженні до 70–80 % на спеціальному майданчику компостного цеху, відтисканні колісним трактором, внесенні добавок курячого посліду, мінеральних добрив і їх змішуванні зі зволоженою соломною за допомогою вилчатого фронтального навантажувача або бульдозера. Солому складають на майданчику шаром приблизно 1 метр і за допомогою стаціонарної системи поливу зволожують впродовж трьох – п'яти днів. Витрата води становить 2500–3000 л / 1 т соломи. Суміш соломи з курячим послідом для розм'якшення формують у бурт за допомогою фронтального тракторного навантажувача та витримують впродовж чотирьох – п'яти днів. За необхідності, масу в період розм'якшення додатково зволожують до 73–75 %. Витрата води становить 500–1000 л / 1 т повітряно-сухої соломи [70].

Під час приготування субстрату на основі соломистого кінського гною попередня підготовка гною складається з його заготовлення, до зволоження (за необхідності), внесення добавок та їх змішування з кінським гноєм. Розм'якшену масу соломи формують у пухкий бурт, шириною 1,8–2 м, висотою 1,7–1,8 м, довільної довжини. У період формування бурту всю масу або окремі її частини зволожують [71].

За промислового вирощування культури бурт формують за допомогою буртоукладальної машини, масу подають у приймальний бункер машини фронтальним тракторним навантажувачем. Після розігрівання (на 3–4-й день після формування) на його поверхню вносять гіпс з розрахунку 60 кг / 1 т повітряно-сухої маси соломи (20–23 кг / 1 т ферментованої маси). Далі бурт перебивають. Наступні перебивання здійснюють через три – п'ять днів у міру підйому температури всередині бурту до 65–70 °С.

Кількість перебивань залежить від якості попередньої підготовки матеріалів і активності процесу ферментації. Як правило, для одержання

субстрату хорошої якості достатньо 3–4 перебивань. У період перебивань (краще на початку) масу в цілому або її окремі місця за необхідності зволожують. Загальна витрата води під час перебивань становить 1000–1500 л / 1 т повітряно-сухої соломи [72].

За неможливості проведення попередньої підготовки соломи, вихідні матеріали закладають у бурт, ретельно зволожують водою впродовж декількох днів, а потім здійснюють ферментацію за аналогічною схемою. Цей спосіб можна використовувати за приготування субстрату на основі кінського або соломистого кінського гною. На сьогоднішній день розроблена технологія зі скороченим періодом ферментації, яка забезпечує скорочення втрат маси субстрату та поживних речовин. Проте, практика показує, що освоєння технології «короткого компостування», як правило, доцільно проводити тільки після ретельної відробки запропонованої у рекомендаціях технології [73].

Готовий для пастеризації субстрат повинен мати наступні показники:

- однорідну структуру, соломі темно-коричневого кольору, за скручування джгута рватися зі значним зусиллям;
- при стисненні мастити руку, при цьому між пальцями виділяється рідина, солома добре пружинить;
- вологість — 70–75 %, вміст загального нітрогену на суху речовину — 1,5–2 %, різкий запах аміаку, реакція середовища (рН водної суспензії) ~ 8,0.

Закладення субстрату

Готовий субстрат перевозять у шампінйонницю та наповнюють ним стелажі, контейнери або камеру (тунель) для пастеризації у масі. За вирощування печериць за однозональною системою на стаціонарних стелажих їх наповнюють субстратом за допомогою комбінованого транспортеру, в приймальний бункер транспортеру субстрат завантажують фронтальним тракторним навантажувачем. Витрата субстрату — 100–125 кг / 1 м² стелажу. Після завершення закладання камеру вентилюють впродовж 10–15 хвилин,

очищують, ретельно промивають стіни та підлогу і встановлюють датчики дистанційного контролю температури [72].

За вирощування печериць за багатозональною системою субстрат пастеризують у спеціальних камерах пастеризації у контейнерах або в масі [70, 74]. Контейнери наповнюють субстратом на спеціальній поточній лінії, встановлюють у пакети, перевозять у камеру пастеризації. Після встановлення контейнерів камеру очищують, промивають підлогу та встановлюють датчики дистанційного контролю температури. За пастеризації субстрату в масі камеру пастеризації (тунель) наповнюють субстратом за допомогою спеціального транспортеру безпосередньо на решітчасту підлогу камери шаром 1,8–2 м. Важливою умовою цього способу пастеризації є рівномірне укладання субстрату по площі підлоги камери та висота його шару до двох метрів з метою забезпечення рівномірного розподілу потоку повітря. Після завершення операції встановлюють датчики дистанційного контролю температури та зачиняють двері камери. Витрата субстрату на 1 м² площі підлоги камери становить 800–900 кілограмів. За вирощування печериць старим традиційним методом, без пастеризації, субстрат завантажують у ємності або вкладають у грядки в культивацийному приміщенні [74]. За вкладання гребневих грядок використовують спеціальні дерев'яні форми. Після вкладання у грядки або ємності субстрат витримують упродовж п'яти – семи днів для того, щоб після саморозігрівання субстрату його температура знизилась до 23–25 °С.

Термічна обробка субстрату

Мета пастеризації та кондиціонування субстрату — знищення шкідливих для печериць організмів, що знаходяться у субстраті, а також покращення якості субстрату при завершенні процесу ферментації у період кондиціонування у контрольованих умовах температури, вологості та повітрообміну [70]. Процес пастеризації включає розігрівання субстрату за допомогою подання насиченої пари низького тиску за повної рециркуляції повітря до 57–60 °С і його витримання за вказаної температури впродовж 6–9 годин. Вологість повітря у цей період підтримується наближеною до 100 %,

температура — у межах 57–59 °С. Після завершення пастеризації субстрат охолоджують вентиляцією до 55–56 °С упродовж 12–15 годин. Далі за допомогою вентиляції з одночасною рециркуляцією повітря субстрат витримують упродовж 5–7 діб, поступово знижуючи його температуру до 48–50 °С. Добове зниження температури субстрату за нормального проходження процесу кондиціонування повинно знаходитися у межах 1–1,5 °С. Контроль за процесом проводиться за температурою субстрату. Про ступінь активності процесу в субстраті судять за різницею температури субстрату та повітря камери, яка має становити 10–15 °С. Потреба в свіжому повітрі коливається у межах 10–15 м³ / год. на 1 тону субстрату та залежить від активності мікробіологічних процесів, що відбуваються у субстраті. За нормального проходження процесу на соломинках субстрату з'являється рясний блакитнувато-білий наліт актиноміцетів, що завершують процес ферментації, за завершення процесу запах аміаку практично повністю щезає. Після закінчення періоду кондиціонування субстрат охолоджують до 25–27 °С упродовж доби за допомогою посиленої вентиляції свіжим повітрям і розпочинають посадку (посів) міцелію. За пастеризації субстрату в масі сутність процесу залишається такою ж, як описано вище, проте потреба у вентиляції інша. Питоме подання повітря становить 150–200 м³ / год. на 1 тону субстрату за статичного тиску 100–110 мм водяного стовпчика. Опір шару субстрату потоку повітря впродовж усього процесу збільшується від 40–50 до 70–80 мм водяного стовпчика. Це пов'язано з поступовим ущільненням шару субстрату [71].

У період пастеризації необхідно подання свіжого повітря у кількості ~ 5% від загального подання повітря, а в період кондиціонування — до 20–25 %, залежно від динаміки температури субстрату. Різниця між температурою субстрату та повітря тунелю незначна і становить не більше 3 °С. Вологість субстрату за його пастеризації у масі повинна бути на 2–3 % нижча, ніж за пастеризації в ємностях. Це пов'язано з меншою втратою вологи субстратом. З метою точнішого аналізу та контролю за протіканням процесу термічної обробки рекомендується письмова реєстрація за показниками дистанційних

термометрів через кожні 30–60 хвилин із занесенням даних у паспорт пастеризації субстрату в автоматичному режимі за допомогою комп'ютерної системи управління мікрокліматом [73].

Посадковий матеріал

Посадковим матеріалом за вирощування гливи та печериць є міцелій (грибниця), яка вирощується за стерильних умов у спеціальних лабораторіях. У сучасному грибівництві використовується переважно зерновий міцелій. Міцелій на зерновій основі дозволяє механізувати посів міцелію у субстрат. Носій міцелію (зерно жита, пшениці, проса та інших культур) попередньо готується і стерилізується, після чого зерно заражують міцелієм за стерильних умов. Вирощування проводять у скляних або пластикових бутлях, банках, або спеціальних мішках з полімерної плівки. Технологія вирощування посадкового матеріалу гливи та печериці суттєво відрізняється [72]. Міцелій за своїми якостями повинен відповідати наступним вимогам:

- міцелій не повинен бути заражений сторонніми мікроорганізмами;
- повинен мати типовий приємний грибний запах;
- не допускається ніякого стороннього зафарбовування міцелію в ємності, не повинно бути мокрих та ущільнених ділянок, плям з незахопленими гіфами зерен.

У практиці грибівництва на даний час існує велика різноманітність сортів (штамів) їстівних грибів, які можуть відрізнитись між собою як за морфологічними, так і за господарсько-біологічними ознаками: за характером поверхні шапинки плодових тіл, забарвленням шапинок плодових тіл, розміром і формою плодового тіла, продуктивністю та характером плодоношення, придатністю до переробки і стійкістю до хвороб та шкідників [70, 72].

Посів міцелію та його ріст у субстраті

Посів (посадку) міцелію проводять після охолодження субстрату до 25–27 °С. За вищої температури субстрату міцелій втрачає активність, а за температури 33–35 °С — гине. У практиці грибівництва прийнято рахувати, що витрата міцелію під час посадки становить 3–5 % від маси субстрату. Норма

посадки (посіву) на 1 м² площі грядки, контейнеру або стелажу становить 350–400 г або 0,5–0,7 л. За пророщування міцелію у масі норма висіву становить 7–8% / 1 т субстрату (4,5–5 кг).

Залежно від технології обробітку культури застосовують різні способи посіву [71]. За вирощування печериці за однозональною системою на стаціонарних багатоярусних стелажах міцелій розкидають вручну по поверхні субстрату та перемішують з його масою спеціальною фрезою. Далі шар субстрату трамбують віброущільнювачем, підбивають краї в бортових плівок і ретельно вирівнюють поверхню. Для оберігання верхнього субстрату від підсихання у період росту міцелію стелажі вкривають газетним папером. Такий прийом дозволяє також регулювати вологість повітря у приміщенні шляхом щоденного зволоження паперу та проводити профілактичні заходи з боротьби зі шкідниками і хворобами печериці [74].

За вирощування печериці у мішках з полімерної плівки або контейнерах на великих підприємствах посів міцелію та його перемішування з масою пастеризованого субстрату виконують на потоковій лінії. Якщо обсяг виробництва невеликий, то міцелій вносять вручну. У випадку пастеризації субстрату та пророщування міцелію в масі (у тунелях) його висівають за допомогою посівного (висівного апарату) пристрою під час перевантаження субстрату (з тунелю для пастеризації у тунель для пророщування міцелію). Цю операцію виконують машиною для вивантаження субстрату та системою транспортерів для завантаження його в тунель. За відсутності подібних машин міцелій можна висівати шляхом розкидання вручну на поверхні шару субстрату (в тунелі), а вивантажувати з тунелю фронтальним тракторним навантажувачем [70].

Якщо застосовуються старі методи вирощування печериці, то гнойовий міцелій садять вручну шматочками, масою приблизно 15–20 г (завбільшки з куряче яйце) в шаховому порядку на відстані 20–25 см з глибиною загортання 4–6 см. Для цього верхній шар субстрату піднімають рукою, кладуть у яму шматочок міцелію і потім притискають його шаром субстрату. Міцелій добре

приживається й активно росте за вологості повітря 90–95 % і температури 25–27 °С. У цей період необхідна постійна циркуляція повітря для ліквідації перепадів температури та вирівнювання концентрації вуглекислоти в об'ємі приміщення. Вентиляцію свіжим повітрям проводять лише у випадку підвищення температури субстрату вище 28 °С [74].

За пророщування міцелію у масі питома подача повітря становить 200 м³ / год. на 1 тону субстрату, температуру регулюють подачею свіжого повітря або пари шляхом підмішування до рециркуляційного повітря. У період росту міцелію, а також активної життєдіяльності мікроорганізмів у субстраті виділяється значна кількість CO₂, як продукту метаболізму. Концентрація її в повітрі приміщення (тунелі або камері) досягає 2 % і більше. Встановлено, що концентрація вуглекислоти до 2 % стимулює вегетативний ріст міцелію, затримуючи перехід з павутинистого в тяжистий, та виключає передчасне утворення плодових тіл. За оптимальної температури субстрату та необхідної вологості повітря міцелій розростається на повну глибину шару субстрату за 12–14 днів після посіву. За нижчої температури (20–22 °С) період росту міцелію збільшується до 15–25 днів. Після завершення періоду росту міцелію у субстраті проводять насипання покривного матеріалу [72].

Насипання покривного матеріалу та догляд за культурою

Покривний матеріал — середовище, в якому створюються умови для формування плодових тіл. Він є джерелом запасу води, необхідної для ростучих плодових тіл, а також слугує регулятором газообміну між субстратом і оточуючим повітрям, оберігає субстрат від потрапляння джерел захворювання культури, регулює мікроклімат у зоні, що прилягає до поверхні субстрату [71]. Для виконання вказаних функцій покривний матеріал повинен відповідати наступним вимогам:

- мати дрібно грудкувату водостійку структуру, що перешкоджає утворенню кірки та не надто ущільнюється після поливів;
- володіти високою вологоємністю та достатньою повітро- і водопроникністю;

- мати наближену до нейтральної реакцію середовища (рН водної суспензії = 7,2–7,5).

Найкращим покривним матеріалом є суміш низинного або перехідного торфу з меленим або дрібно дробленим вапняком (мергелем або доломітом) [73]. Співвідношення вказаних компонентів залежно від властивостей може варіювати за об'ємом від 1:1 до 9:1.

Для приготування покривного матеріалу використовують торф, вологістю не менше, ніж 50 %, оскільки надто сухий торф за зволоження вбирає воду. Компоненти змішують у змішувальній установці з одночасним зволоженням покривного матеріалу. Якщо така установка відсутня, то компоненти просівають через грохот з комірками 1×1 см, пошарово формують до купи у прийнятому співвідношенні та перемішують тракторним навантажувачем, а за невеликого об'єму — вручну. Зволожуючи покривний матеріал з розрахунку 200–300 л / 1 м³. За промислового виробництва печериць покривний матеріал, особливо в літній період, піддають дезінфекції термічним або хімічним способом [74]. Якщо для приготування покривного матеріалу використовують торф свіжого видобутку, то дезінфекцію покривного матеріалу проводять у камері після його насипання на стелажі обприскуванням розчином формаліну (0,5 %-вий формалін, витрата розчину 85–100 л / 100 м²) або водою для поливу з розрахунку 0,25–0,50 л 40 %-вого формаліну / 25 м² поверхні стелажу. Насипання покривного матеріалу на основі торфу проводиться шаром 3,5–4,5 см; витрата покривного матеріалу становить 4–4,5 м³ / 100 м² корисної площі. Покривний матеріал під час насипання повинен бути помірно вологим (~ 60 %). Після насипання поверхню шару покривного матеріалу ретельно вирівнюють [71].

За стелажного вирощування укриття покривним матеріалом проводиться механізованим способом, а за культури у мішках або ящиках — вручну. Проводиться догляд за культурою. У перші три – чотири дні після насипання покривний матеріал зволожують до 75–85 % від повної вологоємності. Перший полив проводять відразу після закінчення насипання покривного матеріалу.

Норма поливу становить 2,5–3 л / 1 м². Після цього норма поливу поступово зменшується до 1 л / 1 м². Температуру субстрату впродовж семи – восьми днів після насипання покривного матеріалу підтримують на рівні 24–26 °С. У цей період необхідна циркуляція повітря у приміщенні. Вентиляція потрібна лише у випадку підвищення температури субстрату вище, ніж 28 °С. Підвищена концентрація вуглекислоти в приміщенні (1–2 %) є сприятливою для росту міцелію. Через сім – вісім днів після насипання покривного матеріалу міцелій проростає у шарі покривного матеріалу та місцями з'являється на його поверхні. Період вегетативного росту міцелію закінчується і культуру починають готувати до плодоношення [70].

На восьмий – десятий день після насипання шар покривного матеріалу помірно поливають, потім розпушують і поверхню шару ретельно вирівнюють. Найбільші пониження на поверхні засипають свіжим покривним матеріалом. Після завершення робіт приміщення охолоджують вентиляцією впродовж однієї – трьох діб, знижуючи температуру повітря до 15–16 °С. Температура субстрату за цей період знижується до 19–21 °С. Концентрація вуглекислоти до кінця періоду охолодження зменшується до 0,08–0,1 %. У наступні дні підтримують вказану температуру. При цьому, вологість повітря повинна бути не меншою, ніж 85 %. Впродовж чотирьох – п'яти днів після охолодження у період плодоутворення необхідно уникати поливу культури. За таких умов гіфи міцелію печериць потовщуються, стають схожими на тяжі, та починається утворення зародків плодових тіл [74].

Плодоношення та збір врожаю

У печериць плодоутворення за оптимальних умов починається через дванадцять – чотирнадцять днів після насипання покривного матеріалу, а перший збір врожаю — на вісімнадцятий – двадцятий день. Плодові тіла досягають споживчої стиглості приблизно за сім – десять днів. У перший тиждень періоду плодоношення плодові тіла ростуть гніздами або досить щільними групами, у наступний період — рівномірно по всій поверхні. Плодоношення печериці відбувається нерівномірно, хвилеподібно. Спади

плодоношення настають після кожних п'яти – восьми днів. Найактивніше плодоношення спостерігається впродовж перших трьох – чотирьох тижнів (3–4 «хвиль» плодоношення). За даний період збирають близько 70 % від загального врожаю. Інтенсивність плодоношення печериці визначає рентабельність термінів збору врожаю: чим активніше плодоношення, тим коротші терміни збору врожаю. Це залежить не лише від технології вирощування, а й від господарсько-біологічних особливостей сортів печериць [74]. За сучасною промисловою технологією рентабельним терміном плодоношення рахують 38–42 дні. У період плодоношення головну увагу приділяють підтриманню температури повітря на рівні 16–18 °С, вологості — не менше 58 %, проведенню регулярних поливів і достатній вентиляції приміщення. Активність плодоношення печериці залежить від вологості шару покривного матеріалу, яка повинна бути за можливістю стабільною, без різких коливань. Для цього проводять регулярні поливи культури.

Норма поливу залежить як від активності плодоношення, так і від умов мікроклімату приміщення [73]. Встановлено, що для формування одного кілограму плодових тіл витрата води становить ~2 л, у тому числі ~ 1 л на формування плодових тіл, решту частини губиться за випаровування з поверхні грядок. У промисловому грибовництві витрата води на полив визначається за кількістю врожаю, що формується на 1 м². Однак, витрата води під час поливу не повинна перевищувати 1 л / м². За необхідності проводять два поливи в день. Кількість плодових тіл у період їх росту в одному кілограмі варіює залежно від їх розміру. Для поливу за допомогою шлангів застосовують спеціальні насадки крапельного розпилення з діаметром отворів 0,25–0,3 мм. Облік витрати води на полив ведеться за водоміром, який знаходиться на установці для поливу. В період плодоношення у зв'язку з виділенням культурою газоподібних продуктів (в основному СО₂) необхідно постійно слідкувати за вентиляцією приміщення. Інтенсивність повітрообміну залежить від кількості субстрату, укладеного на 1 м², його температури, інтенсивності плодоношення. Прийнято вважати, що за врожаю 1 кг / м², витрати субстрату 100–120 кг / м² та його температури 16 °С

потрібно $1 \text{ м}^3 / \text{м}^2$ свіжого повітря. За підвищення температури субстрату на 1°C приплив свіжого повітря збільшують на 25 %. Поряд з вентиляцією важливу роль відіграє циркуляція повітря у приміщенні, яка сприяє покращенню газообміну на грядках, вирівнюванню температури та газового складу повітря за об'ємом приміщення [71]. Печериця не виносить протягів, особливо холодного повітря, тому за розробки припливно-витяжної системи вентиляції необхідно враховувати допустиму швидкість потоку повітря над поверхнею грядок [74]. Нормальний повітрообмін у приміщенні повинен забезпечувати вміст вуглекислоти у повітрі приміщення не більше, ніж 0,08–0,10 %. Контроль вмісту вуглекислоти у повітрі здійснюють за допомогою газоаналізатора. Плодові тіла печериць збирають у стані споживчої стиглості, коли шапинки загорнуті униз і сполучені з ніжкою частим покривалом, шляхом викручування їх з шару покривного матеріалу [75].

Після закінчення хвилі плодоношення, зазвичай у п'ятницю, поверхню грядок очищують від залишків ніжок, відмерлих зародків, плодових тіл і зрощених грудками гіфів міцелію, а утворені ямки засипають свіжим покривним матеріалом [73].

Відходи грибівництва

За виробництва 1 тонни плодових тіл гриба гливи утворюється не менше, ніж 6 тон відпрацьованого субстрату. Він представляє собою ферментований міцелієм гриба органічний матеріал (соняшникове лущиння, солону тощо) [70, 72].

Витрати на утилізацію однієї тонни відходу складаються з плати за розміщення на звалищі, плати за шкоду навколишньому середовищу та транспортних витрат. Якщо відпрацьована солома контамінована пліснявими грибами, то такі відходи відносяться до четвертого класу небезпеки [71]. У зв'язку з цим, виникає необхідність у пошуку раціональних способів і розробці науково обґрунтованих рекомендацій з утилізації відходів грибівництва.

Аграрне виробництво на сучасному етапі повинно орієнтуватись на мінімізацію шкоди природі та досягнення гармонічного розвитку природно-

антропогенних систем [25]. Пошук і розробка таких прийомів з надійним екологічним обґрунтуванням є одним з найважливіших аспектів розвитку сучасного аграрного сектору. Підвищення родючості ґрунту в таких межах, які потрібні для формування спланованого врожаю високої якості, не допускаючи при цьому забруднення навколишнього середовища, може бути досягнуто раціональним використанням біовідходів [28].

У численних зарубіжних і вітчизняних дослідженнях показано перспективність використання в якості добрива органічних відходів сільськогосподарського виробництва, зокрема соломи [44, 47, 49, 54, 58].

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика об'єктів дослідження. Матеріали дослідження

Об'єкт дослідження — компостна технологічна лінія дощового черв'яка виду *Eisenia fetida* (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Компостна технологічна лінія дощового черв'яка виду *Eisenia fetida*

Каліфорнійський дощовий черв'як належить до сімейства великих ґрунтових малощетинкових черв'яків *Lumbricidae*, які відносяться до ряду вищих малощетинкових *Lumbricomorpha*, класу малощетинкових *Oligochaeta*, типу кільчатих *Annelida*, підцарства багатоклітинних, царства тварин *Animalia*.

Черв'як *Eisenia fetida* — середніх розмірів, характерною ознакою його є смугастість. Забарвлення смуг — від рожевого до багряно-червоного кольору, а не пігментовані ділянки мають жовтуватий відтінок [76].

Активність та вплив природних поселень дощових черв'яків-епігеїків здебільшого обмежені верхнім шаром ґрунту та підстилкою [77]. По суті, вони є «перетворювачами підстилки». Вони живляться органічними відходами, що розкладаються, але при цьому інколи поглинають і ґрунт. Ці черв'яки не мають постійних нірок. Вони володіють високою рухливістю, коротким життєвим циклом, мають невеликі або середні розміри, швидко ростуть і розмножуються, а також здатні швидко адаптуватись до дуже мінливих умов навколишнього середовища на поверхні ґрунту [78]. Зазвичай вони мешкають в областях, які багаті на органічну сировину, типу верхнього шару ґрунту, в лісі під купами листя або стовбурів дерев, що розкладаються. Доволі часто їх можна виявити в гнойових купах. Завдяки тому, що вони не роблять глибоких нір і віддають перевагу поглинати багатий органікою матеріал, їх легко вирощувати у штучних умовах. Ці природні організми для розкладання — «компостери» є тим типом черв'яків, який широко та повсюдно використовується для вермикультивування і вермикомпостування.

Серед компостних черв'яків саме черв'яки-епігеїки використовуються у комерційних цілях [77]. Компостний черв'як *Eisenia fetida* є найширше використовуваним людиною з комерційною метою [59]. Цей вид черв'яка легко адаптується до широкого спектру змін навколишнього середовища та різного виду корму. Стратегія виживання цього виду черв'яків також добре вивчена у лабораторних умовах [79]. Він може «працювати» у широкому температурному діапазоні від 5 до 35 °C і може виживати впродовж деякого часу навіть у замороженому органічному матеріалі. Виявлено, що яйця, які знаходяться у дванадцяти коконах, залишаються життєздатними, будучи замороженими, впродовж декількох тижнів.

Eisenia fetida — ейсенія пахуча або гнойовий (компостний) черв'як. Вважається, що цей вид компостного черв'яка виник як підстилковий вид у

гірських лісах. Він також мешкає в багатьох лісах у південних регіонах, але зараз є звичайним видом у гнойових і компостних купах [59].

Матеріали дослідження: відходи грибівництва — мульча від виробництва печериць і гливи, одержані у результаті виробничого процесу.

2.2. Методика досліджень і розрахунків

2.2.1. Умови проведення процесу вермикультивування

Температура. Черв'яки можуть жити у доволі широкому діапазоні температур — від 4 до 30°C. Оптимальною для комерційного виробництва дощових черв'яків є температурний діапазон від 15 до 25°C. Оптимальний діапазон температур для розмноження черв'яків — від 15 до 20°C. Якщо температура в ящиках з черв'яками підіймається до небезпечно високого рівня, то необхідно охолоджувати субстрат за допомогою води або зменшити внесення свіжого корму.

Вологість. Під час вирощування дощових черв'яків оптимальною є вологість 70–85%, тобто наближена до вмісту води у тілі черв'яка. Субстрат при цьому має вигляд розсипчастого і сирого, а не сухого або надмірно зволоженого. Черв'яки повинні бути захищені від дії прямого сонячного світла, щоб не перегрітись і не загинути [43]. Якщо у разі перевантаження ящика відчувається неприємний запах, то це означає, що субстрат надто сирий. Тоді необхідно менш інтенсивно додавати органічний матеріал, щоб черв'яки встигали за вами. Нижча за 30–35% вологість гальмує розвиток черв'яків, а за вологості 22% вони гинуть впродовж тижня. Слід уникати надмірного зволоження, оскільки черв'яки можуть просто потонути.

Провітрювання. Дощові черв'яки можуть жити за відносно низького вмісту кисню в середовищі проживання, і навіть виживати у воді, якщо там присутній розчинений кисень. Проте, якщо кисень відсутній зовсім, то черв'яки можуть загинути. Кисень може вичерпатися, якщо перестаратись з

поливом і у випадку надмірно великої кількості свіжого корму. Скоротивши полив, припинивши подання свіжого корму та перевертаючи субстрат, можна домогтися оптимального вмісту кисню. Перемішувати субстрат рекомендується один раз у 2–3 тижні.

Кислотність (pH). Значення рН вказує на те, чи є ґрунт кислим (1–6), нейтральним (7) або лужним (8–14). Дощові черв'яки комфортно почуваються у діапазоні показників кислотності від 4,2 до 8. Для комерційного виробництва рівень кислотності повинен підтримуватись від 6,8 до 7,2. Існує багато способів перевірки рівня кислотності; від лакмусового паперу до спеціального приладу. Вимірювати рівень кислотності бажано один раз у тиждень на глибині 10–20 см і один раз у місяць у всьому шарі субстрату. Підвищену кислотність можна виправити за допомогою вапна (кальцію карбонат), перемішавши його зі субстратом, понижену — за допомогою моху (бажано з торфовищ, але можна й лісового). Додавати його необхідно до тих пір, доки значення рН не підніметься до 6,8–7,2 [5].

Дотримання даних рекомендацій сприяє активному росту та розмноженню дощових черв'яків за максимального споживання корму, що призводить до прискорення переробки органічної фракції відходів, збільшення виходу біомаси черв'яків [4, 58]. Проте, *Eisenia fetida*, як й інші види дощових черв'яків, дуже чутливі до аміаку та не можуть виживати в органічних відходах, що містять аміак, наприклад, у свіжій підстилці домашньої птиці. Дощові черв'яки гинуть і в органічних відходах за підвищених концентрацій неорганічних солей. Аміак і неорганічні солі мають дуже гострі порогові токсичні значення для дощових черв'яків [21].

2.2.2. Методи дослідження субстрату та біогумусу

2.2.2.1. Метод визначення вологи та сухого залишку

Підготування проб

Випарювальні чаші або бюкси попередньо висушують у сушильній шафі за температури 105–110°C до постійної маси та зважують з похибкою не більше 0,1 г.

Визначення масової частки вологи

Наважку добрива поміщають у фарфорову чашу або бюкс і ставлять у сушильну шафу, попередньо нагріту до температури 105–110°C та висушують впродовж п'яти годин. Далі чашу або бюкс з наважкою виймають з сушильної шафи, охолоджують на повітрі впродовж 30 хвилин і зважують. Кожне наступне зважування проводять після висушування впродовж 30 хвилин і охолодження чаші з наважкою на повітрі впродовж 30 хвилин.

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

Визначення масової частки сухого залишку

Наважку органічного добрива поміщають у фарфорову чашу. Чашу з наважкою поміщають на водяну баню та випаровують насуху за періодичного помішування скляною паличкою. Потім чашу переносять у попередньо нагріту сушильну шафу та висушують за температури 105–110°C до постійної маси. Перше зважування проводять через 1 годину, повторне — через 30 хвилин. Кожен раз перед зважуванням чашу з наважкою охолоджують на повітрі впродовж 30 хвилин.

Масову частку сухого залишку вираховують у відсотках за формулою 2.1:

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де:

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

m_2 — маса чаші зі скляною паличкою, г;

m — маса наважки, г.

Масову частку вологи у відсотках вираховують за формулою 2.2 або 2.3:

$$X_1 = \frac{m_3 - m_4}{m} \cdot 100, \quad (2.2)$$

де:

m_3 — маса чаші або бюксу з наважкою до висушування, г;

m_4 — маса чаші або бюксу з наважкою після висушування, г;

m — маса наважки, г.

$$X_1 = 100 - X, \quad (2.3)$$

де X — масова частка сухого залишку, %.

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

2.2.2.2. Метод визначення відсоткового вмісту золи у субстраті

Для визначення відсоткового вмісту золи у субстраті використовувався метод визначення сирі золи. Суть методу полягає у визначенні маси залишку після спалювання та наступного прожарювання проби.

Підготування тиглів

Тигель прожарюють у печі за температури 525 ± 25 °С упродовж двох годин, охолоджують в ексикаторі та зважують на вагах II класу точності. Цей процес повторюють, прожарюючи тигель впродовж 30 хвилин, до досягнення постійної маси тигля, тобто різниця результатів двох послідовних зважувань не повинна перевищувати 0,001 г. Прожарений та доведений до постійної маси тигель зберігають в ексикаторі над кальцієм хлоридом.

Проведення дослідів

У висушений до постійної маси тигель поміщають досліджувану пробу, масою приблизно 0,5–2,0 г (кількість золи, яку визначають, повинна становити не менше, ніж 50 мг). Пробу вкладають у тигель без ущільнення для того, щоб у

її нижні шари поступав кисень повітря. Пробою заповнюють не більше, ніж половину тигля.

Тигель з пробою зважують з точністю до 0,001 г, далі його поміщають у холодну піч і підвищують температуру до 200–250°C (до появи диму). Допускається проводити попереднє спалювання проби біля відкритої дверки муфелю, нагрітого до темно-червоного розжарювання (525 ± 25 °C), на електричній плитці або газовому пальнику, у витяжній шафі, уникаючи займання проби.

Після припинення виділення диму температуру печі доводять до 525 ± 25 °C і прожарюють тигель з пробою впродовж чотирьох – п'яти годин. Відсутність часточок вугілля та рівномірний сірий колір золи вказують на повне оголення матеріалу.

За наявності часточок вугілля тигель зі золою охолоджують на повітрі, додають декілька крапель дистильованої води та 1–2 см³ 3%-вого розчину перекису водню. Вміст тигля випаровують у сушильній шафі, на електроплитці або іншим способом. Тигель поміщають у піч і прожарюють за температури 525 ± 25 °C упродовж однієї години. По закінченні прожарювання тигель зі золою охолоджують у вимкненій печі, потім в ексікаторі та зважують. За необхідності подальше прожарювання тигля зі золою за вищевказаної температури проводять упродовж 30 хвилин, охолоджують в ексікаторі та зважують. Постійність маси вважається досягнутою, якщо різниця результатів двох послідовних зважувань становить не більше, ніж 0,001 г.

Обробка результатів

Масову частку сирієї золи (X) у відсотках у досліджуваній пробі вираховують за формулою 2.4:

$$X = \frac{G_1 - G_2 - G_3}{G} \cdot 100, \quad (2.4)$$

де:

G_1 — маса тигля зі золюю, г;

G_2 — маса тигля, г:

G_3 — маса золи паперових фільтрів (береться за етикеткою на фільтрі), г;

G — маса досліджуваного продукту, г.

За кінцевий результат дослідіу приймають середньоарифметичне значення двох паралельних визначень. Результат виражають із точністю 0,1% (т / т).

2.2.2.3. Визначення активної кислотності (рН)

Суть методу полягає у потенціометричному вимірюванні активності йонів гідрогену у водному екстракті субстрату.

Проведення дослідіу

У підготовані водні екстракти субстрату поміщають скляний електрод і сольовий контакт електроду порівняння. Після остаточного встановлення потенціалу знімають показники зі шкали приладу. Показники приладу зчитують із похибкою до 0,05 од. рН. Електроди під час перенесення з однієї проби в іншу обмивають дистильованою водою та підсушують фільтрувальним папером.

Обробка результатів

За остаточний результат дослідіу приймають середнє арифметичне значення результатів двох паралельних визначень, допустимі розбіжності між якими не повинні перевищувати 0,15 од. рН.

2.2.2.4. Методи визначення вмісту нітрогену та сирого протеїну

Суть методу визначення нітрогену за К'ельдалем полягає у мінералізації органічної речовини проби киплячою сірчаною кислотою у присутності каталізатора з утворенням сірчаноокислого амонію, додаванні до охолодженого мінералізату надлишку гідроксиду натрію для виділення амонію, відгонці та титруванні виділеного аміаку, обчисленні масової частки нітрогену в досліджуваній пробі й перерахунку на масову частку сирого протеїну [80].

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Дослідження субстрату для вермикультивування популяцій дощового каліфорнійського черв'яка *Eisenia fetida*

Біогумус або копроліт є продуктом переробки черв'яками деяких органічних відходів. Він багатий на поживні гумінові речовини, містить макро- і мікроелементи, які збалансовані між собою, та перевершує традиційні добрива за впливом на ріст, розвиток і врожайність сільськогосподарських культур [44]. У нашому експерименті в якості субстрату використовували відходи від виробництва печериць і глив. Попередньо були вивчені параметри даних відходів.

Таблиця 3.1

Початкові показники субстрату

Вид субстрату	pH, од.	Вологість, %	Масова частка нітрогену, %	Масова частка золи, %
Мульча гливи	4,89 ± 0,01	78,3 ± 0,02	0,30 ± 0,05	1,5 ± 0,01
Мульча печериць	4,85 ± 0,01	80,1 ± 0,04	0,28 ± 0,05	1,5 ± 0,01

Для даного експерименту були використані дві різні мульчі грибів: мульча гливи та мульча печериць. У ході проведення досліджень було одержано кількісні дані pH, вологості, вмісту нітрогену та вмісту золи у даних субстратах. За результатами активної кислотності, масової частки золи та нітрогену обидва субстрати не відрізнялись один від одного, відмінності були статистично не підтверджені ($p > 0,5$). Показник активної кислотності (pH) знаходився на нижній межі параметрів, які потрібні для проведення вермикультивування, що передбачає постійний контроль над величиною pH під час процесу. Вологість мульчі печериць була на 2,3% вищою, ніж у мульчі з-під

виробництва глив ($p < 0,001$). Однак, обидва значення відповідали вимогам, необхідним для вермикультивування.

На основі цих результатів було продовжено дослідження впливу різних субстратів на ріст біомаси дощового каліфорнійського черв'яка *Eisenia fetida* та одержання кінцевого продукту — біогумусу (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Біогумус, одержаний за допомогою дощового каліфорнійського черв'яка *Eisenia fetida*

3.2. Вплив різного субстрату на ріст біомаси дощового каліфорнійського черв'яка *Eisenia fetida*

Для проведення досліджень органічні субстрати були попередньо підготовані за наступними параметрами: оптимальна вологість — 70–85 %, температура — 18–20°C, рН — 5.

Вермикультура була підготована для розміщення у субстрати у кількості по 100 черв'яків / 1 кг субстрату, визначена їх загальна маса та, виходячи з цього, обчислена середня маса одного черв'яка. Після цього черв'яків розміщували у субстрат. Ефективність процесу вермикультивування оцінювали впродовж одного місяця за кількістю черв'яків у субстраті. Також оцінювали появу коконів у субстратах під час вермикультивування.

Одержані результати відображено на рисунку 3.2.

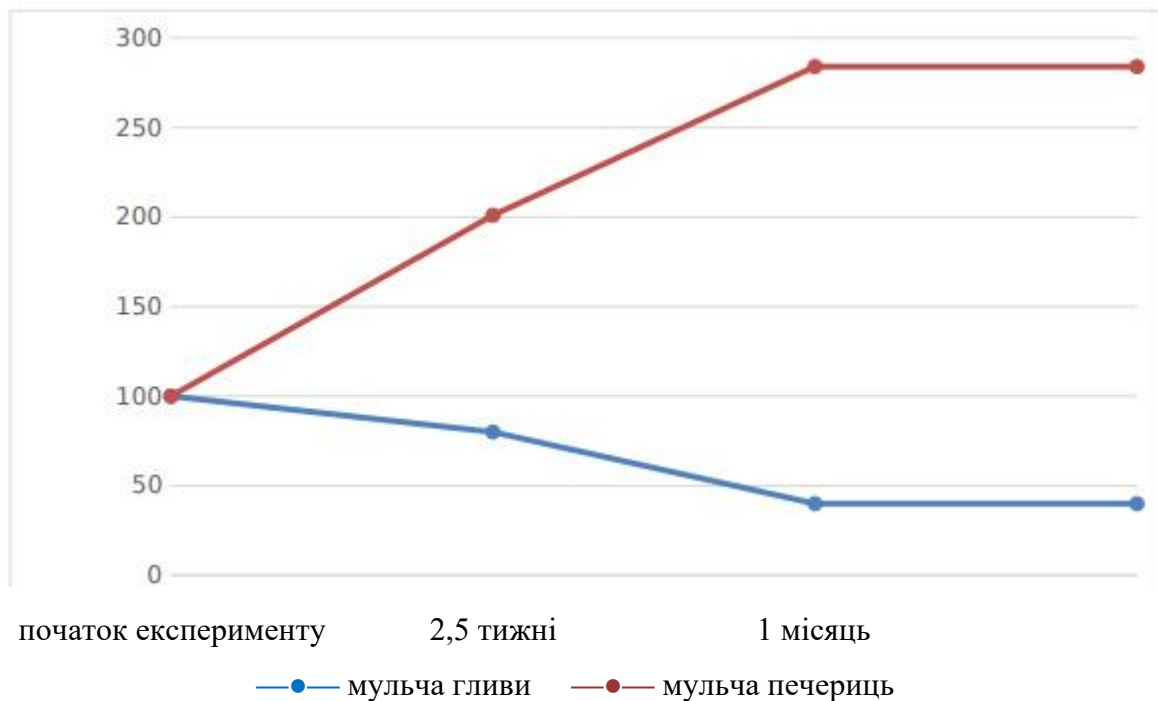


Рис. 3.2. Динаміка кількості вермикультури у субстратах

У субстраті з мульчі від печериць спостерігалась стійка динаміка кількісного росту черв'яків: через 2,5 тижні після початку експерименту — в 2 рази, а через 1 місяць — майже в 3 рази. Крім цього, в субстраті були виявлені кокони вермикультури.

По-іншому поводи́ла себе вермикультура з відходів від виробництва гливи. Кількість черв'яків поступово знижувалась, хоча й не так явно, як у рослинних відходах. Мабуть такий вид субстрату повинен розбавлятися більш підходящим, класичним, наприклад перегнилим гноєм ВРХ або торфом.

Таким чином, з використовуваних субстратів найбільш придатним для вермикультивування виявились відходи від виробництва печериць, де відбувалось стабільне збільшення кількості черв'яків.

3.3. Показники субстратів після проведення вермикультивування

Через один місяць вермикультивування були досліджені параметри хімічного складу досліджуваних субстратів. Результати досліджень представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Показники субстрату через один місяць вермикультивування

Вид субстрату	pH, од.	Вологість, %	Масова частка нітрогену, %	Масова частка золи, %
Мульча гливи	$7,84 \pm 0,01$	$75,5 \pm 0,05$	$0,61 \pm 0,07$	$4,6 \pm 0,02$
Мульча печериць	$7,74 \pm 0,01$	$74,7 \pm 0,05$	$0,60 \pm 0,07$	$9,9 \pm 0,03$

Як видно з таблиці, після закінчення одного місяця вермикультивування дані про вологість, рН, вміст нітрогену та вміст золи у вказаних субстратах зазнали змін. Початкове значення рН було нижчим по відношенню до кінцевих результатів у субстраті з мульчі гливи в 1,6 разів, аналогічно, як і в субстраті з мульчі печериць ($p < 0,001$). Отже, вермикультивування стабілізує активну кислотність у більш лужне середовище за рахунок біотехнологічних процесів і утворення копроліту, що має нейтральне середовище.

Так як вологість субстратів під час експерименту штучно не підвищували, то вона також знизилась на декілька відсотків: у субстраті з мульчі від гливи — на 3,6% ($p < 0,001$), у субстраті з мульчі від печериць — на 7,1% ($p < 0,001$). Однак, загалом показники вологості відповідали нормам для проведення вермикультивування (70–80 %).

Масова частка нітрогену в обох субстратах збільшилась за час проведення вермикомпостування практично в 2 рази ($p < 0,001$). Це відбувалось у результаті накопичення нітрогенвмісних речовин після обробки компостів черв'яками. Так як нітроген — це необхідний елемент для росту та розвитку рослин, то біологічна цінність субстратів-відходів у рази збільшувалась після процесу вермикомпостування. Між субстратами після проведення дослідів вірогідних різниць не спостерігалось ($p > 0,5$).

Масова частка золи стала у рази вищою після вермикомпостування вихідних субстратів впродовж одного місяця. Зокрема, у субстраті від виробництва гливи відмічалось підвищення у 3 рази ($p < 0,001$), а в субстраті від виробництва печериць — у 6,5 разів ($p < 0,001$). Таким чином, накопичення мінеральних речовин інтенсивніше проходило під час вермикомпостування мульчі печериць. Це також може бути пов'язано з посиленням накопиченням вермикультури у субстраті, яке спостерігалось у даному зразку органічних відходів.

Порівнюючи обидва види субстратів, необхідно відмітити, що масова частка нітрогену в них статистично не відрізнялась ($p > 0,5$), а рівень

мініралізації одержаного копроліту в субстраті з мульчі печериць був у 2 рази вищим ($p < 0,001$).

3.4. Аналіз результатів

Вермитехнологія — це найбільш екологічно безпечна для навколишнього середовища біотехнологія переробки та утилізації біодеградуючих органічних відходів з отриманням продукції з додатковою вартістю, що є економічно вигідним процесом [49].

Біогумус або копроліт є продуктом переробки черв'яками деяких органічних відходів. Він збагачений біологічно активними речовинами та перевершує традиційні органічні добрива за дією на ріст, розвиток і врожайність сільськогосподарських культур [50]. Одночасно процес утворення біогумусу супроводжується утилізацією органічних відходів, які у величезній кількості накопичуються на виробництвах сільського господарства. Ще один затребуваний продукт, що одержується у процесі вермикультивування — це біомаса черв'яків, яка може успішно використовуватись у якості протеїнової добавки в годівлі тварин, птиці та риби [42, 60].

Результати досліджень показали, що використання відходів грибівництва, зокрема мульчі печериці та гливи, в якості компонента органічного субстрату після одномісячного періоду попереднього компостування підвищує ефективність процесів мініралізації органічних відходів і призводить до збільшення кількості нітрогену, як основного джерела живлення рослин.

При цьому, найбільш ефективним, як показали проведені нами дослідження, виявилось використання мульчі печериці. Спостерігалася стійка динаміка кількісного росту черв'яка під час процесу вермикультивування (через 2,5 тижні після початку експерименту — в 2 рази). Вихід біомаси черв'яків *Eisenia fetida* до кінця експерименту (через 1 місяць) збільшувався майже у 3 рази. Крім цього, у субстраті були виявлені кокони черв'яків, що

свідчить про подальшу стійкість розвитку вермикультури у даному виді субстрату.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізувавши досвід використання відходів сільського господарства у якості субстрату в процесах вермикомпостування та вермикультивування, підсумовуємо, що необхідно тривалий період попередньої підготовки субстрату (не менше одного місяця) до повного припинення процесів бродіння низькомолекулярних цукрів і появи плісняви для запобігання масової загибелі черв'яків. Окрім цього, необхідно дотримуватись чітких умов для проведення даних процесів.
2. Серед досліджуваних видів відходів грибівництва мульча печериці забезпечує оптимальний рівень живлення для розвитку вермикультури. У даному субстраті спостерігалася стійка динаміка кількісного росту черв'яків: через 2,5 тижні після початку експерименту — в 2 рази, а через 1 місяць — у 3 рази.
3. Доказано, що процес вермикомпостування мульчі печериць був також більш ефективним, ніж мульчі гливи, так як одержаний копроліт характеризувався більш нейтральним середовищем, дещо меншою вологістю (на 1%) та більш високим ступенем мінералізації (у 2 рази).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Апостолок С. О., В. С. Джигирей, І. А. Соколовський та ін. Промислова екологія : навч. посіб. 2-ге вид., виправл. і доповн. Київ: Знання, 2012. 430 с.
2. Джигирей В. С. Основи екології та охорона навколишнього середовища : навч. посіб. 5-те вид., виправл. і допов. Київ : Знання, 2007. 422 с.
3. Горова А. І., Лисицька С. М., Павличенко А. В., Скворцова Т. В., Біотехнології в екології: навч. посібник. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2012. 184 с.
4. Шарга Б. М., Ніколайчук В. І., Мага І. М. Вермикультура / Метод. рекомендації, 2006. 101 с.
5. Торгоня В. С. Дослідження й обґрунтування прийнятих параметрів біотехнологічного процесу вермикультивування та обладнання для його реалізації. Науковий вісник НУБіП України. 2009. Вип. 134, ч. 1. С. 145–152.
6. Parfitt J., Barthel M., Macnaughton S. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Phil. Trans. Biol.*, 2010. 365 p. doi: 10.1098/rstb.2010.0126.
7. Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., R. van Otterdijk & A. Meybeck // Global food losses and food waste — extent, causes and prevention. Rome, 2015. URL: <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>.
8. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security // Greening the economy with agriculture. Rome, 2016. URL: <http://www.fao.org/docrep/015/i2745e/i2745e00.pdf>.
9. Седікова І. О., Дьяченко Ю. В. Шляхи зниження продовольчих втрат та харчових відходів // Економіка харчової промисловості. 2019. Т. 11, вип. 4. С. 98–104. doi: 10.15673/be.v11i4.1552.
10. ДСанПіН 4.4.2.030-99. Державні санітарні правила і норми захисту продовольчої сировини та продуктів харчування від забруднення нітрозамінами.

11. ДСанПіН 4.4.5-078-2001. Мікробіологічні нормативи та методи контролю продукції громадського харчування.
12. Радовенчик В. М., Гомеля М. Д. Тверді відходи: збір, переробка, складування / Навчальний посібник. Київ: Кондор, 2010. 552 с.
13. ДСТУ 4161-2003. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги.
14. ДСП 4.4.5.078 "Мікробіологічні норми та методи контролю продукції громадського харчування" (Затверджені Головним державним санітарним лікарем України 7 листопада 2001 р.).
15. Поводження з харчовими відходами — глобальна проблема сьогодення. Всеукраїнська екологічна ліга: веб-сайт. URL: <https://www.ecoleague.net/pres-tsentr-vel/novyny/2019-rik/zhovten/item/1706-povodzhennia-zkharchovymy-vidkhodamy-hlobalna-problem-a-sohodennia>.
16. Головка М. П., Власенко І. Г., Головка Т. М., Семко Т. В. Гігієна та санітарія переробних підприємств: навчальний посібник. – Харків : Світ книг, 2022. 218 с.
17. Ресторани та кафе утилізують їжу через додатки: веб-сайт. URL: <https://dialogue.techtoday.in.ua/toogoodtogo/>.
18. Мікробіологія харчових виробництв / за ред. Пирог Т. П. Навчальний посібник. Вінниця : Нова книга, 2007. 464 с.
19. Виговська Г. П., Власюк Т. В. Пріоритетні напрями використання відходів діяльності закладів громадського харчування. Екологічні науки № 3 (26). С. 147–153.
20. Дивань Т.М., Мазур Т. Н. Безпека продовольчої сировини : підручник / Київ : ВЦ «Академія». 2011. 520 с.
21. Вермикультивування на присадибних і дачних ділянках та в домашніх умовах / під ред. Мельника І. П. Івано-Франківськ : асоціація «Біоконверсія», 2006. 28 с.
22. Кірюхіна Д. В. Удосконалення технології утилізації рідких відходів виробництва // Еколого-енергетичні проблеми сучасності : зб. наук. пр. XVIII

Всеукр. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, Одеса, 13 квіт. 2018 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2018. С. 36–37.

23. Абашина К. О., Хандогіна О. В. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Утилізація промислових відходів» (для студентів 6 курсу денної форми навчання спеціальності 8.17020201 – Охорона праці (за галузями)). Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 58 с.

24. Гетта О. С. Підвищення екологічної безпеки харчових виробництв шляхом очищення та утилізації рідких відходів [Електронний ресурс] : дис. ... д-ра філософії : спец. 101 : галузь знань 10 / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Харків, 2021. 125 с.

25. Царенко О. М., Насветов О. О., Кадацький М. О. Основи екології та економіка природокористування : навч. посібник. Сузми : Університетська книга, 2001. 324 с.

26. Кожухар В. Я., Брем В. В., Даштренко І. В., Тимошевська Л. В. Методи очистки та переробки викидів та відходів : навчальний посібник / Одеса: ОП, 2021. 222 с.

27. Gobal C., Müller C. Food waste in the Swiss food service € industry e magnitude and potential for reduction // Waste Manag. 2015. Vol. 35. P. 218-226. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.015> (дата звернення 28.10.21). doi: 10.1016/j.wasman.2014.09.015.

28. Каратєєва О. І. Технологія переробки побутових відходів й відходів сільського господарства : МНАУ, 2018. 190 с.

29. AO. Greening the economy with agriculture. Rome, 2012. URL: <http://surl.li/bajap>.

30. Tefera T. K., Kanampiu F. D., De Groot H. G. The metal silo: an effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers' food security in developing countries // Crop Protection. 2015. Vol. 3, №. 30. P. 240–245. doi: 10.1016/j.cropro.2010.11.015.

31. Кількість сільськогосподарських тварин. Архів 2022. URL: http://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2022/sg/ksgt/arh_ks_gt2022_u.html.
32. Kumar R. R., Park B. J., Cho J. Y. Application and environmental risks of livestock manure. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 2013. Vol. 56, № 5. P. 497–503. DOI:<https://doi.org/10.1007/s13765-013-3184-8>.
33. ДСТУ 7527:2014 Послід птиці.
34. Manure management and soil biodiversity: Towards more sustainable food systems in the EU / J. Köninger et al. *Agricultural Systems*. 2021. Vol. 194. P. 103251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103251>.
35. Природоохоронні біотехнології: Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія», освітньої програми «Біотехнології» / уклад.: М. Ю. Козар, О. Я. Боровик. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 55 с.
36. Біоконверсія органічних відходів: теорія і практика / М. С. Слободяник та ін. Ніжин: Видавель ПП Лисенко М. М., 2015. 208 с.
37. ДСТУ 4884:2007. Добрива органічні та органо-мінеральні. Терміни та визначення понять. Вид. офіц. Київ, 2007. 88 с.
38. Волкогон В. В., Дімова С. Б., Деркач С. М., М'ягка М. В. Спосіб переробки пташиного посліду за участі асоціації грибів *Trichoderma harzianum* 128. *Аграрна наука — виробництву*. 2017. № 1. С. 12.
39. Деркач С. М., Дімова С. Б., М'ягка М. В., Волкогон В. В. Біокомпост на основі пташиного посліду як засіб оптимізації продукційного процесу сільськогосподарських культур. *Агрохімія і ґрунтознавство : міжвідомчий тематичний науковий збірник. Спеціальний випуск до XI з'їзду ґрунтознавців та агрохіміків України (м. Харків, 17–21 вересня 2018 р.)*. Харків, 2018. С. 155–156.
40. Сенчук М. М. Технологічне проектування в органічному виробництві: Навчально-методичний посібник для самостійної роботи та практичних занять студентів агробіотехнологічного факультету. Біла Церква, 2020. 94 с.

41. Природні і штучні біоплато: фундаментальні і прикладні аспекти: монографія / В. Д. Романенко, Ю. Г. Крот, Т. Я. Киризії та ін. Київ : Наук. думка, 2012. 110 с.
42. Mohanta K. N., Subramanian S., Korikanthimath V. S. Potential of earthworm (*Eisenia foetida*) as dietary protein source for rohu (*Labeo rohita*) advanced fry. *Cogent Food & Agriculture*. 2016. Vol. 2, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1138594>.
43. Edwards C. A., Arancon N. Q., Sherman R. L. Vermiculture technology: Earthworms, organic wastes, and environmental management. Boca Raton, Fla : CRC Press, 2010. 601 p.
44. Сендецький В. М. Переробка органічних відходів у біогумус методом вермікульттивування // Збірник наукових праць ННЦ "Інститут землеробства УААН". 2009. № 1. С. 50–55.
45. Technika pro zpracování odpadů II : підручник / P. Junga. Mendelova univerzita v Brně, 2015. 154 с.
46. Biological Waste Treatment / W. Bidlingmaier et al. Orbit science. DOI: <https://www.orbit-online.net/index.php/students/biological-wastetreatment>.
47. Соцько С. П., Пушкарева-Бездиль Т. М., Суханова І. П., Василенко О. В., Проблема утилізації опавшого листя в містах і відходів тваринницьких ферм і шляхи його рішення // У.: Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2017. № 1–2 (27). С 143–154.
48. Sinha R. Organic Farming by Vermiculture: Producing Safe, Nutritive and Protective Foods by Earthworms (Charles Darwin's Friends of Farmers). *American Journal of Experimental Agriculture*. 2011. Vol. 1, № 4. P. 363–399. DOI: <https://doi.org/10.9734/ajea/2011/519>.
49. Герасименко В. Г., Харчишин В. М. Інтенсифікація процесів утилізації відходів сільськогосподарського виробництва шляхом впровадження біотехнології вермікульттивування. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2004. Вип. 73, ч. 1. С. 33–38. <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/7798>.

50. Буцзяк В.В. Використання біогумусу для підвищення родючості ґрунту і одержання екологічнобезпечної продукції // Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. Гжицького : зб. наук. праць. Львів : Вид-во ЛНУВМБТ ім. Гжицького. 2012. Т. 14, № 2 (52), ч. 3. С. 33–36.

51. Das S., Goswami L., Bhattacharya S. S. Vermicomposting. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. 2020. P. 79–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64309-4.00003-9>.

52. Munroe G. Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture. Publication of Organic Agriculture Centre of Canada, Nova Scotia. 2007. 56 p.

53. State-of-the-Art and New Perspectives on Vermicomposting Research. Earthworm Ecology. 2004. P. 415–438.

54. Vermicomposting of livestock manure as affected by carbon-rich additives (straw, biochar and nanocarbon): A comprehensive evaluation of earthworm performance, microbial activities, metabolic functions and vermicompost quality / Y. Cao et al. Bioresource Technology. 2021. Vol. 320. P. 124404. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124404>.

55. Assessment of a Cattle Manure Vermicomposting System Using Material Flow Analysis: A Case Study from Uganda / Jjagwe et al. Sustainability. 2019. Vol. 11, № 19. P. 5173. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11195173>.

56. Earthworms Building Up Soil Microbiota, a Review / R. M. Medina-Sauza et al. Frontiers in Environmental Science. 2019. Vol. 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00081>.

57. Suppression of Arthropod Pests and Plant Parasitic Nematodes by Vermicomposts and Aqueous Extracts from Vermicomposts. Vermiculture Technology. 2010. P. 232–257. DOI: <https://doi.org/10.1201/b10453-19>.

58. Garg P., Gupta A., Satya S. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. Bioresource Technology. 2006. Vol. 97, № 3. P. 391–395.

59. Плуценко Г. В. “Каліфорнієць” на Сузізні // Дім, сад, город. 2007. 23 с.

60. Siyun Ding, Xiting Lin, Sanger He. Earthworms: A Source of Protein. *Journal of Food Science and Engineering*. 2019. Vol. 9, №. 5. DOI: <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2019.05.001>.
61. Monroy F., Aira M., Domínguez J. Reduction of total coliform numbers during vermicomposting is caused by short-term direct effects of earthworms on microorganisms and depends on the dose of application of pig slurry. *Science of The Total Environment*. 2009. Vol. 407, №. 20. P. 5411–5416. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.048>.
62. The Effectiveness of Vermiculture in Human Pathogen Reduction for USEPA Biosolids Stabilization / B. R. Eastman et al. *Compost Science & Utilization*. 2001. Vol. 9, №. 1. P. 38–49.
63. Сергієнко В.М. Рістрегулюючий та захисний ефект гумінових речовин // *Агробізнес сьогодні*. 2001. № 7. С. 26–29.
64. Скіп О. С., Буцяк В. І., Печар Н. П. Технологічні властивості та хімічний склад опалого листя як субстрату для вермикультивування // *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. 2011. Т. 13, № 2(48), ч. 1. С. 466–470.
65. Singh J. Role of Earthworm in Sustainable Agriculture. *Sustainable Food Systems from Agriculture to Industry*. 2018. P. 83–122.
66. Changes in physico-chemical, microbiological and biochemical parameters during composting and vermicomposting of coal fly ash: a comparative study / Z. Usmani et al. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2018. Vol. 16, № 8. P. 4647–4664.
67. Eliot E. *The Science of Composting*. CRC Press, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203736005>.
68. Пирог Т. П., Ігнатова О. А. *Загальна біотехнологія : підручник / Київ : НУХТ, 2009. 336 с.*
69. Edwards C. A. *Earthworm Ecology*. Taylor & Francis Group, 2004. 456с.

70. Цизь О. М. Культивування істівних грибів : монографія. Київ : Центр учбової літератури, 2014. 276 с.
71. Грибівництво : практикум для студентів вищих закладів освіти I—IV рівнів акредитації, які навчаються за освітньо-професійними програмами бакалавр і магістр спеціальностей «Агрономія» та «Садівництво і виноградарство» / Г. І. Лялюк, Л. М. Попова. Одеса : Астропринт, 2021. 140 с.
72. Вдовенко С. А. Вирощування істівних грибів : навч. посіб. Вінниця: Нова книга, 2010. 120 с.
73. Ковтунюк З. І., Кешкало В. В. Методичні вказівки до виконання лабораторно-практичних занять з дисципліни «Грибівництво» здобувачами вищої освіти спеціальності 203 «Садівництво та виноградарство» ОР «Бакалавр». Умань : УНУС, 2020. 47 с.
74. Ільчук Р. В., Дидів І. В., Дидів О. Й., Сидорчук С. І. Печериця двоспорова: біологія і технологія вирощування : навч. посіб. Львів : ЛНАУ, 2018. 156 с.
75. Методика проведення експертизи сортів рослин групи овочевих, картоплі та грибів на відмінність, однорідність і стабільність / за ред. Ткачик С. О. 2-ге вид., випр. і доп. Вінниця : Ф-ОП Корзун Д. Ю., 2016. 1145 с.
76. The existence of fertile hybrids of closely related model earthworm species, *Eisenia andrei* and *E. fetida* / B. Plytycz et al. PLOS ONE. 2018. Vol. 13, № 1. P. e0191711. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191711>.
77. S. Suthar and S. Singh. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*). Int. J. Environ. Sci. Technol.. 2008. Vol. 5, № 1. P. 99–106.
78. Latif R., Malek M., Csuzdi C. When morphology and DNA are discordant: Integrated taxonomic studies on the *Eisenia fetida/andrei* complex from different parts of Iran (Annelida, Clitellata: Megadrili). European Journal of Soil Biology. 2017. Vol. 81. P. 55–63.
79. Phylogenetic species delimitation of the earthworms *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* Bouché, 1972 (Oligochaeta, Lumbricidae) based

on mitochondrial and nuclear DNA sequences / M. Pérez-Losada et al. *Pedobiologia*. 2005. Vol. 49, № 4. P. 317–324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.02.004>.

80. Кучеренко М. Е., Бабенюк Ю. Д., Войцицький В. М. Сучасні методи біохімічних досліджень. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 424 с.