

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерії»

Допускається до захисту
Зав. кафедри технології кормів,
кормових добавок і годівлі тварин

 проф. Раленко В.С.
назва кафедри
підпис, вчене звання, прізвище, ініціали
« 11 » травня 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Аналіз біотехнології функціонування мікробіому при
вермикультивуванні.

Виконав: Іскра Дмитро Олегович
прізвище, ім'я, по батькові, підпис

Керівник доцент Рабенко С.П.
вчене звання, прізвище, ініціали підпис

Рецензент доцент Чубо А.Р.
вчене звання, прізвище, ініціали підпис

Я, Іскра Д.О. (ПІБ здобувача), засвічую, що кваліфікаційну
роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

Біла Церква – 2026 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Завдання на виконання кваліфікаційної роботи	
Висновок керівника на кваліфікаційну роботу	
Вступ.....	7
Розділ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	9
1.1 Вермикомпостування як екологічно безпечний спосіб переробки органічних відходів	9
1.2 Властивості вермикомпосту та способи його застосування	9
1.3 Значення мікроорганізмів у біотрансформації рослинних субстратів	12
1.4 Використання біомаси дощових черв'яків	14
1.5 Придатні види дощових черв'яків для вермикомпостування	15
1.6 Оптимальні умови функціонування вермикультури	20
1.7 Відмінності між компостуванням та вермикомпостуванням	23
1.8 Найпоширеніші методи вермикомпостування	24
Розділ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	33
Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	36
3.1 Мікробіологічне дослідження субстратів різних фаз вермикультивування	36
3.2 Ідентифікація мікробіому субстратів різних фаз вермикультивування	40
3.3 Дослідження хімічного складу одержаного біогумусу	44
3.4. Технологічна схема вермикомпостування	46
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	50

АНОТАЦІЯ

Прізвище, ініціали: Іскра Д.О.

Назва кваліфікаційної роботи: Аналіз біотехнології функціонування мікробіому при вермикультивуванні.

Досліджено. У даній кваліфікаційній роботі описано дослідження мікробіоти біогумусу та технологічну схему одержання даного добрива.

Використання екологічних добрив без додавання хімічних речовин є надзвичайно актуальним у наш час, адже у світі йде тенденція до максимального використання добрив, які не будуть мати шкідливого впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини.

Досліджуваний біогумус містить у собі 7 штамів бактерій різних родів, які є важливими складниками мікробіоти ґрунту і впливають на його родючість. Мікроорганізми також допомагають розкласти рослинні рештки у процесі вермикомпостування, що у купі із особливостями травного тракту дощового черв'яка *Eisenia Foetida* дозволяє розкласти складні сполуки до простих, які будуть легко засвоюватись рослинами. Окрім мікроорганізмів біогумус також багатий великою кількістю мікро- та макроелементів, що також є важливим для розвитку рослин.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є дослідження біогумусу, його мікробіологічного та хімічного складу, розробка технологічної схеми виробництва біогумусу.

Завдання дослідження:

1. Дослідити субстрати різних фаз вермикультивування; 4
2. Ідентифікувати мікробіом субстратів різних фаз вермикультивування;
3. Дослідити хімічний склад одержаного біогумусу;
4. Скласти технологічну схему процесу вермикультивування.

Об'єкт дослідження: біогумус, його мікробіологічний та хімічний склад, технологічний процес отримання біогумусу.

Предмет дослідження: хімічний склад біогумусу, ідентифікація колоній мікроорганізмів, які наявні у біогумусі, підбір оптимальних середовищ для ізолювання мікроорганізмів.

Кваліфікаційна робота магістра містить 52 сторінок, 4 таблиць, 16 рисунки, список використаних джерел із 25 найменувань.

Ключові слова: біогумус, колонія мікроорганізмів, мікробіом, вермикультивування.

ANNOTATION

Surname, initials: Iskra D.O.

Title of qualification work: Biotechnology analysis of microbiome functioning during vermiculture.

Researched. This qualification paper describes the study of biohumus microbiota and the technological scheme for obtaining this fertilizer.

The use of ecological fertilizers without the addition of chemicals is extremely relevant nowadays, because there is a trend in the world towards the maximum use of fertilizers that will not have a harmful effect on the environment and human health.

The studied biohumus contains 7 strains of bacteria of different genera, which are important components of the soil microbiota and affect its fertility. Microorganisms also help to break down plant remains in the process of vermicomposting, which, in combination with the digestive tract of the earthworm *Eisenia Foetida*, allows the breakdown of complex compounds into simple ones that will be easily absorbed by plants. In addition to microorganisms, biohumus is also rich in a large number of micro- and macroelements, which are also important for plant development.

The purpose and tasks of the research. The purpose of this work is the study of biohumus, its microbiological and chemical composition, the development of a technological scheme for the production of biohumus.

Tasks of the research:

1. Investigate the substrates of different phases of vermiculture; 4
2. To identify the microbiome of the substrates of different phases of vermiculture;
3. Investigate the chemical composition of the obtained biohumus;
4. Make a technological diagram of the vermiculture process.

Research object: biohumus, its microbiological and chemical composition, technological process of obtaining biohumus.

Research subject: chemical composition of biohumus, identification of colonies of microorganisms present in biohumus, selection of optimal media for isolating microorganisms.

The master's thesis contains 52 pages, 4 tables, 16 figures, a list of used sources from 25 names.

Key words: biohumus, colony of microorganisms, microbiome, vermiculture.

ВСТУП

У сучасних умовах суспільство стикається з численними проблемами, пов'язаними з утворенням, накопиченням і переробкою відходів. Їх вирішення потребує впровадження інноваційних підходів, які б дозволяли мінімізувати негативний вплив на довкілля та здоров'я людини.

У процесі виробництва продукції більшість підприємств використовує природні ресурси, що призводить до утворення значних обсягів відходів різного агрегатного стану — твердого, рідкого та газоподібного. Крім того, у технологічних процесах часто застосовуються екстремальні умови, такі як високі температури, підвищений тиск, використання хімічних каталізаторів та концентрованих реагентів, що може негативно впливати як на навколишнє середовище, так і на здоров'я людини.

Разом з тим, промислові відходи доцільно розглядати не лише як фактор забруднення, а й як потенційне джерело вторинної сировини та енергетичних ресурсів, що може бути ефективно використане за відповідних умов.

Особливу роль у вирішенні проблеми утилізації відходів відіграють біотехнологічні підходи, які забезпечують екологічно безпечну переробку органічних залишків. Одним із таких методів є вермикультивування — процес біологічної трансформації органічних відходів за участю дощових черв'яків. У результаті цього процесу утворюється біогумус — високоякісне органічне добриво, яке є екологічно безпечним і має високу поживну цінність для ґрунтів.

Біотехнологічна основа вермикомпостування пов'язана з активністю мікроорганізмів, які беруть участь у розкладанні органічної речовини. Вони сприяють перетворенню складних органічних сполук на більш прості, беруть участь у формуванні гумусу та забезпечують кругообіг біогенних елементів у ґрунті.

Дослідження мікробіологічної активності та механізмів перебігу процесів вермикомпостування дозволяє отримувати значні обсяги екологічно чистих

добрив і біопрепаратів, які можуть широко застосовуватись у сільському господарстві та садівництві.

Мета і завдання дослідження.

Метою даної роботи є вивчення біогумусу, аналіз його мікробіологічного та хімічного складу, а також розроблення технологічної схеми його виробництва.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:

1. Провести аналіз субстратів на різних етапах вермикультивування;
2. Дослідити мікробіологічний склад субстратів на різних стадіях процесу;
3. Визначити хімічні характеристики отриманого біогумусу;
4. Розробити технологічну схему процесу вермикультивування.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Вермикомпостування як екологічно безпечний спосіб переробки органічних відходів

Процес переробки органічних відходів із використанням дощових черв'яків, які застосовують їх як джерело живлення та середовище існування, називається вермикультивуванням або вермикомпостуванням. У результаті цього процесу утворюється біогумус (вермикомпост), а також збільшується біомаса самих черв'яків.

Формування біогумусу базується на здатності дощових черв'яків перетравлювати органічні залишки в травній системі з подальшим виділенням продуктів переробки у вигляді копролітів. Дощові черв'яки відіграють важливу роль у ґрунтових екосистемах, оскільки сприяють зменшенню кількості органічних решток, їх мінералізації та накопиченню поживних елементів у доступній для рослин формі.

Основним призначенням вермикомпостування є отримання натурального органічного добрива, яке використовується для підвищення родючості ґрунтів і стимулювання росту рослин. Крім того, цей метод дозволяє ефективно та безпечно переробляти побутові органічні відходи навіть у домашніх умовах.

На сьогоднішній день у світі функціонує значна кількість підприємств, які займаються вирощуванням вермикюльтури та виробництвом біогумусу в промислових масштабах. Найбільш розвинені такі виробництва у США, Канаді та Китаї, де також активно реалізуються як готова продукція, так і технологічне обладнання для її отримання.

1.2. Властивості вермикомпосту та способи його застосування

У процесі перероблення органічних відходів із використанням дощових черв'яків формується кінцевий продукт — біогумус (вермикомпост). Це субстрат, який проходить через травну систему черв'яків і виділяється у вигляді копролітів разом із частково переробленими залишками вихідної сировини.

Під час проходження через шлунково-кишковий тракт черв'яків органічні рештки, мінеральні компоненти та рослинні залишки піддаються механічному

подрібненню та складним біохімічним перетворенням. У ході цих процесів високомолекулярні органічні сполуки розщеплюються до більш простих форм, збагачуються сполуками магнію, фосфору, калію, а також ферментами. Водночас мінеральні речовини переходять у доступні для рослин форми, відбувається нейтралізація органічних кислот, що містилися у вихідному субстраті. У результаті формуються гумінові речовини, реакція яких є близькою до нейтральної.

Кінцевим продуктом життєдіяльності черв'яків є копроліти — цінний матеріал, багатий на гумусові сполуки, мінеральні елементи, біологічно активні речовини та корисну мікрофлору. За своїми фізико-хімічними властивостями біогумус максимально наближений до природного ґрунтового гумусу.

За вмістом гумусу вермикомпост суттєво перевищує традиційні органічні добрива, зокрема гній і звичайні компости — у 4–10 разів. У природних популяцій черв'яків вміст гумусу в копролітах може сягати приблизно 15 %, тоді як у спеціально культивованих видів цей показник досягає 30–35 % сухої речовини.

Біогумус демонструє вищу ефективність порівняно з традиційними органічними добривами щодо впливу на ріст, розвиток і продуктивність сільськогосподарських культур. За агрохімічними характеристиками він перевершує перегній, який широко застосовується (табл. 1.1.)

Таблиця 1.1

Порівняння агрохімічних показників біогумусу та перегною (%)

Склад	Біогумус	Перегній
Органічні речовини	45,7	23,6
Гумінові кислоти	3,3	2,3
Фульфові кислоти	2,3	0,6
Органічний вуглець	3,26	1,7
Азот	3,16	1,54
Співвідношення C:N	1,03	1,10

Вермикомпост характеризується багатим мікробіологічним складом. У ньому містяться актиноміцети, амоніфікуючі та нітрифікуючі бактерії, а також інші групи мікроорганізмів. Крім того, у складі присутні розчинні органічні та мінеральні фосфати, які сприяють формуванню стабільних мікробних угруповань, характерних для родючих ґрунтів, і пригнічують розвиток патогенної мікрофлори. У біогумусі також виявляються фітогормони, зокрема ауксини та гібереліни. Важливо, що цей продукт не має мутагенних, тератогенних або канцерогенних властивостей.

Застосування біогумусу сприяє прискоренню проростання насіння, скороченню термінів дозрівання плодів у середньому на 10–15 діб, підвищенню схожості рослин, а також покращенню їх стійкості до посухи, низьких температур, хвороб і шкідників. Він активізує розвиток кореневої системи та загальний ріст рослин.

На відміну від традиційних органічних добрив, внесення вермикомпосту не призводить до перенасичення ґрунту поживними речовинами. Це дозволяє уникнути негативних наслідків, характерних для надмірного використання гною або компосту.

Рекомендовані норми внесення біогумусу становлять приблизно 4–10 т/га для основних культур, тоді як для гною цей показник сягає 30–40 т/га. Використання вермикомпосту забезпечує підвищення врожайності: для зернових і кукурудзи — на 30–40 %, картоплі — на 30–70 %, овочевих культур — на 35–70 %.

Біогумус сприяє формуванню оптимальної структури ґрунту, покращує склад ґрунтового розчину та забезпечує збалансоване надходження поживних речовин і мікроелементів. Завдяки повільному вивільненню елементів живлення рослини отримують їх упродовж тривалого часу.

Разом із тим процес вермикультивування є досить трудомістким і потребує спеціальних знань та навичок. Обмежені обсяги виробництва та відносно висока вартість біогумусу стримують його широке застосування на великих площах. Найбільш ефективним є його використання в умовах

закритого ґрунту, а також при вирощуванні лікарських рослин, рідкісних видів і для озеленення територій.

1.3 Значення мікроорганізмів у біотрансформації рослинних субстратів

Одним із ключових чинників, що визначають рівень родючості ґрунту, є наявність і активність мікроорганізмів. Ґрунтова мікробіота характеризується значною різноманітністю та специфічністю, що зумовлює перебіг численних біологічних і біохімічних процесів у ґрунтовому середовищі. Кількісний і якісний склад мікроорганізмів, а також їх співвідношення значною мірою залежать від агротехнічних заходів, зокрема способів обробітку ґрунту та внесення органічних решток. Останні трансформуються переважно за участю неспороутворюючих бактерій і мікроскопічних грибів.

Важливу роль у ґрунтових процесах відіграє карбон, який є одним з основних елементів органічної речовини. Внесення рослинних залишків спричиняє активізацію мікробіологічної діяльності та збільшення чисельності мікроорганізмів. Це пояснюється тим, що рослинні тканини містять значну кількість целюлози — одного з найпоширеніших карбоновмісних полімерів (рис. 1.1).

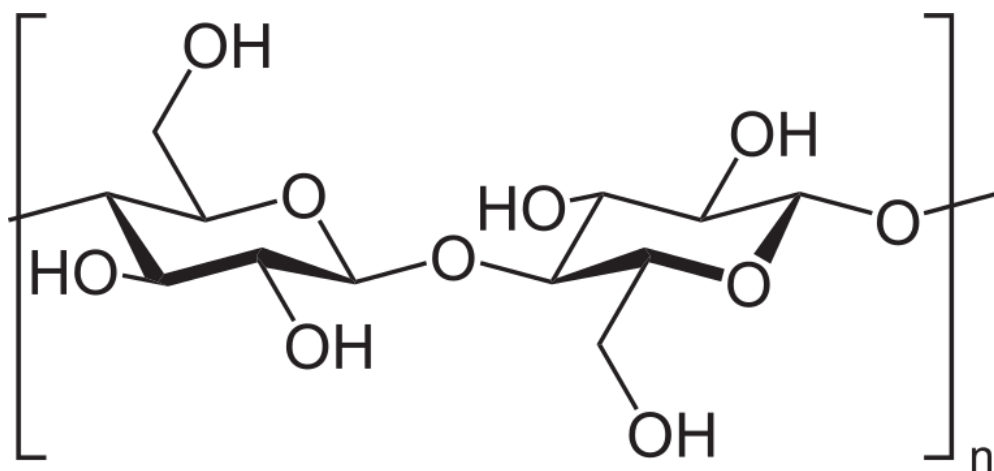


Рис 1. 1. Хімічна структура целюлози

Деградація целюлози відбувається переважно за участю грибів, зокрема представників родів *Chaetomium*, *Dicoccum*, *Penicillium* та *Aspergillus*. У процесі її розщеплення утворюються різноманітні органічні сполуки, такі як органічні кислоти, амінокислоти, спирти та інші біологічно активні речовини. Кінцевим продуктом цього процесу є глюкоза, яка слугує джерелом енергії як для рослин, так і для інших компонентів біоценозу.

Ґрунтові мікроорганізми також здатні синтезувати речовини, що стимулюють ріст і розвиток рослин. У прикореневій зоні вони продукують вітаміни (тіамін, рибофлавін, піридоксин, вітамін B₁₂) та фітогормони, які позитивно впливають на фізіологічні процеси рослинного організму, підвищуючи їх продуктивність.

Наявність полісахаридів у субстраті визначається за активністю амілолітичних мікроорганізмів. До активних продуцентів амілаз належать ґрунтові гриби, бактерії роду *Bacillus* (зокрема *Bacillus macerans* і *Bacillus subtilis*), а також актиноміцети.

Одним із основних показників родючості ґрунту є вміст гумусу. Формування та накопичення гумусових речовин значною мірою забезпечується діяльністю мікроорганізмів, які беруть участь у трансформації органічної речовини. Встановлено, що інтенсивність цих процесів зростає у напрямку від північних до південних регіонів. У південних ґрунтах переважають бактерії-деструктори целюлози, тоді як у північних більш поширені мікроскопічні гриби. Серед останніх у північних широтах домінують представники роду *Penicillium*, а в південних — *Aspergillus*, які можуть становити понад 70 % від загальної кількості мікроміцетів.

Важливе значення для кругообігу азоту має діяльність азотфіксуючих мікроорганізмів, до яких належать представники родів *Acetobacter*, *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Bacillus* та *Agrobacterium*. Вони здатні фіксувати молекулярний азот із атмосфери, переводячи його у доступні для рослин форми після відмирання клітин.

Не менш важливими є процеси мінералізації азотовмісних сполук, зокрема амоніфікація, у результаті якої утворюється амоній. Амоній, у свою чергу, слугує субстратом для нітрифікуючих бактерій, які здійснюють процес нітрифікації — послідовне окиснення амонію до нітритів і нітратів. Основними представниками цієї групи є бактерії родів *Nitrosomonas* і *Nitrobacter*.

Окрему групу становлять мікроорганізми, здатні мобілізувати фосфор із важкорозчинних сполук феруму, алюмінію та кальцію. До них належать представники родів *Pseudomonas*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Saccharomyces*, *Candida* та *Hansenula*. Їх діяльність сприяє підвищенню доступності фосфору для рослин і покращенню живлення культур.

1. 4 Використання біомаси дощових черв'яків

Одним із пріоритетних напрямів вермикультивування є отримання біомаси дощових черв'яків. Ця біомаса розглядається як відновлюваний біологічний ресурс, який може бути використаний для виробництва високоякісних білково-вітамінних кормових добавок у птахівництві, тваринництві та рибництві.

Білки тваринного походження відіграють важливу роль у забезпеченні повноцінного раціону як тварин, так і людини. Водночас висока вартість традиційних білкових кормів та постійне зростання попиту на них обумовлюють необхідність пошуку альтернативних джерел. У цьому контексті дощові черв'яки можуть виступати ефективним рішенням, забезпечуючи доступ до якісного білкового ресурсу.

Біомаса дощових черв'яків характеризується значним вмістом протеїну, що дозволяє використовувати її як безпосередньо корм, так і як сировину для виробництва кормових білкових добавок. Результати численних досліджень свідчать, що за хімічним складом тканини черв'яків мають подібність до тканин хребетних тварин. Амінокислотний склад включає всі необхідні незамінні амінокислоти, що відповідає вимогам до кормів для сільськогосподарських тварин, птиці та риби.

Особливо цінним є високий вміст лізину, а також збалансовані комбінації метіоніну з цистеїном і фенілаланіну з тирозином — компонентів, які є критично важливими для повноцінного харчування тварин. Окрім цього, біомаса містить широкий спектр вітамінів, зокрема нікотинову кислоту та інші біологічно активні сполуки.

Залежно від способу переробки, з біомаси черв'яків отримують пастоподібні продукти або суху білкову муку. Альтернативним варіантом є використання живих черв'яків як корму без попередньої обробки, що широко застосовується у рибництві.

Включення вермикультури до складу кормових раціонів може розглядатися як ефективний спосіб забезпечення тварин повноцінними поживними речовинами — білками, жирами та вуглеводами. При цьому борошно з біомаси черв'яків здатне частково або повністю замінювати традиційні джерела білка, такі як рибне або м'ясо-кісткове борошно.

1.5 Придатні види дощових черв'яків для вермикомпостування

Дощові черв'яки належать до макроскопічних кільчастих червів підкласу олігохет, які мешкають у ґрунтовому середовищі. Їх тіло сегментоване, має двобічну симетрію та оснащене спеціалізованими структурами, зокрема залозами, що утворюють кокон (яєчну капсулу), чутливою передньою частиною (простоміумом) і анальним отвором на задньому кінці. На кожному сегменті розташовані дрібні щетинки, що забезпечують рух (рис. 1.2).

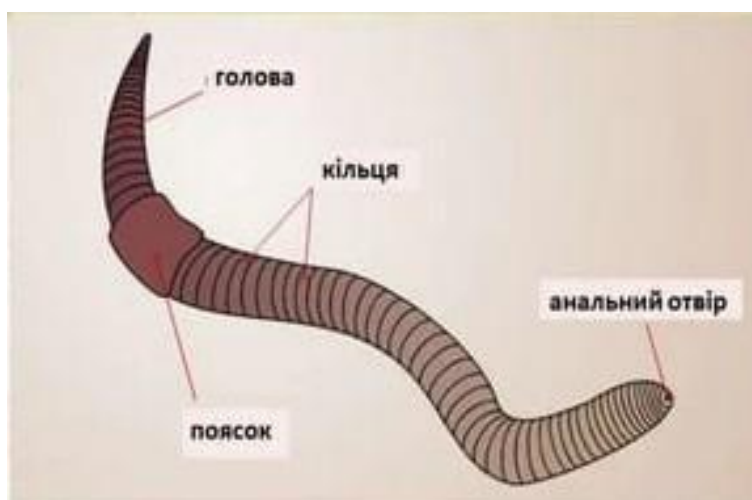


Рис. 1.2 Будова дощового черв'яка

Дощові черв'яки є гермафродитами, однак їх розмноження відбувається шляхом перехресного запліднення. Після копуляції кожна особина формує кокони, у яких може міститися від 1 до 20 запліднених яєць (рис. 1.3).

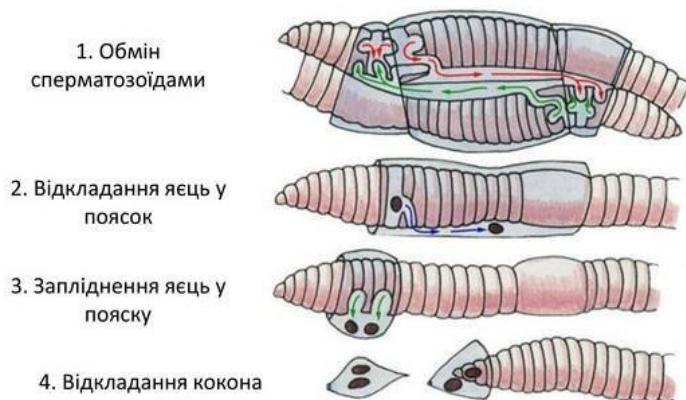


Рис. 1.3 Розмноження дощових черв'яків

Кокони мають характерну форму, що залежить від виду, і часто нагадують за виглядом невеликі лимони. Відкладання коконів зазвичай відбувається у верхніх шарах ґрунту, проте за несприятливих умов, зокрема під час посухи, вони можуть переміщуватися у глибші горизонти.

Тривалість інкубаційного періоду варіює залежно від виду черв'яків і умов довкілля. Молоді особини, що вилуплюються, мають невеликі розміри та позбавлені пігментації, яка формується протягом кількох діб після появи.

За літературними даними, підклас олігохет включає понад 8300 видів, з яких близько половини становлять наземні дощові черв'яки [5].

Найбільш придатними для вермикультивування є так звані епігейні види, які живуть у верхніх шарах ґрунту. Вони відзначаються здатністю ефективно переробляти органічні відходи, швидко адаптуються до змін умов середовища, мають короткий життєвий цикл, високу плодючість і значну витривалість. Хоча лише окремі види поєднують усі ці властивості, на практиці найчастіше використовують обмежене коло: *Eisenia andrei*, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena veneta*, а також рідше *Perionyx excavatus* і *Eudrilus eugeniae*. Їх біологічні особливості та оптимальні умови вирощування наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Характеристика та оптимальні умови життєдіяльності різних видів дощових черв'яків

Колір	<i>Eisenia foetida</i>	<i>Eisenia andrei</i>	<i>Dendrobaena rubida</i>	<i>Dendrobaena veneta</i>	<i>Drawida nepalensis</i>	<i>Eudrilus eugeniae</i>	<i>Perionyx excavatus</i>	<i>Lumbricus rubellus</i>
	Коричневий	Червоний	Червоно-фіолетовий	Червоний з фіолетовими кільцями	-	Червоно-коричневий	Червоно-коричневий	Червоно-коричневий
Розмір дорослої особини, мм	4-8мм × 50-100мм	4-8мм × 50-100мм	3-4мм × 35-60 мм	5-7мм × 50-80 мм	-	5-7мм × 80-190мм	4-5мм × 45-70мм	4мм × 70-150мм
Середня вага дорослої особини, г	0,55	0,55	0,25	0,92	0,82	2,7 – 3,5	0,5 – 0,6	0,80
Дозрівання, дні	28 – 30	21 – 28	54	65	34 – 42	40 – 49	28 – 42	74 – 91
Середня вага кокону, г	4,85мм × 2,82мм	4,8мм × 2,82мм	3,19мм × 1,97мм	3,14мм × 1,93мм	-	-	-	3,5 – 2,46
Період інкубації, дні	18 – 26	18 – 26	15-40	42,1	24	12 – 16	18	35 – 40
Життєздатність інкубації, %	73-80	72	85	20	75 – 88	75 – 84	90	60 – 70
Кількість коконів з черв'яками (⁻¹)	2,5 – 3,8	2,5 – 3,8	1,67	1,10	1,93	2 – 2,7	1 – 1,1	1
Життєвий цикл, дні	45 – 51	45 – 51	75	100-150	100 – 120	50 – 70	40 – 50	120 – 170
Діапазон комфортної температури, °C	0 – 35	0 – 35	-	15-25	-	16 – 30	25 – 37	-
Оптимальна вологість, %	70 – 90	70 – 90	-	65-85	-	70 – 85	-	-

У процесі перероблення органічних відходів за участю дощових черв'яків формується кінцевий продукт – вермикомпост, або біогумус. Цей субстрат являє собою масу, що пройшла через травну систему черв'яка і була виділена у вигляді копролітів разом із частково трансформованими залишками вихідної сировини.

Під час проходження органічної маси через шлунково-кишковий тракт черв'яків відбувається її механічне подрібнення та інтенсивні біохімічні перетворення. Складні полімерні органічні сполуки розщеплюються до більш простих компонентів, одночасно субстрат збагачується сполуками магнію, фосфору, калію, а також ферментами. У результаті цього мінеральні речовини переходять у форми, доступні для засвоєння рослинами, а кислотність вихідного матеріалу знижується. Водночас синтезуються гумінові кислоти, які характеризуються близькою до нейтральної реакцією середовища. (Рис. 1.4).



Рис 1.4 *Eisenia foetida*

Кінцевим продуктом травлення є копроліти – біологічно активний матеріал, насичений гумусовими речовинами, мінеральними компонентами та корисною мікрофлорою. За своїми фізико-хімічними властивостями біогумус подібний до природного ґрунтового гумусу.

За вмістом гумусових сполук вермикомпост значно перевищує традиційні органічні добрива, такі як гній чи звичайний компост (у 4–10 разів). Вміст гумусу в копролітах природних популяцій дощових черв'яків може досягати

приблизно 15%, тоді як у спеціально культивованих видів – до 35% сухої речовини. (Рис 1.5).



Рис 1.5 *Eisenia andrei*

Біогумус характеризується багатим мікробіологічним складом. У ньому виявляються актиноміцети, амоніфікуючі та нітрифікуючі бактерії, а також інші групи мікроорганізмів. Розчинні органічні та мінеральні фосфати сприяють формуванню стабільних мікробних угруповань, характерних для родючих ґрунтів, а також пригнічують розвиток патогенних форм. Крім того, у складі вермикомпосту присутні біологічно активні речовини, зокрема фітогормони (ауксини, гібереліни). Важливою перевагою є відсутність мутагенних, тератогенних та канцерогенних властивостей.

Застосування біогумусу позитивно впливає на рослини: стимулює проростання насіння, скорочує строки дозрівання врожаю на 10–15 діб, підвищує схожість, сприяє формуванню потужної кореневої системи, збільшує стійкість до несприятливих умов і патогенів.

На відміну від традиційних органічних добрив, використання вермикомпосту не призводить до перенасичення ґрунту окремими елементами живлення. Рекомендовані норми внесення становлять 4–10 т/га, що значно менше порівняно з гноєм (30–40 т/га). При цьому врожайність

сільськогосподарських культур може зростати: для зернових і кукурудзи – на 30–40%, картоплі – до 70%, овочевих культур – до 35–70%.

Біогумус сприяє формуванню оптимальної структури ґрунту, покращує склад ґрунтового розчину та забезпечує рослини поживними речовинами у доступній та збалансованій формі. Завдяки повільному вивільненню елементів живлення ефект його застосування є тривалим.

Разом із тим, процес вермикультивування потребує відповідних знань і практичних навичок, що робить його досить трудомістким. Висока собівартість продукції та обмежені обсяги виробництва ускладнюють використання біогумусу на великих площах. Найбільш ефективним є його застосування в умовах закритого ґрунту, а також при вирощуванні лікарських, декоративних та рідкісних рослин.

1.6 Оптимальні умови функціонування вермикультури

Інтенсивність розмноження (утворення коконів), а також швидкість росту й розвитку дощових черв'яків безпосередньо визначаються умовами навколишнього середовища. Зокрема, ключову роль відіграють фізико-хімічні характеристики субстрату.

Дощові черв'яки виду *Eisenia foetida* відзначаються високою стійкістю та здатністю адаптуватися до різних умов існування і складу органічного середовища, що обумовлює їх широке використання у вермикультивуванні. Водночас експериментальні дослідження показали, що цей вид має чітко окреслені межі толерантності до основних екологічних факторів. До них належать температура, вологість, кислотність середовища (pH), рівень аерації, а також концентрація аміаку і солей амонію.

Встановлено, що ефективна переробка органічних відходів можлива лише у відносно вузькому діапазоні оптимальних умов. Відхилення параметрів від сприятливих значень призводить до зниження активності черв'яків: вони можуть мігрувати у більш придатні зони або навіть гинути, що негативно позначається на швидкості біоконверсії субстрату.

Температура. Вермикультура *Eisenia foetida* здатна функціонувати у досить широкому температурному діапазоні. Згідно з дослідженнями, проведеними Ньюхаузером (1988), різні види дощових черв'яків демонструють оптимальний ріст і розвиток при температурі від +15 до +25 °C.

Для *E. foetida* найсприятливішою є температура близько +25 °C, тоді як допустимі межі варіюють від 0 до +35 °C. При зниженні температури нижче +10 °C спостерігається суттєве уповільнення життєвих процесів і зниження інтенсивності переробки органічної маси. За температури нижче +4 °C припиняється утворення коконів і розвиток молодих особин.

У разі дії екстремальних температур черв'яки переходять у стан зниженої активності або переміщуються у глибші шари субстрату. Хоча *E. foetida* здатні адаптуватися до холодних умов і переживати зимовий період, тривале перебування при мінусових температурах без захисту є для них летальним.

Підвищені температури також негативно впливають на вермикультуру, але опосередковано. Вони активізують мікробіологічні та хімічні процеси в субстраті, що супроводжується інтенсивним споживанням кисню. Дефіцит кисню, у свою чергу, створює несприятливі умови для існування черв'яків і може призводити до їх загибелі.

Вологість. Вологість субстрату є одним із ключових факторів, що визначають життєдіяльність дощових черв'яків. Її рівень безпосередньо впливає на темпи росту, розвитку та продуктивність переробки органічних відходів.

У системах вермикомпостування оптимальним вважається діапазон вологості від 50% до 90%. Види *Eisenia foetida* та *Eisenia andrei* здатні виживати в межах цих значень, однак найвищу активність і продуктивність демонструють за вологості 80–90%.

Кислотність середовища (pH). Більшість видів дощових черв'яків, що мешкають у поверхневих шарах ґрунту, характеризуються відносною стійкістю до коливань кислотності. Вони здатні існувати у середовищі з pH у межах 5,0–9,0.

Разом з тим, за наявності вибору черв'яки зазвичай переміщуються у більш кисле середовище з показником pH близько 5,0, що свідчить про їхню поведінкову реакцію на зміну кислотності субстрату.

Аерація. Особливістю фізіології дощових черв'яків є відсутність спеціалізованих органів дихання. Газообмін у них відбувається через поверхню тіла, що зумовлює високу чутливість до вмісту кисню в середовищі.

Умови з недостатньою аерацією (анаеробні) є вкрай несприятливими для їх існування. *Eisenia foetida* здатні залишати субстрат, який перенасичений вологою, містить низьку концентрацію кисню та високі рівні вуглекислого газу або сірководню. Такі умови пригнічують їх життєдіяльність і можуть спричиняти загибель популяції.

Вміст аміаку та неорганічних солей. Дощові черв'яки *Eisenia foetida* проявляють високу чутливість до підвищених концентрацій аміаку в органічних субстратах. Особливо це стосується матеріалів із значним вмістом азотистих сполук, наприклад пташиного посліду, де рівень аміаку може бути критичним. За таких умов життєдіяльність черв'яків різко пригнічується, що часто призводить до їх загибелі.

Аналогічно негативно впливає і підвищений вміст неорганічних солей у субстраті. Проте навіть такі матеріали можуть бути підготовлені до використання у вермикультивуванні. Для цього застосовують попередню обробку — компостування або промивання водою, що дозволяє знизити концентрацію токсичних компонентів і зробити субстрат придатним для біопереробки.

1.7 Відмінності між компостуванням та вермикомпостуванням

Компостування та вермикомпостування належать до найпоширеніших способів біологічної утилізації органічних відходів, однак відрізняються за механізмами протікання процесів.

Компостування являє собою керований процес мікробіологічного розкладання органічної речовини, що відбувається за участю аеробних мікроорганізмів. Однією з ключових особливостей є наявність термофільної стадії (45–65 °C), під час якої відбувається знезараження матеріалу та знищення патогенних організмів.

У процесі компостування виділяють дві основні фази:

- **Термофільна стадія** — характеризується інтенсивним розкладанням органічної маси;
- **Фаза дозрівання** — температура знижується до мезофільного рівня (15–40 °C), а залишкові органічні сполуки розкладаються повільніше.

Тривалість цих етапів залежить як від складу відходів (зокрема, вмісту легкорозкладних речовин), так і від умов ведення процесу (рівень аерації, зволоження тощо). Завершення стадії дозрівання супроводжується зникненням фітотоксичних компонентів.

На відміну від компостування, вермикомпостування є процесом біоконверсії органічних відходів за участю як мікроорганізмів, так і дощових черв'яків. Мікробіота забезпечує біохімічний розклад органічних сполук, тоді як черв'яки виконують механічну обробку субстрату — подрібнюють, перемішують, аерують і структурно змінюють його.

Дощові черв'яки відіграють роль своєрідних «біологічних реакторів»: вони зменшують співвідношення C:N, покращують фізичні властивості субстрату та створюють сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів.

У вермикомпостуванні також можна умовно виділити дві стадії:

- **Активна фаза** — інтенсивна переробка субстрату черв'яками з трансформацією його властивостей;

- **Фаза міграції** — переміщення популяції у свіжі шари органічної маси.

Обидва процеси — компостування і вермикомпостування — є аеробними та базуються на складній взаємодії органічного матеріалу, мікроорганізмів, вологості та кисню.

1.8 Найпоширеніші методи вермикомпостування

Вермикультивування розглядається як відносно економічний і технологічно нескладний спосіб переробки органічних відходів із отриманням цінного добрива. Технологія повинна забезпечувати мінімальні витрати та простоту реалізації.

Залежно від умов проведення процесу, виділяють такі варіанти:

- культивування у відкритому ґрунті (польові умови);
- вирощування у закритих приміщеннях;
- комбіновані системи (поєднання відкритих і закритих способів).

Відкрите вермикультивування є найпростішим за організацією та найменш затратним. Воно частіше орієнтоване на отримання біомаси черв'яків. Закриті системи, навпаки, забезпечують вищу інтенсивність процесу та кращий контроль умов, хоча різниця у продуктивності зазвичай становить лише 2–3 рази.

Вибір методу значною мірою залежить від кліматичних умов: у регіонах із теплим кліматом переважає відкрите вирощування, тоді як у холодних зонах застосовують закриті системи з опаленням.

За рік у відкритих умовах зазвичай здійснюють до двох циклів переробки, тоді як у приміщеннях їх кількість може досягати п'яти.

За технологічними особливостями розрізняють:

- грядкове (буртове) вермикультивування;
- ящикові системи;
- реакторні установки.

Буртовий та траншейний методи вермикомпостування. Буртовий спосіб належить до відкритих технологій і найчастіше використовується у теплий період року. У разі утеплення буртів у зимовий період черв'яки здатні виживати, однак їх активність значно знижується або припиняється.

Тривалість одного циклу за цим методом становить від 3 до 12 місяців і залежить від кліматичних умов та складу субстрату. Розміщення буртів у теплицях дозволяє здійснювати процес протягом усього року.

Перед початком вермикультивування готують основу — ґрунтову або бетонну площадку. На ній формують гряди довжиною 1,5–2,0 м і висотою 0,15–0,40 м. Такі параметри забезпечують достатню аерацію, рівномірний розподіл популяції черв'яків і запобігають надмірному ущільненню субстрату.

Для механізації процесів формування гряд, внесення підживлення та збирання готового біогумусу використовують спеціалізоване обладнання, зокрема компостні машини. (Рис. 1.6)

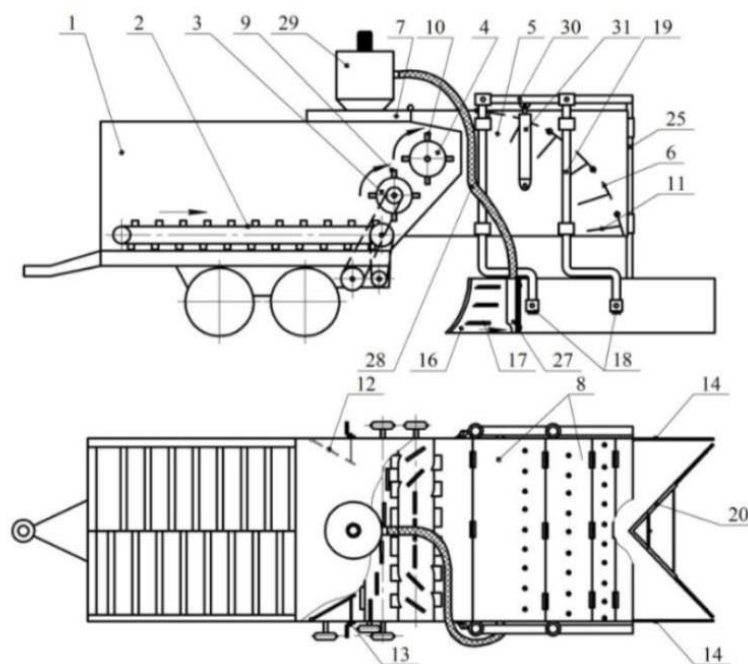


Рис 1. 6. Компостна машина

1 – бункер, 2 – горизонтальний транспортер, 3 – барабан, що подає, 4 – барабан-прискорювач, 5 – дробильна камера, 6 – передня стінка, 7 – рама, 8 – прямокутна пластина, 9 – лопаті, 10 – лопаті барабана-прискорювача, 11 – подрібнюючі штифти, 12 – рухомі заслінки, 13 – механізм «гвинт-гайка», 14 –

комбіновані формуючі пластини, 15 – пластина, 16, 17 – ніж з додатковими ріжучими елементами, 18 – обертовий механізм, 19 – стійка, 20 – скребок, що трансформується, 21, 22 – шарнірно-з'єднуючі пластини, 23 – знімні тригранна призма, 24 – фіксуюча втулка, 25 – стійка, 26 – фіксатор, 27 – забірний пристрій, 28 – гнучкий трубопровід, 29 – циклон, 30 – коромисло, 31 – гідроциліндр.

Найпоширенішими способами бурового вермикультивування є буртове вермикультивування з вертикальним та боковим розподіленням підкормки (Рис 1. 7.)

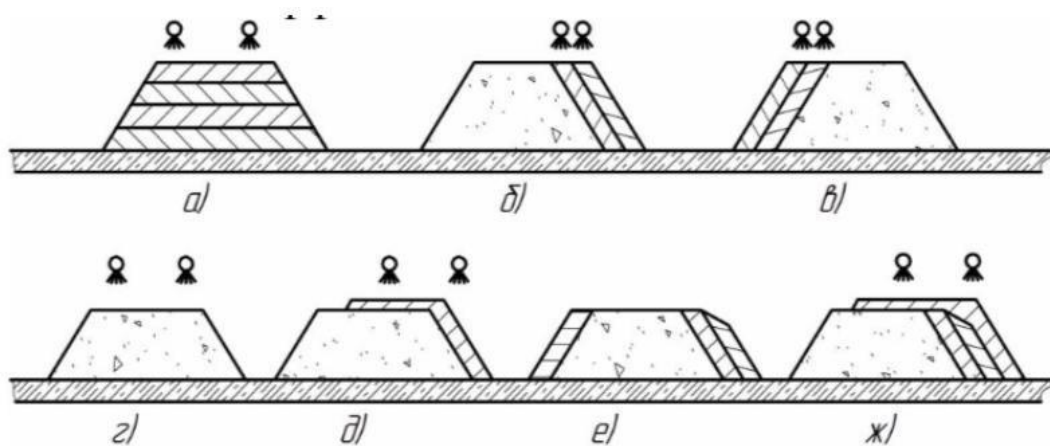


Рис 1. 7. Буртовий метод вермикультивування:

а) з вертикальним розподілом підкормки; б, в) – з боковим розподілом підкормки; г, д, е, ж) – з частковим і боковим розподілом підкормки.

Під час перероблення органічних відходів за участю дощових черв'яків формується кінцевий продукт — біогумус (вермикомпост). Це специфічний субстрат, що проходить через травну систему черв'яка та виділяється у вигляді копролітів разом із залишками переробленого матеріалу.

У процесі проходження органічної маси через шлунково-кишковий тракт відбувається її механічне подрібнення та глибокі біохімічні перетворення. Складні органічні полімери розщеплюються до простіших сполук, одночасно субстрат збагачується сполуками магнію, фосфору, калію та ферментами. Мінеральні компоненти переходять у більш доступні для рослин форми, а органічні кислоти частково нейтралізуються. Також синтезуються гумінові кислоти, які характеризуються близькою до нейтральної реакцією середовища.

Кінцевим продуктом життєдіяльності черв'яків є копроліт — речовина, насичена біологічно активними компонентами, гумусовими сполуками, мінеральними елементами та корисною мікрофлорою. За своїми фізико-хімічними властивостями біогумус значною мірою подібний до природного гумусу ґрунту.

За вмістом гумусових речовин вермикомпост суттєво перевищує традиційні органічні добрива, зокрема гній та звичайні компости — у середньому у 4–10 разів. У копролітах природних популяцій дощових черв'яків вміст гумусу може досягати близько 15%, тоді як у спеціально вирощених культур — до 35% сухої маси.

Біогумус характеризується високою агрономічною ефективністю і значно перевершує традиційні добрива за впливом на ріст і розвиток рослин. Його агрохімічні показники є кращими порівняно з перегноєм, який широко застосовується у сільському господарстві.

Мікробіологічний склад вермикомпосту є різноманітним: у ньому містяться актиноміцети, амоніфікуючі та нітрифікуючі бактерії. Також присутні розчинні форми фосфатів, що сприяють розвитку корисних мікробних угруповань та пригнічують патогенну мікрофлору. Крім того, біогумус містить фітогормони (ауксини, гібереліни), які стимулюють ріст рослин. Важливо, що цей продукт не проявляє мутагенних, тератогенних чи канцерогенних властивостей.

Застосування біогумусу сприяє швидшому проростанню насіння, скороченню строків дозрівання культур приблизно на 10–15 діб, підвищенню схожості, а також збільшенню стійкості рослин до посухи, низьких температур, хвороб і шкідників. Він активізує розвиток кореневої системи та загальний ріст рослин.

На відміну від гною чи традиційного компосту, внесення вермикомпосту не призводить до перенасичення ґрунту окремими елементами живлення. Рекомендовані норми внесення становлять 4–10 т/га, тоді як для гною — 30–40 т/га.

Використання біогумусу дозволяє суттєво підвищити врожайність сільськогосподарських культур: для зернових і кукурудзи — на 30–40%, картоплі — на 30–70%, овочевих культур — на 35–70%.

Для цього добрива відсутні жорсткі санітарно-гігієнічні або екологічні обмеження щодо внесення у ґрунт (за винятком випадків, коли вихідний субстрат був забрудненим).

Біогумус покращує структуру ґрунту, формує оптимальний склад ґрунтового розчину, а поживні речовини у його складі є збалансованими та повільно вивільняються, забезпечуючи тривале живлення рослин.

Водночас процес вермикультивування має певні недоліки — він потребує спеціальних знань, контролю умов та є досить трудомістким. Крім того, відносно висока вартість біогумусу та обмежені обсяги його виробництва стримують широке застосування на великих площах. Найбільш ефективним є використання вермикомпосту у закритому ґрунті, а також при вирощуванні лікарських рослин, декоративних культур та рідкісних видів. (рис 1.8.)

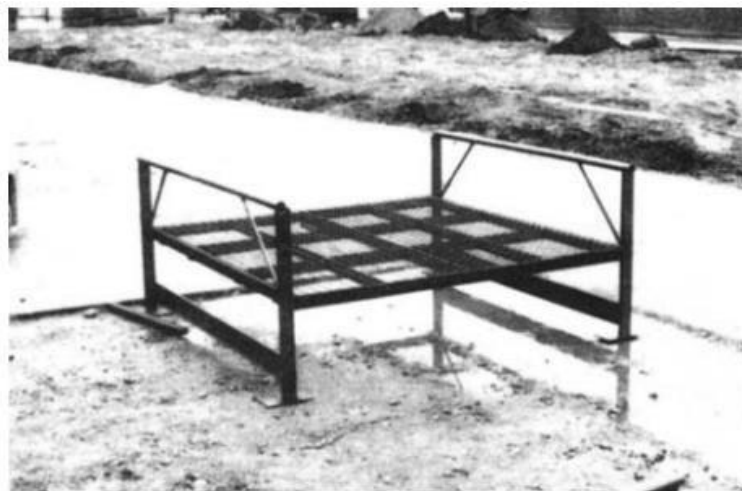


Рис 1. 8. Металевий каркас для реактору безперервної дії.

Корпус вермиреактору має глибину 1 м. та стоїть на ніжках висотою 1 м. (Рис 1. 9). Встановлюють реактори в забудові під накриттям для того, щоб контролювати умови навколишнього середовища.

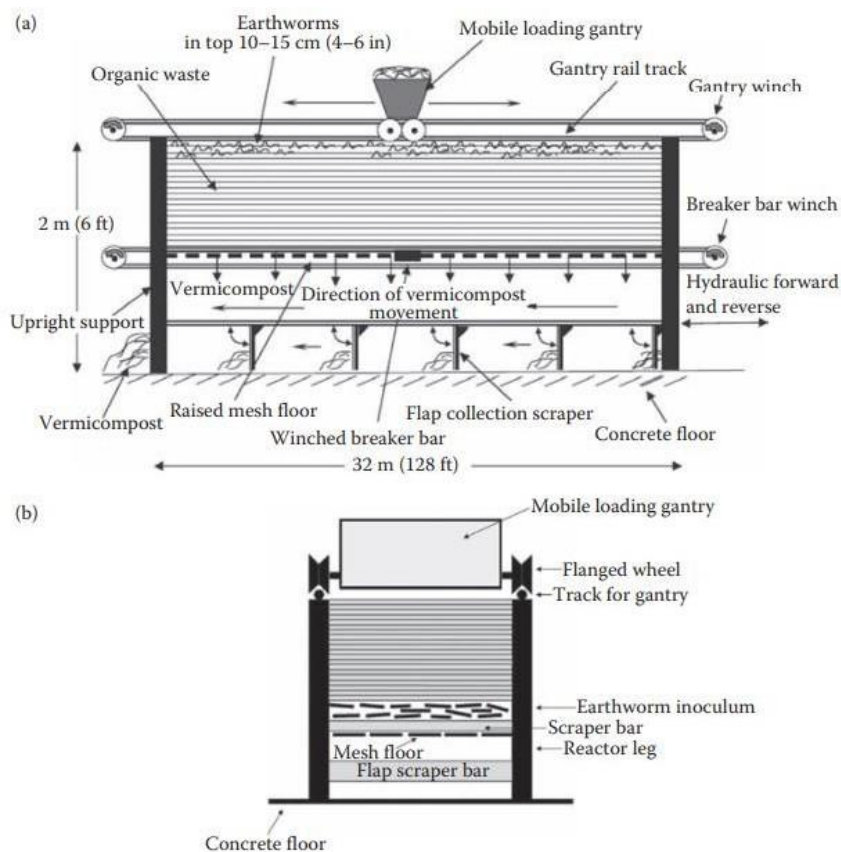


Рис 1. 9. Вермиреактор а) вид з боку; б) вид з торця.

Вермиреактор обладнений гідравлічним лебідковим бункером та редукторним приводом, який рухається по рейках у верхній частині стінок реактора (Рис 1.10) та може автоматично додавати 1-3 см субстрату на поверхню реактора кожні декілька днів.

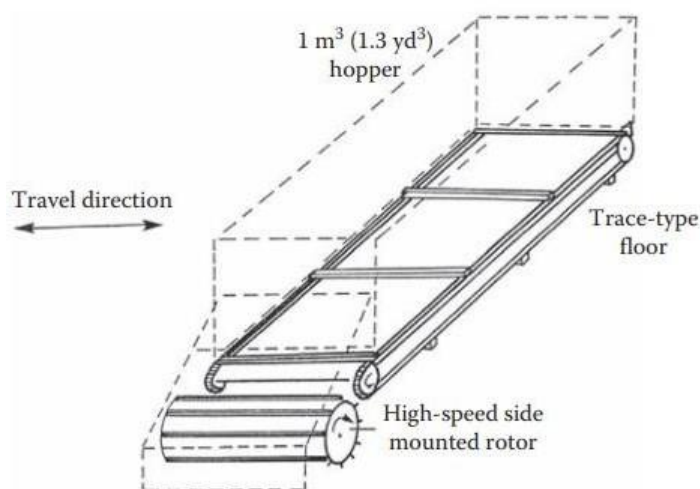


Рис 1. 10. Завантажувальний бункер з ротором на всю довжину.

Основа верхньої частини реактору має металеве сітчасте днище з отвором 5 x 10 см. Над цим перфорованим днищем розташована планка з електричною лебідкою, яку можна тягнути по всій довжині реактору у будь-якому напрямку (Рис 1. 11).

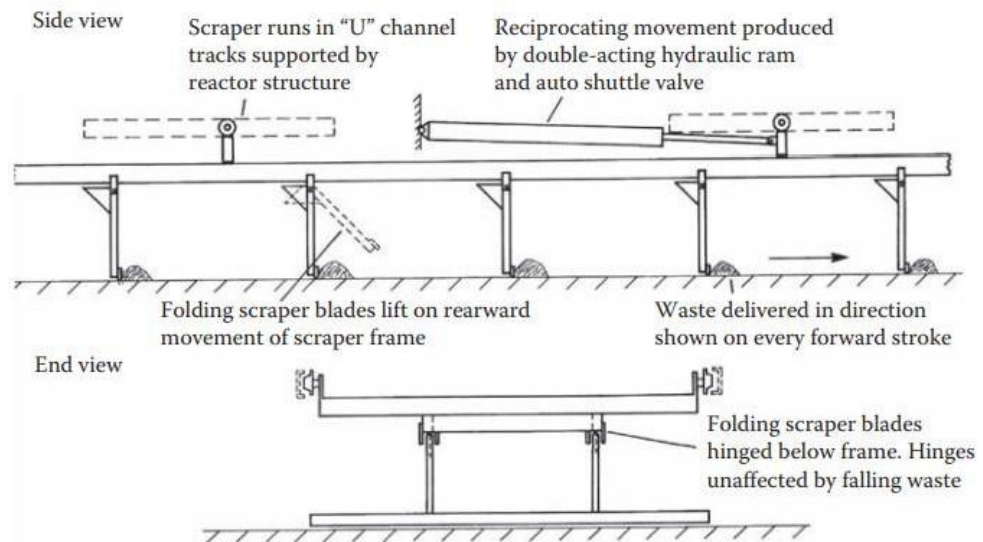


Рис 1. 11 Система для збору біогумусу

У вермиреакторах баштового типу переробку субстрату проводять у циліндричних або конусоподібних баштах. В реактори даного типу субстрат безперервно передають зверху, а знизу вивантажують готовий продукт (біогумус). Перемішування здійснюють за допомогою шнеку, завдяки якому також здійснюється і аерація.

Баштовий реактор можна умовно розділити на три зони: зона завантаження, зона переробки, та зона розвантаження готового вихідного продукту (Рис. 1. 12).

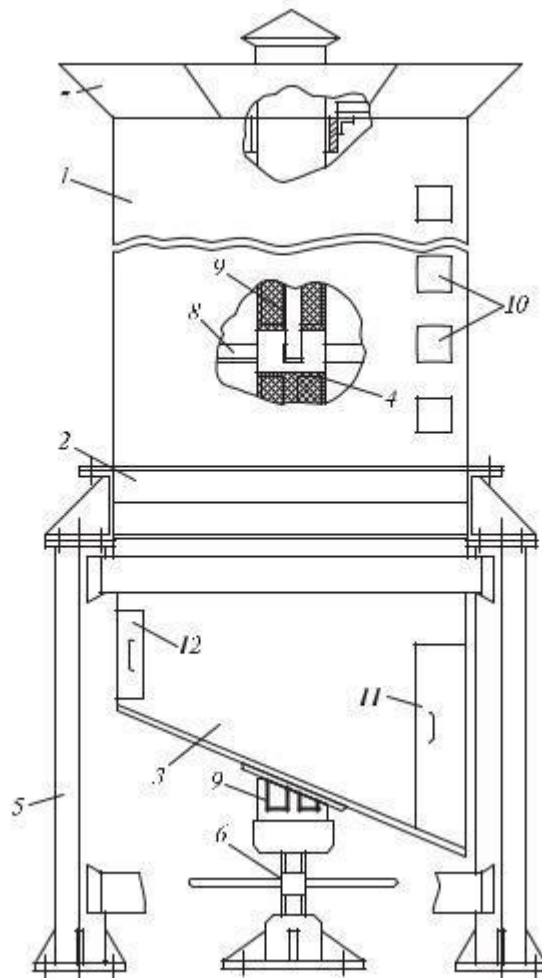


Рис 1. 12. Баштовий вермиреактор безперервної дії

1 – корпус реактору, 2 – розвантажувальний шибер, 3- розвантажувальний відділ, 4 – труба для аерації, 5 – опорні ніжки, 6 – привід для аераційної труби, 7 – завантажувальна горловина, 8 – розвантажувальні елементи, 9 – аераційні отвори, 10 – вікна для спостереження, 11 – розвантажувальний люк, 12 – технологічний люк.

Якщо висота шару, який завантажують, заввишки більше 2 м., то у нижній частині вермиреактору утворюються так звані «мертві зони». Їх утворення провокує зниження якості вихідного продукту, пригнічує ріст та розвиток дощових черв'яків, або може навіть призвести до їх загибелі через токсичні продукти, які утворюються у процесі гниття.

Через вікна, які вмонтовані у корпус вермиреактору, можна контролювати процеси завантаження субстрату та вермикультури. За

допомогою технологічного люку можна контролювати ступінь переробки субстрату культурою дощових черв'яків.

Після закінчення процесу переробки субстрату вермикультурою потрібно вивантажити готовий субстрат. Роблять це за допомогою розвантажувальних шиберів, які мають вигляд вил. Завдяки приводу, який приводить в рух аераційну трубу, субстрат рівномірно переміщується і не прилипає до стінок реактору.

Між вивантаженням вихідного продукту та внесенням нової порції субстрату має пройти деякий час. Це потрібно для того, щоб дощові черв'яки перемістились у верхні шари субстрату.

Після першого вивантаження продукту та довантаження свіжого субстрату реакторну установку переводять у циклічний режим роботи – операції по розвантаженню готового продукту та довантаженню субстрату проводять періодично кожні 2 тижні.

В найбільш продуктивних реакторах цикл вермикомпостування триває приблизно 7 діб.

РОЗДІЛ 2.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1. Взірці субстрату активної фази вермикультивування, біогумусу.

Приготування десятикратних розведень екстрактів взірців.

Для дослідження субстрату на стадії активного вермикультивування та зрілого біогумусу від кожного зразка відбирали по 10 г матеріалу. Усі експерименти проводили у трикратній повторності. Зразки активної фази відбирали на 21-шу добу процесу. Отримані наважки переносили у стерильні ступки та диспергували відповідно до методики Д. Звягінцева [16], після чого готували вихідні мікробні суспензії.

Серію послідовних десятикратних розведень виконували у стерильній водопровідній воді таким чином, щоб забезпечити отримання ізольованих колоній при висіві. Для цього у стерильні пробірки попередньо розливали по 9 мл води. У першу пробірку стерильною піпеткою вносили 1 мл вихідної суспензії (розведення 1:10). Далі 1 мл із першого розведення переносили у наступну пробірку (1:100), аналогічно отримували розведення 1:1000.

Живильні середовища та умови культивування. Для культивування мікроорганізмів застосовували такі поживні середовища:

- TSA (триптосоевий агар): триптосоевий бульйон (TSB) — 30 г, агар — 20 г, дистильована вода — 1 л, рН 7,4–8,0;
- середовище SG2: глюкоза — 20 г, дріжджовий екстракт — 5 г, соєвий пептон — 10 г, агар — 20 г, дистильована вода — 1 л, рН 7,5–8,0.

Після внесення по 0,1 мл досліджуваних суспензій у чашки Петрі з поживними середовищами їх інкубували за температури 28–30 °С протягом 5–14 діб, залежно від швидкості росту мікроорганізмів.

Вирощування бактерій на агаризованих середовищах. Посів мікроорганізмів здійснювали шляхом розподілу інокуляту по поверхні агару бактеріологічною петлею з формуванням суцільного газону. Під час роботи

суворо дотримувалися правил асептики, з обов'язковим прожарюванням інструментів у полум'ї.

Ідентифікація мікробіоти. Ідентифікацію мікроорганізмів біогумусу проводили за загальноприйнятими методами ґрунтової мікробіології з використанням визначника Берджі. Для цього застосовували морфологічні та біохімічні методи, зокрема фарбування за Грамом, за Цілем–Нільсеном, визначення спороутворення та каталазної активності.

Підготовка предметних скелець. Чистоту скелець оцінювали за здатністю краплі води рівномірно розтікатися по поверхні. Нові скельця обробляли кип'ятінням у 1% розчині соди з подальшим промиванням дистильованою водою, слабким розчином соляної кислоти та повторним промиванням. Використані скельця очищали кип'ятінням у мильному розчині та витримували у хромовій суміші не менше 24 годин, після чого ретельно промивали.

Хромову суміш готували шляхом розчинення 6 г калію дихромату у 100 мл води з подальшим обережним додаванням 100 мл сульфатної кислоти. Втрата ефективності суміші визначалась зміною кольору з помаранчевого на зелений.

Фарбування за Грамом. Для фарбування використовували клітини молодих культур. На одному предметному склі готували мазки досліджуваної культури та контрольних штамів грампозитивних і грамнегативних бактерій. Після висушування мазок фіксували у полум'ї, фарбували кристалічним фіолетовим, обробляли розчином Люголю, знебарвлювали спиртом і дофарбовували фуксином. Препарати досліджували за допомогою імерсійної мікроскопії.

Фарбування за Цілем–Нільсеном. Метод застосовували для виявлення кислотостійких мікроорганізмів. Після приготування та фіксації мазка його обробляли карболовим фуксином із нагріванням, знебарвлювали кислотним розчином та дофарбовували метиленовим синім. Дослідження проводили під імерсійною системою мікроскопа.

Визначення каталазної активності. Каталазну активність визначали шляхом внесення бактеріальної культури у краплю 3% розчину пероксиду водню. У разі наявності ферменту каталази відбувалося інтенсивне виділення бульбашок кисню протягом 1–5 хвилин.

2.2.Дослідження хімічного складу біогумусу

Визначення амінокислотного складу. Амінокислотний склад визначали методом капілярного електрофорезу з використанням системи «Капель-105/105М». Перед аналізом зразки піддавали кислотному гідролізу, внаслідок чого амінокислоти переходили у вільні форми фенілізотіокарбамільних похідних. Розділення та кількісний аналіз здійснювали методом капілярного електрофорезу з детектуванням при довжині хвилі 254 нм.

Визначення вмісту катіонів та аніонів. Вміст неорганічних іонів визначали також методом капілярного електрофорезу («Капель-105М»). Методика передбачала фільтрування та, за потреби, розведення проб бідистильованою водою з подальшим електрофоретичним розділенням компонентів. Детектування здійснювали у УФ-діапазоні при довжинах хвиль 254 нм та 267 нм залежно від моделі приладу.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Мікробіологічне дослідження субстратів різних фаз вермикультивування

Одним із ключових способів підвищення вмісту гумусу в ґрунтах є використання органічних добрив. Поряд із традиційними агротехнічними методами все більшого значення набуває технологія вермикомпостування. Вермикультивування (вермикомпостування) являє собою процес біологічного окиснення та стабілізації органічної сировини за участю дощових черв'яків і мезофільної мікрофлори, в результаті якого органічні відходи трансформуються у вермикомпост (біогумус). У структурі процесу виділяють дві основні стадії: активну фазу та фазу дозрівання.

Основною функцією мікробіоти на етапі буртового вермикомпостування є розщеплення біополімерів субстрату, зокрема целюлози, геміцелюлози, лігніну та білкових сполук, до простіших низькомолекулярних компонентів — амінокислот і моносахаридів. Найбільш стійкими до деградації залишаються лігнінові та дубильні речовини. Паралельно з процесами деструкції відбувається синтез гумусових сполук, що є характерною ознакою формування біогумусу.

Таким чином, результатом діяльності мікроорганізмів на активній стадії вермикомпостування є зменшення загальної маси органічної речовини, підвищення вмісту гумусових сполук і нітрогену, а також збільшення зольності кінцевого продукту. Додатково в травному тракті дощових черв'яків органічні залишки зазнають біохімічної трансформації, збагачуються ферментами та мікрофлорою кишківника.

У результаті активізується життєдіяльність ризосферних мікроорганізмів, зокрема представників родів *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Actinomyces*, *Bacillus*, *Azotobacter*, які сприяють росту рослин шляхом мобілізації поживних елементів

та підвищення їх доступності для рослин. Частина цих бактерій здатна синтезувати фітогормони, 1-аміноциклопропан-1-карбоксилатдезаміназу, а також здійснювати фіксацію атмосферного азоту. Крім того, вторинні метаболіти (антибіотики, сидерофори, пігменти, ферменти типу хітиназ і глюканаз) пригнічують розвиток фітопатогенних мікроорганізмів і руйнують їх клітинні структури.

На початкових етапах активної фази вермикомпостування внаслідок інтенсивної нітрифікації середовище характеризується кислою реакцією (рН 4,5–6) та підвищеною вологістю. Такі умови сприяють розвитку грибів-деструкторів целюлози та інших органічних сполук, а також мікроорганізмів, здатних до фіксації азоту. У досліджуваних зразках було виявлено мікроміцети родів *Penicillium* і *Mucor*, а також бактерії родів *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azotobacter*.

Для аналізу мікробіому активної фази вермикомпосту готували водні екстракти та серійні десятикратні розведення (1:10, 1:100, 1:1000) у стерильній дистильованій воді. Враховуючи, що максимальна активність ферментів (целюлаз, амілаз, інвертаз, протеаз, уреаз) спостерігається на 21–35 добу процесу, відбір проб здійснювали на 21-й день. Отримані суспензії висівали на тверді поживні середовища TSA та SG2 методом газонного посіву у чашки Петрі. Після 3–7 діб інкубації спостерігали розвиток колоній грибів родів *Penicillium* та *Mucor*, а також бактерій *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*. Окремо були зафіксовані колонії грампозитивних кокових форм.

У кишечнику дощових черв'яків під дією власних ферментів та симбіотичної мікрофлори відбувається інтенсивна деградація органічних речовин. Взаємодія ферментативної системи та мікробіому є динамічною та чутливою до змін складу субстрату, що робить її потенційним джерелом нових мікробіологічних об'єктів для досліджень. Ферменти кишечника стимулюють активність і розмноження мікроорганізмів, зокрема представників *Pseudomonas*, *Acidobacterium*, *Bacillus*, а також родин *Enterobacteriaceae* та *Flavobacteriaceae*. За нейтрального значення рН (близько 7) створюються сприятливі умови для

		
Мікробіом вермікомпосту активної фази вермікультивування (середовище TSA, розведення 1:1000)	Мікробіом зрілого біогумусу (середовище TSA, розведення 1:10)	Мікробіом зрілого біогумусу (середовище TSA, розведення 1:100)
		
Мікробіом вермікомпосту активної фази вермікультивування (середовище TSA, розведення 1:1000)	Мікробіом зрілого біогумусу (середовище SG2, розведення 1:10)	Мікробіом зрілого біогумусу (середовище SG2, розведення 1:1000)
		
Мікробіом вермікомпосту активної фази вермікультивування (середовище TSA, розведення 1:1000)	Мікробіом вермікомпосту активної фази вермікультивування (середовище SG2, розведення 1:10)	Мікробіом зрілого біогумусу (середовище TSA, розведення 1:10)
Рис. 3. 1. 1. Мікробіологічне дослідження субстратів різних фаз вермікультивування		

розвитку актиноміцетів (*Actinomycetaceae*), тоді як чисельність мікроміцетів зменшується, а фітопатогенні організми пригнічуються.

Для дослідження мікробіому зрілого біогумусу готували екстракт біогумусу. Готували десятикратні розведення екстракту біогумусу у стерильній дистильованій воді: 1:10, 1:100, 1:1000. Суспензію висівали газonom на тверді живильні середовища TSA, SG2 у чашки Петрі у розведеннях 1:10, 1:100, 1:1000.

Результатом нашої роботи на третю-сьому добу культивування та аналіз статей науковців, які вивчають мікробіологічні процеси вермикультивування, є дослідження у копролітах черв'яків домінування грамнегативних аеробних бактерій роду *Pseudomonas*, *Lactobacillus*, грампозитивних *Bacillus*, дещо в менших кількостях – представників *Actinomycetaceae*, *Azotobacter* (рис. 3. 1. 1).

Для узагальнення та порівняння було сформовано схему, яка висвітлює аналіз сучасних досліджень щодо різноманітності та співвідношення основних груп мікроорганізмів, які задіяні у різних фазах вермикультивування (рис. 3. 1. 2).

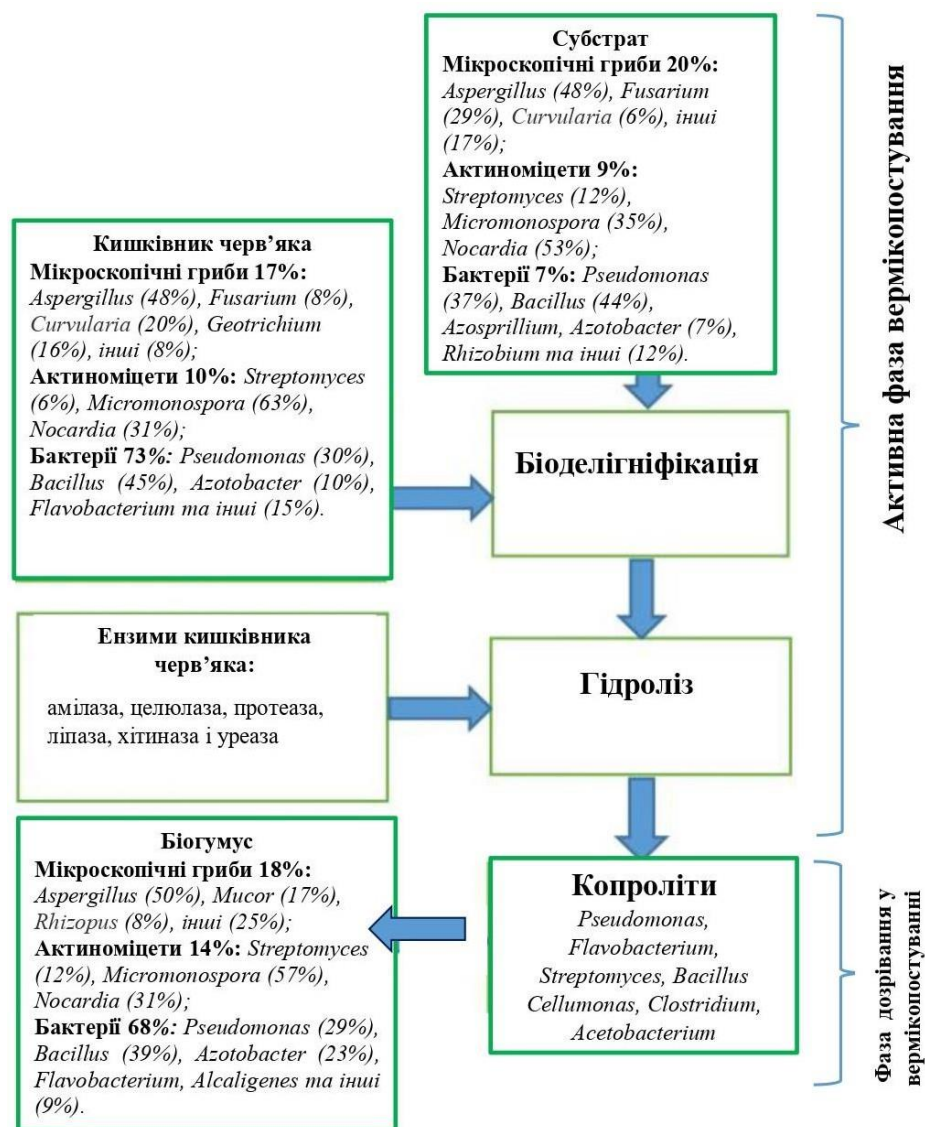


Рис. 3. 1. 2. Фази вермикультивування, різноманітність та співвідношення основних груп мікроорганізмів, які у них задіяні

У результаті проведеного ящикового вермикультивування було отримано зрілий біогумус, мікробіологічний склад якого включає представників родів *Pseudomonas*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, а також мікроорганізми родини *Actinomycetaceae* і роду *Azotobacter*. Порівняно із субстратом активної фази процесу, у кінцевому продукті відсутні фітопатогенні мікроорганізми та мікроскопічні гриби, що свідчить про суттєву стабілізацію та санітарну очистку матеріалу. Такий якісний мікробіологічний склад дозволяє розглядати отриманий біогумус як самостійне органічне добриво підвищеної цінності або як компонент для створення біопрепаратів захисної дії для рослин.

3.2 Ідентифікація мікробіому субстратів різних фаз вермикультивування

Ідентифікацію мікроорганізмів, виділених із різних фаз вермикультивування, здійснювали із застосуванням визначника Берджі, а також на основі морфологічних ознак та мікробіологічних методів фарбування: за Грамом, для виявлення спороутворення, кислотостійкості та каталазної активності.

У зрілому біогумусі було встановлено наявність ризобактерій та нітрогенфіксувальних мікроорганізмів, зокрема представників роду *Pseudomonas*, *Bacillus*, роду *Azotobacter*, родини *Actinomycetaceae*, а також лактобактерій.

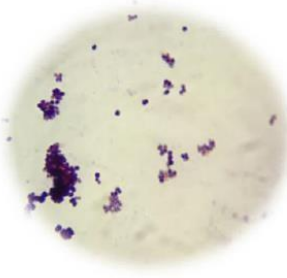
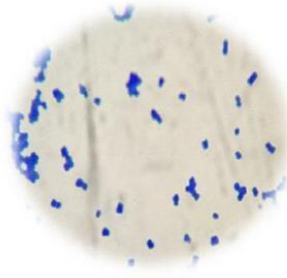
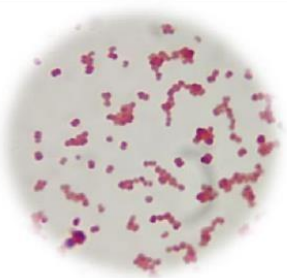
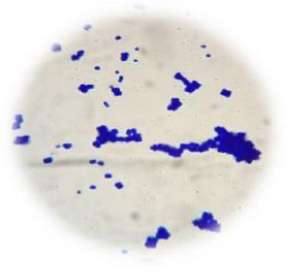
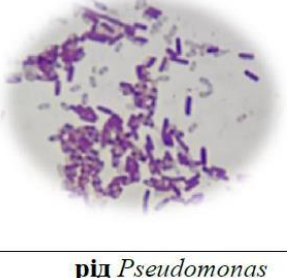
Для підтвердження присутності бактерій роду *Bacillus* було проведено мікроскопічне дослідження та фарбування препаратів. Під світловим мікроскопом клітини проявляли грампозитивну реакцію (табл. 3.2.1) та мали форму паличок із чітко вираженими ендоспорами, які добре візуалізувалися. Клітини переважно розташовувалися поодинокі, рідше — у вигляді коротких ланцюжків. Реакції на каталазу та кислотостійкість були позитивними (табл. 3.2.1). Колонії характеризувалися білим або молочним забарвленням із хвилястими краями.

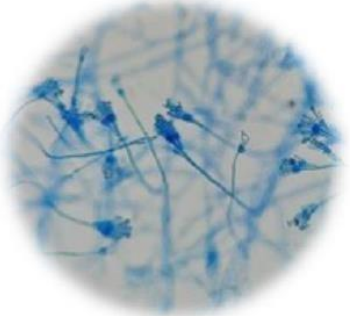
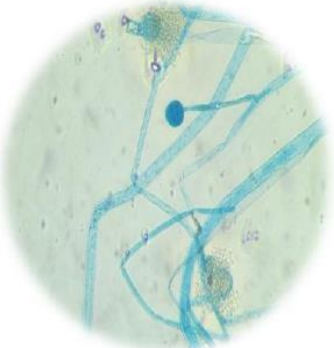
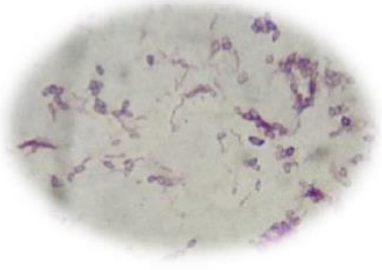
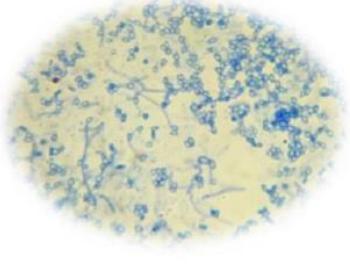
Колонії представників роду *Pseudomonas* мали гладку, блискучу поверхню. За результатами фарбування за Грамом вони належали до

грамнегативних паличок, які розміщувалися переважно ланцюжками, іноді поодинокі (табл. 3.2.1). Морфологічно це тонкі або середньої товщини палички. Каталазна активність і кислотостійкість також визначалися як позитивні (табл. 3.2.1).

Таблиця 3. 2. 1.

Ідентифікація колоній мікроорганізмів із застосуванням методів фарбування

Морфологічні ознаки колонії	Фарбування за Грамом	Виявлення кислотостійкості
Грампозитивні коки		
		
рід <i>Azotobacter</i>		
		
рід <i>Bacillus</i>		
		
рід <i>Pseudomonas</i>		
		

Морфологічні ознаки колонії	Фарбування за Грамом	Виявлення кислотостійкості
рід <i>Penicillium</i>		
		
рід <i>Mucor</i>		
		
родина <i>Actinomycetaceae</i>		
		
рід <i>Lactobacillus</i>		
		

Клітини *Azotobacter* середнього розміру, сферичної форми, можуть розташовуватися парами, поодинокі, неправильними скупченнями або ланцюжками різної довжини (табл. 3.2.1). Клітини азотобактера можуть утворювати цисти. Реакція на кислотостійкість та наявність каталази позитивна (табл. 3. 2. 1).

Для підтвердження наявності серед різних популяцій мікроорганізмів культури молочнокислих бактерій було проведено мікроскопічне дослідження та фарбування. Під світловим мікроскопом встановлено, що клітини є грампозитивними (табл. 3.2.1), мають паличкоподібну форму із заокругленими кінцями, характеризуються прямою будовою та розташовуються переважно короткими ланцюжками. Спороутворення у даних мікроорганізмів відсутнє. Реакція на кислотостійкість є позитивною (табл. 3.2.1), однак каталазна активність не виявлена, що підтверджується відсутністю газоутворення у пробі з гідроген пероксидом.

Колонії представників родини *Actinomycetaceae* характеризуються наявністю повітряного міцелію, утвореного вільними гіфами, які ростуть вертикально над поверхнею колонії. На початкових етапах розвитку такі гіфи є безбарвними, однак у процесі дозрівання спор набувають характерного забарвлення. У зрілому стані колонії мають бархатисту текстуру, що дозволяє легко відрізнити їх від типових бактеріальних культур. Представники цієї родини є грампозитивними, кислотостійкими (табл. 3.2.1) та каталазопозитивними.

На матеріалах, наведених у таблиці 3.2.1, чітко простежується нитчаста структура колоній *Actinomycetaceae* та формування спор.

Під час аналізу субстрату активної фази вермикомпостування було виявлено представників ризобактерій та нітрогенфіксувальних мікроорганізмів, зокрема родів *Pseudomonas*, *Bacillus* та *Azotobacter*. Окрім цього, у досліджуваному екстракті ідентифіковано мікроміцети родів *Penicillium* і *Mucor*. Дані мікроорганізми характеризуються утворенням типових спороносних структур (спорангіїв та спор) (табл. 3.2.1) і розвитком

розгалуженого міцелію. Вони є кислотостійкими (табл. 3.2.1) та каталазонегативними. Також були виявлені, але не ідентифіковані колонії грампозитивних кокових форм, які характеризуються кислотостійкістю (табл. 3.2.1), каталазопозитивністю та утворенням колоній жовтого кольору.

Таким чином, переважна частина мікробіоти як зрілого біогумусу, так і субстрату активної фази вермикультивування представлена грампозитивними та каталазоактивними мікроорганізмами, які є кислотостійкими. Серед грамнегативних форм ідентифіковано представників родів *Pseudomonas* та *Azotobacter*.

3.3 Дослідження хімічного складу одержаного біогумусу

Визначення амінокислотного складу біогумусу здійснювали методом капілярного електрофорезу із використанням системи «КАПЕЛЬ-105/105М». Для аналізу готували робочий розчин шляхом екстрагування 10 г біогумусу у 100 мл дистильованої стерильної води.

Результати дослідження свідчать про широкий спектр амінокислот у складі отриманого біогумусу. Було виявлено такі амінокислоти: аргінін, лізин, тирозин, фенілаланін, гістидин, лейцин, ізолейцин, метіонін, валін, пролін, треонін, серин, аланін та гліцин (табл. 3.3.1).

Встановлено підвищений вміст окремих амінокислот, зокрема аргініну (33 мг/л), проліну (4,3 мг/л) та треоніну (20 мг/л) (табл. 3.3.1), у порівнянні з аналогічними показниками робочого розчину комерційного біопрепарату для захисту рослин «Гуміфренд».

Вміст амінокислот

Назва показника	Вміст у робочому розчині біогумусу
аргінін	33 мг/л
лізин	8,8 мг/л
тирозин	3,2 мг/л
фенілаланін	2,5 мг/л
гістидин	1,3 мг/л
лейцин+ізолейцин	7,1 мг/л
метіонін	1,1 мг/л
валін	5,8 мг/л
пролін	4,3 мг/л
треонін	20 мг/л
серин	3,6 мг/л
аланін	5,2 мг/л
гліцин	5,1 мг/л

Такі показники найпевніше свідчать про більш різноманітний спектр мікроорганізмів одержаного біогумусу та більший його кількісний вміст. Натомість «Гуміфренд» багатший йонами, які характеризують масову частку Амонію, Калію, Натрію, Магнію, Кальцію, Фосфору у препараті.

Дослідження масової частки деяких катіонів, аніонів біогумусу відбувалось методом капілярного електрофорезу з використанням системи капілярного електрофорезу «Капель-105М». Масова частка сполук у біогумусі: Амонію 4,7 мг/л; Калію 242,0 мг/л; Натрію 62 мг/л; Магнію 60,7 мг/л; Кальцію 109,7 мг/л; Фосфору менше 50 мг/л (табл. 3. 3. 2).

Таблиця 3. 2.

Вміст мінеральних елементів та амінокислот в зразках

Назва показника	Вміст у робочому розчині біогумусу
Амоній	4,7 мг/л
Калій	242,0 мг/л
Натрій	62 мг/л
Магній	60,7 мг/л
Кальцій	109,7 мг/л
Сульфур	-
Фосфор	Менше 50 мг/л

Такий вміст та збалансованість хімічних сполук свідчить про можливість безпечного використання одержаного біогумусу як самостійного добрива для захисту рослин та його перспективність як основи для створення нових засобів захисту рослин. Також це дослідження доводить успішну трансформацію хімічних сполук відходів під час вермикультивування у доступні для рослин форми поживних речовин.

3.4. Технологічна схема вермикомпостування

Приготування субстрату. Оптимальні умови для розвитку та життєдіяльності дощових черв'яків *Eisenia foetida* формуються за використання органічних відходів із вмістом целюлози приблизно на рівні 20%. Для покращення структури субстрату до відходів тваринництва доцільно додавати тирсу, соломку, кору та зелені рослинні рештки.

У даному дослідженні як основний субстрат використано суміш яблучної вичавки, кролячого гною та соломи у співвідношенні 50:40:10 відповідно. Перед використанням матеріал очищали від сторонніх домішок (металевих включень, каміння та великих деревних частин).

Параметри підготовленого субстрату: вологість 70–80%, реакція середовища рН 6,8–7,2.

Установка для вермикультивування. Для проведення процесу вермикомпостування використовували пластиковий вермикомпостер, що складається з кришки та верхнього захисного шару (вермипокривала), який забезпечує стабільний рівень вологості в системі.

Основна частина установки представлена трьома послідовно з'єднаними секціями, які частково заходять одна в одну (приблизно на 10 см), що сприяє безперервному переміщенню субстрату. Загальні габарити установки становлять 50 см у висоту (по 25 см на кожен модуль), 40 см у ширину та 25 см у довжину.

У стінках і піддоні передбачені вентиляційні отвори, розташовані у шаховому порядку, діаметром 15 мм, що забезпечує ефективну аерацію.

У нижній частині системи розміщено піддон для збору фільтрату (вермичаю) та готового біогумусу. Піддон є знімним, що дозволяє здійснювати обслуговування без порушення технологічного процесу. Схематичне та реальне зображення установки наведено на рис. 3.1 та 3.2.

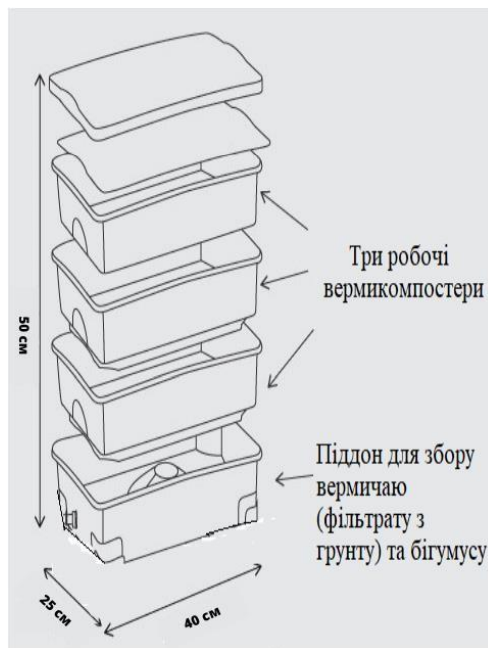


Рис. 3. 1. Схема вермикомпостера



Рис 3. 2. Фактичний вигляд

Заселення вермикультури та умови культивування. На початковому етапі на дно нижнього відсіку вносили попередньо компостований кролячий гній із подальшим зволоженням. Далі формували шар субстрату, що складався з універсального ґрунту, яблучної вичавки та соломи у кількості 2500 г, 500 г та 200 г відповідно. Заселення черв'яків проводили лише після стабілізації температури субстрату, оскільки свіжий гній може спричиняти його перегрів.

Для інокуляції використовували популяцію *Eisenia foetida* у кількості близько 3000 особин, що є оптимальним для вермикомпостера розміром 50×40×25 см.

Черв'яків рівномірно розміщували у верхньому шарі субстрату. Для стимулювання міграції у глибші шари тимчасово застосовували освітлення, після чого контейнер залишали закритим. Через приблизно одну годину проводили контроль: особин, які залишилися на поверхні, видаляли як ослаблених або загиблих.

Після завершення адаптації систему закривали кришкою.

Параметри культивування:

- температура: +25...+28 °C
- вологість: 70–85%
- рН: 5,0–8,0
- достатня аерація субстрату

Збір готового біогумусу. Виділення готового біогумусу здійснювали методом розвантаження з подальшим ручним сортуванням. Субстрат викладали на брезент або пластикову поверхню в умовах природного освітлення.

Неперероблені фракції відділяли механічно, після чого біогумус залишали на світлі для стимуляції міграції черв'яків. Особин, що переміщувалися до затемнених зон, поступово відбирали.

Готовим продукт вважали після повного видалення вермикультури з маси біогумусу, що дозволяло використовувати його як кінцевий добривний продукт.

ВИСНОВКИ

1. У результаті ящикового вермикомпостування отримано біогумус зі стабільним мікробіологічним складом, представленим родами *Pseudomonas*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Azotobacter* та родиною *Actinomycetaceae*. Встановлено відсутність фітопатогенних мікроорганізмів і мікроміцетів порівняно з активною фазою процесу. Це підтверджує високу санітарну якість отриманого продукту та його придатність як органічного добрива або компонента біопрепаратів.

2. Виявлено, що мікробіом як активної фази, так і зрілого біогумусу переважно представлений грампозитивними, каталазопозитивними та кислотостійкими мікроорганізмами. Серед грамнегативних форм ідентифіковано роди *Pseudomonas* та *Azotobacter*.

3. Аналіз хімічного складу підтверджує наявність збалансованого комплексу поживних речовин, що свідчить про екологічну безпечність використання біогумусу та його перспективність як основи для створення засобів захисту рослин. Отримані результати також підтверджують ефективну біотрансформацію органічних відходів у доступні для рослин форми елементів живлення.

4. Для забезпечення максимальної ефективності процесу вермикомпостування рекомендовано дотримуватися таких умов: температура +25...+28 °С, рН 5,0–8,0, вологість 70–80% та належний рівень аерації субстрату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Безидель Р. В. Вплив складу субстрату на вихід вермикомпосту та біомаси штучної популяції *Eisenia Foetida* / Науковий вісник НЛТУ України 2015. Випуск 25-10. С. 156-161.
2. Буцяк А. А. Використання біогумусу для підвищення родючості ґрунту і одержання екологічно безпечної продукції. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького, Том 14 №2 Частина 3, с. 33-36. Львів, 2012 р.
3. Журавель С.В та ін. Технологічні особливості застосування різних видів вермибіоти та їх вплив на процес компостування. Sciences of Europe # 80, 2021 р. 3-6 с.
4. Зайцева В.Г., Нестеренко О.В., Чернишенко Г.О., Самохвалова А.І. Вермикультура, її значення у вирішенні екологічних проблем та поліпшенні умов сільського господарства. Харківський національний університет будівництва та архітектури: Науковий вісник будівництва, 2020, т. 101, №3 с. 222 – 227.
5. Ладановська Д.О., Жукова В.С. «Ефективність вермикомпостування осадів шкіряного виробництва» . Д.О. Ладановська, В.С. Жукова. Тези XVIII Всеукр. наук. конф. молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», Київ, 18-19 квітня 2019 р. М-во освіти і науки України, КНУТД. К. : КНУТД, 2019.
6. Люта В.А., Кононов О.В. Практикум з мікробіології: навч. посіб. Київ: Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Медицина», 2018. 184 с.
7. Каратєєва О. І., Коваль О. А., Гроза В. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства : курс лекцій для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія». О. І. Каратєєва. Миколаїв : МНАУ, 2018. – 190 с.
8. Курдиш І.К. Роль мікроорганізмів у відтворенні родючості ґрунтів. Сільськогосподарська мікробіологія: Міжвід. темат. наук. зб.

Чернігів, 2009.

9. Попко І. М., Корчин Д. В., Розум І. В., Розум Р. І., Патент №135661 Спосіб отримання біогумусу. Опубліковано 10.07.2019 р.

10. Сендецька О. Ефективність виробництва і застосування органічних добрив “біогумус” виготовлених методом вермикультивування Вісник ТНЕУ № 1, 2014 р. 164-171 с.

11. Сенчук М.М. Теоретичні основи механізованого вермикомпостування. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наук. пр. УкрНДІПВТ. Вип.3.Дослідницьке, 2000.С.132-138.

12. Скіп О.С., Буцяк В.І., Печар Н.П Технологічні властивості та хімічний склад опалого листя як субстрату для вермикультивування О.С Скіп, В.І Буцяк, Н.П Печар. Л.: Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Ґжицького. Частина 1. 2011. Том 13 № 2(48) Частина 1. С.466-470.

13. Слободяник М. С. та ін. Біоконверсія органічних відходів: теорія і практика. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2015. 208 с.: іл. ISBN 978-617-640-230-5

14. Торгоня В.С. Дослідження й обґрунтування прийнятих параметрів біотехнологічного процесу вермикультивування та обладнання для його реалізації. В.С. Торгоня. Науковий віс-ник НУБіП України :зб. наук. праць. К. :Вид-во НУБіП України. 2009. Вип. 134, ч. 1. С. 145- 152.

15. Швед О. М. Екологічна біотехнологія . Швед О. М. Львів: НУ "Львівська Політехніка", 2013. С.385–390.

16. Ales Hanc, Tereza Castkova, Stanislav Kuzel and Tomas Cajthaml Dynamics of a vertical-flow windrow vermicomposting syste. Waste Management Research 2017, Vol. 35(11) 1121–1128.

17. Ali Ahmad, Zubair Aslam, Korkmaz Bellitürk and other Vermicomposting Methods from Different Wastes: An Environment Friendly,

Economically Viable and Socially Acceptable Approach for Crop Nutrition: A Review . International Journal of Food Science and Agriculture, 2021, 5(1), 58-68.

18. Appelhof M., Olszewski J. Worms eat my garbage 2017. 5-238 c.
19. Clive A. Edwards Norman Q. Arancon Rhonda Sherman Vermiculture Technology Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management 1-576 c.
20. Reynolds, J.W. and M.J. Wetzal. 2004. Terrestrial Oligochaeta in North America north of Mexico. Megadrilogica 9(11): 71-98.
21. Romero-Olivares, A.L., Allison, S.D., Treseder, K.K. Soil microbes and their response to experimental warming over time: A meta-analysis of field studies. Soil Biology and Biochemistry. 2017. № 107. P. 32–40.
22. Selivanov Y., Marenkov O. Organic permaculture: cultivation of Eisenia andrei earthworms for use as feed for aquatic organisms . WSN 152 (2021) C. 39-54.
23. Sravan Kumar Tamminana A study on entrepreneurs of vermicompost technology in guntur district of andhra pradesh .2012. 1-126 c.
24. Suresh Kumar, G. Tripathi, G. V. Mishra. A Comparative Study on Earthworm Biodiversity & Species Habitat-Relationship of Hilly and Plain Areas of Sirohi District of Rajasthan, India. Applied Ecology and Environmental Sciences. Vol. 9, No. 4, 2021, pp 419-439
25. What is Windrow Composting? Its Process, Advantages and Applications URL: <https://compost-turner.net/composting-technologies/windrow-composting-technology-and-advantages.html>