

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально–науковий інститут Природокористування
Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
Кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

студента Крилова Артема Ігоровича

академічної групи 101–20–1 П

спеціальності 101» Екологія»

за освітньо–професійною програмою–«Екологія»

на тему «Перспективи отримання та застосування продуктів
вермикультивування з ТПВ для підвищення родючості ґрунтів Європи»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
кваліфікаційної роботи			
розділів:			
Теоретичного			
Практичного			
Охорона праці			
Рецензент			
Нормоконтролер			

Дніпро
2024

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**

ЗАТВЕРДЖЕНО:
Завідувач кафедри ЕТЗНС

«__» _____ 2024 року

**Завдання
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра**

студенту Крилову Артему Ігоровичу

академічної групи 101–20–1

спеціальності: 101 – «Екологія»

за освітньо–професійною програмою: Екологія

на тему: «Перспективи отримання та застосування продуктів вермикультивування з ТПВ для підвищення родючості ґрунтів у країнах Європи».
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 21.05.24 р. № 453–с.

	Розділ	Зміст	Термін виконання
1	Теоретичний	Навести технологію процесу вермикультивування та загальну характеристику вермикультури як унікального біологічного об'єкту. Проаналізувати особливості субстратів, що застосовуються у вермикультивуванні та шляхи отримання біогумусу й біогумату. Провести оцінку стану родючості ґрунтів у країнах Європи.	01.03.2024– 01.04.2024.
2	Практичний	Обґрунтувати доцільність та можливість застосування твердих побутових відходів для процесу вермикультивування з метою отримання біогумусу та біогумату. Проаналізувати екологічну ефективність при використанні ТПВ у вермикультивуванні. Оцінити екологічний вплив при застосуванні даних продуктів для підвищення родючості ґрунтів та можливість отримання еко–продукції.	1.04.2024– 14.05.2024.
3	Охорона праці	Розробити заходи з охорони праці при організації наведеного виробництва.	15.05.2024– 29.05.2024.

Завдання видано _____

Сідашенко О.І.

Дата видачі _____

10.10.2023 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____

Крилов А.І.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79 с., 8 рис., 1 табл., 1, 34 літературних джерел.

Мета роботи полягала у аналізі перспектив отримання та застосування продуктів вермикультивування, а саме біогумусу з ТПВ для підвищення родючості ґрунтів у країнах Європи.

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми утилізації органічних відходів та відновлення родючості ґрунтів, а також сформульовані задачі дослідження.

Перший розділ містить загальну характеристику процесу вермикультивування та біогумусу як найякіснішого органічного добрива. Проаналізовано стан родючості ґрунтів у країнах Європи та виявлено тенденцію до їх деградації внаслідок ерозії, засолення та закислення.

У другому розділі розглянуто перспективи використання твердих побутових відходів (ТПВ) як субстрату для вермикультивування. Проаналізовано морфологічний та хімічний склад ТПВ та оцінено їх придатність для переробки за допомогою черв'яків р. *Eisenia*. Висвітлено переваги застосування біогумусу в сільському господарстві, зокрема підвищення врожайності, покращення якості продукції та відновлення родючості ґрунтів. Розглянуто екологічні переваги та можливі недоліки використання продуктів вермикультивування.

Третій розділ присвячений розробці заходів з охорони праці при організації процесу вермикультивування у закритому приміщенні. Визначено вимоги до приміщення, обладнання та матеріалів, а також розраховано необхідну кількість субстрату та площу для розміщення вермиферми.

У висновках наводяться результати виконання кваліфікаційної роботи.

ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ, ВЕРМИКУЛЬТУРА, ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ (ТПВ), БІОГУМУС, РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ, ОРГАНІЧНЕ ДОБРИВО

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ ТА БІОГУМУС: МЕТОДИ ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ НА РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ	8
1.1. Загальна характеристика процесу вермикультивування	8
1.2 Основні технології вермикультивування	13
1.3. Шляхи отримання біогумусу як найякіснішого добрива	16
1.4. Оцінка стану родючості ґрунтів у країнах Європи.....	22
РОЗДІЛ 2. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПРОДУКТІВ ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ	29
2.1. Аналіз складу ТПВ та перспективи їх застосування у якості субстрату для процесу вермикультивуванні	29
2.1.2 Хімічний склад ТПВ.....	33
2.1.3 Перспективи використання ТПВ	34
2.2 Особливості процесу вермикультивування	35
2.3. Переваги застосування біогумусу у сільському господарстві	40
2.4. Переваги та недоліків використання продуктів вермикультивування	42
2.5 Аналіз підвищення родючості ґрунтів шляхом застосування продуктів вермикультивування	48
2.6. Розробка рекомендацій щодо виробництва біогумусу.....	51
РОЗДІЛ 3. ЗАСОБИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ	60
3.1.Вимоги до приміщення та обладнання.....	60
3.1.1 Засоби захисту відшкідливих факторів	61
3.1.2 Контроль за вологістю та температурою	62
3.1.3 Загальні засоби захисту працівників:	63
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68

ВСТУП

Актуальність теми зумовлена глобальними екологічними викликами сучасності — зростанням обсягів твердих побутових відходів (ТПВ) та погіршенням стану ґрунтів. Щороку у світі утворюється понад 2 млрд тонн ТПВ, значну частку яких складають органічні відходи. Їх накопичення створює серйозні санітарно–епідеміологічні ризики, забруднює довкілля та виводить з користування цінні земельні ресурси. Водночас, деградація ґрунтів, спричинена ерозією, засоленням, закисленням та зниженням вмісту гумусу, призводить до втрати родючості та зменшення врожайності сільськогосподарських культур. За оцінками ФАО, щороку у світі деградує близько 12 млн га ґрунтів, що ставить під загрозу продовольчу безпеку та сталий розвиток людства.

У цьому контексті вермикультивування постає як перспективний біотехнологічний метод, здатний вирішити проблему утилізації органічних відходів та відновлення родючості ґрунтів. Використання черв'яків р. *Eisenia* для переробки ТПВ дозволяє отримувати цінне органічне добриво — біогумус, що збагачений гумусовими речовинами, корисною мікрофлорою та біологічно активними сполуками. Внесення біогумусу в ґрунт покращує його структуру, підвищує вміст поживних елементів та стимулює розвиток рослин.

Таким чином, впровадження технології вермикультивування сприяє скороченню обсягів відходів, відновленню деградованих земель та підвищенню врожайності екологічно чистої сільськогосподарської продукції.

У зв'язку з вище сказаним, метою роботи було проаналізувати перспективи отримання та застосування продуктів вермикультивування, а саме біогумусу, з ТПВ для підвищення родючості ґрунтів.

З огляду на мету було сформовано наступні **завдання**:

1. Провести аналіз сучасних літературних джерел стосовно теоретичних та практичних аспектів вермикультивування, а також оцінити стан ґрунтів у країнах Європи.

2. Оцінити якісний та кількісний склад твердих побутових відходів (ТПВ) та їх перспективи застосування у якості субстрату для вермикультивування. Теоретично ознайомитися з технологією вермикультивування та процесом отримання біогумусу. Проаналізувати вплив біогумусу на родючість ґрунтів. Вивчити переваги та недоліки використання продуктів вермикультивування. Розглянути процес вермикультивування у закритому приміщенні та його ефективне впровадження.

3. Розробити заходи з Охорони праці при запровадженні процесу вермикультивування.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для впровадження технології вермикультивування на із застосуванням ТПВ з метою отримання біогумусу, спрямованого на підвищення родючості ґрунтів. Результати дослідження можуть бути корисними для сільськогосподарських підприємств, органів місцевого самоврядування та екологічних організацій, зацікавлених у впровадженні сталих практик поводження з відходами та відновленні родючості ґрунтів.

РОЗДІЛ 1. ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ ТА БІОГУМУС: МЕТОДИ ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ НА РОДІЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ

1.1. Загальна характеристика процесу вермикультивування

Вермикультивування – це процес переробки органічних відходів за допомогою дощових черв'яків, зокрема гібрида червоного каліфорнійського черв'яка. Після заселення органічної сировини черв'яками вона втрачає неприємний запах за 1–2 дні, а через 4–5 тижнів перетворюється на високоякісне органічне добриво – вермикомпост. Досвід як зарубіжного, так і вітчизняного вермикультивування свідчить, що біомаса вермикультури може бути перспективним джерелом білкового компонента для раціону тварин і птахів. У природі немає іншого настільки потужного джерела повноцінного білка.

З розрахунків випливає, що за рік з 1000 м³ можна отримати 40 центнерів білкового борошна (з 5% вологи). Біомаса черв'яків багата на ферменти, вітаміни та мікроелементи [9].

Для забезпечення ефективної та швидкої переробки органічних відходів у кінцеві продукти біоконверсії необхідно суворо дотримуватися всіх технологічних параметрів. Технологічний процес біовермикомпостування включає три ключові етапи: попередня підготовка відходів, безпосереднє вермикомпостування і обробка отриманих продуктів.

Попередня підготовка органічних відходів є необхідним етапом через особливості технології біовермикомпостування. Ця технологія базується на специфічному ставленні вермикультури до процесів розкладу органічної речовини. Використання неферментованих відходів може призвести до утворення певних мінералізаційних сполук, які можуть повністю інгібувати

життєдіяльність вермикультури. Таким чином, попередня підготовка відходів забезпечує оптимальні умови для ефективного біовермикомпостування[4].

Рис.1.1. — Узагальнена схема біовермикомпостування органічних відходів [10]

Безпосередня біотехнологічна переробка органічних відходів за допомогою вермикультури є ключовим етапом їх утилізації. Цей процес базується на використанні природного циклу кругообігу речовин, що забезпечує ефективне розкладання органічних матеріалів. Різні типи органічних відходів вимагають різної тривалості попередньої підготовки через їхню біохімічну природу, структуру і склад. Наприклад, вуглеводи, білки та водорозчинні органічні речовини мінералізуються швидше, тоді як сполуки фенольного ряду і, особливо, лігнін розкладаються значно повільніше[13, С. 4].

Крім того, важливу роль у процесі ферментації органічних відходів відіграє характер зв'язку між легкодоступними та важкодоступними для мікроорганізмів біохімічними компонентами, які входять до складу органічного матеріалу. Легкодоступні компоненти, такі як прості цукри і амінокислоти, швидко розкладаються, забезпечуючи початкове живлення для мікроорганізмів. Водночас, важкодоступні компоненти, як-от складні вуглеводи і лігнін, вимагають більше часу і специфічних умов для розкладання.

Попередня підготовка органічних відходів, яка включає ферментацію та компостування, сприяє розпаду складних органічних молекул на більш прості, доступні для переробки вермикомпосту. Це забезпечує оптимальні умови для ефективної біотехнологічної переробки та утворення високоякісного вермикомпосту. Наприклад, клітковина, яка пов'язана з лігніном, розкладається набагато повільніше, ніж вільна клітковина. Білки зазнають більш швидкого мікробіологічного розкладу порівняно з лігнопротеїновими комплексами. Темпи розкладу органічних матеріалів значно знижуються, якщо до їх складу входять бактерицидні речовини, такі як таніни, терпени та смоли, які є токсичними для багатьох мікроорганізмів. Стійкість органічних відходів до мінералізації також може залежати від вмісту зольних елементів. Ці елементи можуть бути додатковим джерелом мінерального живлення для мікроорганізмів, сприяючи більш швидкому розкладу органічної речовини [9, С. 210–212].

Наукові дослідження та світова практика показали, що впровадження та широке застосування енергозберігаючої біотехнології, яка включає використання дощових черв'яків для переробки органічних відходів у новий тип добрива – вермикомпост – є біологічно та енергетично ефективним. Це дозволяє значно покращити стан ландшафтів і

сприяє захисту навколишнього середовища, прискорюючи процес утилізації органічних відходів.

Загалом, технологію вермикомпостування можна умовно розділити на три основні етапи. Перший етап полягає у підготовці органо–мінеральної компостної суміші. Органічні відходи змішують з наповнювачами–структуроутворювачами та зволожують до 70–80%. Таким чином, якісний субстрат, готовий для заселення черв'яками, є вологим, однорідним за кольором, з температурою 19–22°C, рН близько 7 та відносною вологістю 80%. Для зменшення часу біоконверсії відходів обов'язковою умовою є їхнє попереднє подрібнення [7].

На другому етапі процесу отримані органо–мінеральні компостні суміші заселяють культурою дощових черв'яків. Серед численних видів дощових черв'яків найкраще підходить вид *Eisenia foetida*, завдяки своїм унікальним характеристикам. Цей черв'як відзначається швидким ростом і високою плодючістю. За сприятливих умов потомство *Eisenia foetida* може досягати до 1500 особин на рік, а тривалість життя становить до 16 років. В умовах вермикультури один черв'як відкладає до 70 коконів на рік, кожен з яких дає від 2 до 20 нащадків. Щільність заселення черв'яків може досягати в середньому 120 особин на квадратний метр, а їх біомаса – близько 50 грамів на квадратний метр (за маси тіла одного черв'яка 0,5–1,5 грама) [3, С.78–84].

Час, необхідний для компостування, варіюється від 1 до 3 місяців і залежить від типу органічних відходів. На третьому етапі дощових черв'яків відокремлюють від субстрату. Біогумус, отриманий у результаті цього процесу, висушується і використовується як високоякісне органічне добриво. Крім того, біомаса черв'яків є цінною кормовою добавкою, яку також можна використовувати.

Технологія вермикультивування заснована на харчовій активності черв'яків р. *Eisenia*, які переробляють органічні відходи, створюючи при цьому високоефективне біодобриво. У процесі життєдіяльності, тварини захоплюють органічні залишки та змішують їх з мінеральними частинками

грунту, переварюючи їх і збагачуючи власною мікрофлорою, ферментами, біологічноактивними речовинами та виділяють копроліти (копрос–випорожнення, літос– камінь) з високим вмістом гумусу, мікро– і макроелементів. У кишківникові черв'яків р. *Eisenia* відбуваються часткова мінералізація та гуміфікація органічного матеріалу, з'єднання міаку з лігніном, зміна мінералогічного і гранулометричного складу, формування гумусових речовин і модифікація мікробіоценозів субстратів, які конвертуються [5].

Протягом доби черв'як пропускає через себе таку кількість субстрату (відходів), що дорівнює його масі. Тому, при щільності популяції 500000 особин на 1 га за добу він пропускає через себе 0,25 тонн субстрату (відходів). При активній діяльності вермикультури та відповідних кліматичних умовах приблизно за 200 днів загальна кількість переробленої маси складає 400–600 тонн на гектар. Під час переробки маси ґрунту черв'яки не тільки інтенсифікують процеси розкладання органіки, а й впливають на мікрофлору. Крім того, антибіотики, які вони виділяють, пригнічують активність умовно–патогенної та патогенної мікрофлори [12].

Органічна маса, де живуть дощові черв'яки, під час розкладання відходів втрачає неприємний запах, знезаражується, стає гранульованою і грудкуватою, що є дуже важливим для обробки рослин і набуває приємний запах землі. Вермикультура перетворює відходи у високоефективне біодобриво (біогумус) у вигляді агрегатів розміром 1–5–10 мм, з хорошою структурою і водостійкістю структурних агрегатів, з підвищеним вмістом гумусу (14–20%) обмінного калію, рухомого фосфору, кальцію, з пролонгованою дією при внесенні в ґрунт. У процесі вермикультивування спостерігається зміна гранулометричного складу субстрату. Зменшується частка пилюватої фракції (менше 0,25 мм), збільшується маса агрономічно–цінних агрегатів розміром 0,25–7 мм. При цьому максимальної маси досягає фракція 2 мм, до складу якої входять копроліти дощових черв'яків [12].

Ступінь збільшення цієї фракції залежить від вмісту і складу органічної частини вихідного субстрату. При цьому збільшується водостійкість агрегатів, сума яких також підвищується з ростом частини, яка конвертується у ускладі субстрату. Метод утилізації органічних відходів за допомогою черв'яків актуальний тим, що в ньому не застосовуються хімічні реагенти, відповідно не постає необхідність у додаткових технологічних процесах і переробці побічних продуктів. Крім того, у процесі переробки відходів черв'яками *p.Eisenia* виключено забруднення навколишнього середовища.

Достатньо великі теоретичні розробки з вермикультивування органічних відходів і успішний практичний досвід дозволили сформулювати загальні методичні підходи та вимоги до організації даної технології у промислових масштабах. У загальному вигляді ці вимоги зводяться до наступного: успішне використання черв'яків *p.Eisenia* для переробки органічних відходів у промислових масштабах можливе за умови створення для них оптимальних умов, які відповідають біологічним потребам виду.

До основних факторів, що визначають не лише виживання черв'яків, а й стимулюють їх життєдіяльність, відносяться: якісний та кількісний склад вихідного субстрату, його вологість, температура навколишнього середовища і наявність кисню. Актуальними є проведення досліджень з переробки органічних відходів за допомогою вермикультури з метою отримання необхідної інформації щодо підбору технологій, визначення параметрів ведення процесу, оптимізації кількісного виходу біогумусу [11].

1.2 Основні технології вермикультивування

Існує декілька найпоширеніших технологій вермикультивування. Серед яких можна виділити: промислове та відкрите вермикультивування, вермикультивування у закритих контейнерах або ящиках (боксах),.

Відкрите вермикультивування – це найпростіший метод, який передбачає використання відкритих куп або ящиків, де черв'яки переробляють органічні відходи. Ця технологія часто використовується на фермах або у приватних садибах.

Переваги: легкість встановлення та невисокі витрати на обладнання. Можливість переробки великих обсягів органічних відходів.

Недоліки: відкрите вермикультивування залежить від умов навколишнього середовища (перш за все – погоди), шкідників і потребує великих площ. Має бути забезпечений регулярний догляд для підтримання оптимальних умов для життя та розмноження черв'яків у вермикультурі.

Вермикомпостні ящики – технологія базується на використанні спеціальних ящиків для вермикультивування дозволяє контролювати умови переробки відходів. Ящики можуть бути різного розміру і дизайну, включаючи багатоярусні конструкції.

Переваги: кращий контроль за умовами процесу, а саме – вологістю та температурою. Можливість використання в умовах обмеженого простору, наприклад, у підвалах.

Недоліки: початкові витрати на придбання ящиків. Потреба в регулярному обслуговуванні і додаткових заходах для видалення неприємних запахів.

Вермикомпостування у закритих контейнерах – ця технологія передбачає використання закритих контейнерів або систем з контрольованим середовищем для переробки органічних відходів черв'яками.

Переваги: максимальний контроль за процесом, зменшення запахів і відсутність проблем з шкідниками. Можливість використання в міських умовах або на промислових об'єктах.

Недоліки: високі початкові витрати на обладнання та необхідність більш складного обслуговування. Необхідність навчання для правильного використання.

Промислове вермикультивування – це великомасштабні системи, які використовують на підприємствах для переробки органічних відходів у промислових обсягах. Включають використання спеціалізованих контейнерів або залів з контрольованим мікрокліматом.

Переваги: висока ефективність і здатність переробляти великі обсяги відходів. Можливість інтеграції в загальні системи управління відходами на підприємствах.

Недоліки: дуже високі початкові витрати та складне управління. Потреба у спеціалізованих знаннях для підтримання системи в робочому стані.

Вермикультивування триває приблизно від 6 до 12 місяців, залежно від умов вирощування, таких як температура, вологість та якість органічної сировини. Після цього періоду можна переходити до відділення маси черв'яків від отриманого біогумусу.

Таким чином, відкрите вермикультивування має наступні переваги та недоліки:

- Переваги: кращий контроль за умовами, зменшення неприємних запахів.
- Недоліки: витрати на придбання ящиків, потреба в обслуговуванні.

Процес відділення біогумусу при вермикультивуванні у закритих контейнерах

1. Контролювання умов: контейнери підтримують оптимальні умови для життєдіяльності черв'яків.
2. Переміщення черв'яків: створюють різні зони у контейнері для залучення черв'яків до свіжих відходів.
3. Збирання біогумусу: черв'яки мігрують до нових зон, залишаючи біогумус, який потім збирають, висушують і просіюють.

Переваги та недоліки:

- Переваги: максимальний контроль за процесом, зменшення запахів.

- Недоліки: високі витрати на обладнання, складне обслуговування.

Процес відділення біогумусу при промисловому вермикультивуванні:

1. Масштабованість: використовують великі контейнери або зали з контрольованими умовами.

2. Переміщення черв'яків: створюють умови для автоматичного переміщення черв'яків до нових відходів.

3. Збирання біогумусу: залишений біогумус збирають механічним способом, висушують і просіюють.

Переваги та недоліки:

- Переваги: Висока ефективність, здатність переробки великих обсягів.
- Недоліки: Високі початкові витрати, складне управління.

Загальні етапи відділення біогумусу:

1. Просіювання: використання сіток або просіювальних механізмів для відділення біогумусу від черв'яків і великих частинок органіки.

2. Сушіння: біогумус підсушують для зменшення вологості.

3. Зберігання: готовий біогумус зберігають в сухому місці до подальшого використання.

1.3. Шляхи отримання біогумусу як найякіснішого добрива

У сучасній науці та практиці однією з найбільш важливих проблем є утилізація та переробка відходів різного походження. Відходи, що накопичуються у вигляді побічних продуктів техногенезу, є «чужими» для біосфери, що викликає порушення екологічної рівноваги агробіоценозів та зниження родючості ґрунту. Також це призводить до забруднення повітря, води, ґрунтів та сільськогосподарської продукції, що у кінцевому результаті негативно впливає на здоров'я людини.

Сьогодні відбувається активне впровадження різноманітних альтернативних систем землеробства, таких як біодинамічна, органічна, біологічна та органічно–біологічна, які спрямовані на зменшення негативного впливу на довкілля, що виникає внаслідок використання великої кількості хімічних речовин у сільському господарстві. Ці системи мають забезпечити збереження урожаю та отримання екологічно безпечної продукції [14].

Під час використання цих альтернативних систем надзвичайно важливе значення має використання органічних добрив, зокрема компостів і біогумусу, які сприяють підтримці та відновленню родючості ґрунту, а також зменшенню використання хімічних добрив. Новим напрямком у цьому процесі є вермітехнологія, яка передбачає використання популяцій черв'яків р. *Eisenia* у спеціальних органічних субстратах разом із іншими організмами для перероблення відходів у біогумус. Такий підхід є високоефективним і екологічно безпечним способом управління відходами та допомагає підтримувати здоров'я ґрунту та отримувати якісні сільськогосподарські продукти.

Вермітехнологія є передовим та перспективним напрямком сільськогосподарського виробництва, який сприяє підвищенню продуктивності, екологічної стійкості і саморегуляційної здатності агроєкосистем. Це робить її ключовим елементом альтернативного землеробства. У результаті перероблення органічних відходів вермикультурою та діяльності мікроорганізмів утворюється цінне органічне добриво — біогумус. Біогумус сприяє поліпшенню ґрунтів та підвищенню/відновленню їх родючості.

Мінеральні солі перетворюються на форми, які є доступними для рослинного живлення. Під час цього відбувається нейтралізація кислот, яка містилася у вихідному субстраті. У процесі перетравлювання рослинних залишків у шлунку черв'яків вміст легко– та важкогідролізованих полісахаридів та лігніну зменшується. Одночасно відбуваються процеси

поліконденсації низькомолекулярних продуктів розпаду органічних речовин, що призводить до утворення молекул гумінових кислот, які мають близьку до нейтральної реакцію.

Після переробки органічних відходів за допомогою черв'яків утворюється продукт під назвою копроліти (від грецького «копрос» – послід, «літос» – камінь), який містить велику кількість біологічно активних сполук, гумінових речовин і корисної мікрофлори. Фізико–хімічні властивості біогумусу значною мірою схожі на природний ґрунтовий гумус. Встановлено, що за вмістом гумусу отримане шляхом вермикультивування біодобриво перевершує звичайні добрива та компости у 4–10 разів. У природних популяціях черв'яків вміст гумусу в копролітах може досягати 11–15%, а у культивованих – від 25 до 35% у перерахунку на суху речовину. Вартість біогумусу повинна відповідати його вмісту гумусу. Прикладом хімічного складу гранульованого біогумусу є продукт, створений за методикою вермикомпостування з використанням високопродуктивної лінії черв'яка *EiseniafetidaS-94*, селекція якого тривала близько 15 років [13, С. 210–212].

Біогумус, як орґано–мінеральне добриво, характеризується цінними фізичними властивостями, такими як висока вологоємність, вологостійкість, механічна міцність, сипучість та технологічність використання. Порівняно з ґрунтом, де живуть черв'яки, біогумус містить у середньому в 5 разів більше азоту, в 7 разів більше фосфору та в 11 разів більше калію. У складі біогумусу присутня різноманітна мікрофлора, така як актиноміцети, амоніфікатори, нітрифікатори, а також розчинні органічні та мінеральні фосфати. Ці компоненти допомагають нормалізувати розвиток мікробних асоціацій, характерних для здорового ґрунту, та пригнічують розвиток патогенних мікроорґанізмів, включаючи сальмонелу. Біогумус містить біологічно активні речовини, такі як лумбрицини, ауксини, гіберелліни та інші фітогормони. Важливою перевагою біогумусу є відсутність неприємних

запахів, а також відсутність канцерогенних, мутагенних або тератогенних властивостей.

Під час вермикультивування будь-які органічні відходи втрачають неприємний запах протягом кількох днів і набувають аромату вологої землі. Біогумус, завдяки своїм властивостям, сприяє швидкому проростанню насіння, скорочує термін дозрівання плодів (на 10–15 днів) та підвищує відсоток схожості насіння, що дозволяє зменшити їхню норму висіву. Він також підвищує стійкість рослин до посухи та морозів, їхню стійкість до шкідників та хвороб, знижує стрес при пересаджуванні та стимулює утворення кореневої системи. Внесення вермікомпосту до ґрунту усуває ризик перенасичення його окремими поживними елементами, що може відбуватися при внесенні великих доз навозу або звичайних компостів. Біогумус добре поєднується з мінеральними добривами [14].

Зазвичай, рекомендовані дози внесення біогумусу під основні сільськогосподарські культури становлять від 4 до 10 тонн на гектар, що відрізняється від гною, який потрібно внести у кількості 30–40 тонн на гектар щорічно. Наприклад, якщо 1 тонна підстилкового гною, внесеного в ґрунт, забезпечує щорічний приріст урожаю зернових в розмірі 10–12 кілограмів, картоплі – 100–120 кілограмів, то 1 тонна біогумусу забезпечує збільшення урожаю зернових на 100–200 кілограмів, картоплі – 1600–1800 кілограмів, овочів – 2000 кілограмів. Ефект від внесення біогумусу відчувається протягом 5–7 років. Оскільки умови для росту черв'яків у полі досить циклічні, непостійні та змінні, завдання промислових методів вермикультивування полягає в створенні високопродуктивних та адаптованих до різних субстратів видів дощових черв'яків, а також у підтриманні оптимальних умов для їхнього проживання в лабораторних та промислових культиваторах для забезпечення максимальної швидкості росту та розмноження популяції [14].

Вимоги до вермикультуринаступні:

- Високаздатність (по відношенню до природних умов) переробляти субстрат та забезпечувати високу швидкість його розкладання;
- Швидкість адаптування до зміни складу субстрату;
- стійкість до захворювань. Із цього різноманіття дощових черв'яків для вермикультури придатні лише кілька видів:
 - гнойовий (компостний) черв *Eisenia fetida*;
 - підвиди *E. fetida foetid*, *fetida andrei*;
 - звичайний дощовий черв'як (або великий червоний виповзень) *Lambricus terrestris*;
 - малий червоний черв'як (малий виповзень) *Lambricus rubellus*;
 - кілька інших видів (*Dendrobaena main.*).

Крім того,

через порушення технологічних умов та недотримання санітарно-ветеринарного контролю, більшість черв'яків, що входять до складу вермикультури заражені нематодами – круглими паразитичними черв'яками, багатьох яких можуть шкодити сільськогосподарським культурам, таким як картопля, буряк, морква і т. д., та зменшувати їх врожайність. Боротьба з нематодами є дуже складною та малоефективною. Культура *E. Fetida* взагалі є невимогливою до умов живлення. Найкраще вони розвиваються на органічних матеріалах, які перед цим пройшли мікробіологічне компостування.

Деякі лінії можуть успішно розмножуватися на субстратах, що містять свіжий гній великої рогатої худоби, коней, свиней, птиці, а також сапропель, осад стічних вод. При вирощуванні на відходах за оптимальних умов (температура субстрату 22°C, вологість 75 %, рН 7,0) цикл розвитку черв'яків триває 160 діб. Протягом року вони проходять два цикли розмноження та збільшують свою чисельність більш ніж у 1000 разів.

Важливою є аерація, тому субстрати, у яких заселено вермикультуру, потрібно час від часу перемішувати [12].

Вони надзвичайно чутливі до виділення газів, що утворюються у процесі гниття: аміаку, сірководню, метану. Допустимий рівень вмісту аміаку – не більше 0,5 мг/кг субстрату, при більш високому вмісті черв'яки гинуть.

Потрібно відмітити наступний показник, такий як щільність популяції. На розмноження черв'яків негативно впливає перенаселеність перероблюваного субстрату, тварини при цьому відчувають стрес. Тому потрібно ретельно контролювати цей фактор.

Вермикюльтивування потрібно розглядати як перспективний напрям формування й розвитку екологічних оснoв сільськогосподарського виробництва з метою отримання екологічно безпечної продукції. Для отримання біогумусу використовують різні органічні субстрати, при цьому рекомендується дотримуватися оптимальних співвідношення компонентів ефективних субстратів для вермикюльтури.

Найбільш сприятливі умови для життєдіяльності і розмноження вермикюльтури створюються при використанні відходів приблизно з вмістом целюлози 20%. Тому рекомендується у тваринницькі відходи додавати солому, тирсу, кору та інші целюлозні залишки. Крім того, субстрати повинні містити невелику кількість мінерального ґрунту, яка виконує механічну функцію при перетиранні у кишківнику черв'яків і необхідна для кращого травлення [8].

Проводилися дослідження [9] вивчення впливу складу субстрату на вихід біогумусу та біомаси черв'яків із використанням різних субстратів. За основу було взято яблуневу вичавку в поєднанні із різними компонентами (ґрунт, солома, кролячий гній) та рівнями їх насичення у сумішах. Для отримання якісного корму для черв'яків дотримувались таких показників вихідного органічного субстрату: вологість 70–80 %, рН 6,8–7,2, відсутність твердих часток – металу, дерева, каміння тощо. Біомаса черв'яків здатна виробити із 1 м³ органічних решток від 0,71 до 1,2 т вермикюмпосту [11, С. 148].

Було встановлено, що масаотриманого вермикомпосту залежить від складу вихідного субстрату. Для здійснення процесу вермикультивування був оптимальним наступний склад субстрату: вичавки із плодів яблук (50 %) + кролячий гній (40 %) + солома (10 %), що забезпечував найвищий показник виходу вермикомпосту [9]. З досвіду фахівців біотехнології відомо, що органічна речовина, яка підлягає вермикультивуванню, повинна містити легкозасвоювані вуглеводи та клітковину у кількості не менше 20 – 25%. Опалелистія містять значну кількість біополімерів, зокрема вуглеводів (клітковину, легкозброджуючі вуглеводні, крохмаль та інших біологічно активних речовин), які можуть служити поживним середовищем [10].

Одним із напрямків роботи щодо утилізації опалого листя є використання його як складової частини поживного середовища для вермикультивування, оскільки воно являється придатним субстратом для вермикультур.

Тому можна сказати, що у якості вихідного субстрату для процесу вермикультивування, можна використовувати різноманітні відходи органічного походження.

1.4. Оцінка стану родючості ґрунтів у країнах Європи

Актуальною екологічною проблемою є забруднення ґрунтів антропогенними факторами. Через викиди хімічних сполук, а саме, важких металів в атмосферу, спостерігається підвищення кислотності ґрунтів.

Внаслідок антропогенної діяльності, зокрема застосування нерациональних сільськогосподарських технологій, відбувається засолення ґрунтів, ерозійні процеси тощо. А це дуже негативно впливає на якість гумусу: знижується поглинальна здатність, виникає ерозія,

погіршується родючість, порушуються хімічні, фізичні та біологічні властивості ґрунту.

Гумус – це органічна речовина ґрунту, що утворюється внаслідок розкладання рослинних і тваринних залишків під дією мікроорганізмів. Він є важливою складовою родючості ґрунту, оскільки сприяє покращенню його фізичних, хімічних і біологічних властивостей. Гумус утримує вологу, забезпечує ґрунт поживними речовинами та покращує структуру ґрунту, що полегшує доступ рослин до води та поживних речовин.

Основні показники родючості ґрунтів:

1. Вміст гумусу – одна з головних характеристик, що визначає родючість ґрунту. Вміст гумусу в ґрунті впливає на його здатність утримувати воду та поживні речовини.

2. Показники рН – кислотно–лужний баланс ґрунту. Оптимальний рівень рН для більшості культур становить 6–7, що забезпечує доступність поживних речовин.

3. Вміст макро– та мікроелементів – концентрація азоту, фосфору, калію, а також мікроелементів, таких як залізо, бор, марганець тощо, є критичною для росту та розвитку рослин.

4. Структура ґрунту – гранулометричний склад (розподіл частинок різного розміру) впливає на аерацію, водопроникність і здатність утримувати вологу.

5. Вологість ґрунту – рівень вологості, що впливає на доступність води для рослин та активність мікроорганізмів.

6. Ємність катіонного обміну (СЕС) – здатність ґрунту утримувати іони, що визначає його родючість та здатність постачати рослинам поживні речовини.

7. Наявність органічних речовин – крім гумусу, це можуть бути інші органічні компоненти, що покращують родючість та структуру ґрунту

На території України сформувалися ґрунти різних типів. Їх поширення на рівнинній частині підпорядковане закону широтної зональності,

тобто ґрунти змінюються з півночі на південь. Чорноземні ґрунти сформувалися в умовах недостатньої зволоженості під степовою рослинністю. Великий вміст гумусу (до 9%) та зерниста й грудкувата структура роблять їх найродючішими не тільки в Україні, а й у всьому світі. Гумусний шар у чорноземах має значну потужність – від 0,4 до 1 м і більше. Ці ґрунти, що покривають майже 60% території України, є її національним багатством [1].

Загалом в Україні зосереджена п'ята частина всіх чорноземів світу [1]. Ґрунти із надлишковою кислотністю значно поширені на Поліссі, у Прикарпатті, гірських Карпатах та на півночі Лісостепу. За даними Державного агентства земельних ресурсів України, кислими ґрунти в нашій країні є на площі близько 9,5 млн. га [2].

Проблема засолення ґрунтів (рис 1.3.) та її вирішення є актуальними по всьому світі. Зокрема, у Казахстані близько 140 мільйонів гектарів, а в Австралії – 70 мільйонів гектарів засолено. В Україні майже 5 мільйонів гектарів засолені поля та солонці, а найбільше з цією проблемою стикаються аграрії лісостепової та степової зони.



Рис 1.3. Засоленні ґрунти [12]

Для порівняння, важливо розглянути особливості ґрунтового покриття в інших країнах Європи. Наприклад, у Болгарії, залежно від поєднання

рельєфу, кліматичних особливостей і характеру рослинності формуються різні ґрунти. У цій країні можна зустріти чорноземи, коричневі ґрунти, сірі підзолисті і алювіальні ґрунти.

У низовинах Румунії переважають чорноземні ґрунти; у передгірних і горбистих місцевостях на місці вирубаних листяних лісів – бурі лісові, вище, у лісовій зоні, поширені малородючі гірничо–лісові ґрунти типу підзолів, по долинах річок – алювіальні і болотно – торф’янисті. Ґрунти гірських районів малородючі і сильно лужні, виключаючи Трансільванію, де є багаті чорноземи. У низинних частинах родючі ґрунти, близькі за своїм складом до чорноземів, є основою орних земель, складаючи близько 44% території всієї країни.

Потрібно відмітити, що найродючіші ґрунти Угорщини – чорноземи (вміст гумусу 4 – 7%, середня потужність гумусового горизонту – 0,6 – 0,8 м), але вони є тільки у південних частинах Великої рівнини. Панівний тип – каштанові і підзолисті ґрунти, які покривають приблизно 40% території країни. Широко поширені також різні бурі лісові ґрунти. Майже 3/5 території країни займають ріллі.

У Чехії найбільш поширені підзолисті і бурі лісові ґрунти, меншу площу займають чорноземи та інші. Значна частина підзолів покрита лісом. На території країни є два порівняно значні райони чорноземних ґрунтів у центральних регіонах країни та у Центральній Моравії. Вони широко використовуються під посіви.

На території Франції переважають бурі лісові ґрунти, місцями вилужені і опідзолені, на півдні – коричневі ґрунти сухих лісів і чагарників, червоноземи.

На території Польщі, ґрунти переважно малородючі, і ближче до узбережжя, як правило, піщані, підзолисті. У долинах річок зустрічаються великі торфовища з великим вмістом гумусу. У районах на північ від польських гір (Сілезія і Мала Польща) на лесових відкладеннях переважають добре дреновані дерновопідзолисті і

бурігрунти, на яких вирощують цукровий буряк, жито і картоплю, є також чорнозем. Ґрунти гірських районів мають тонкий шар гумусу і низьку родючість [3].

Проблема зниження родючості ґрунтів є актуальною як для України, так і для багатьох країн Європи у тому числі. Одними із важливих показників, що визначають якість ґрунтового покриву є поняття кислотності ґрунтів та їх засоленість.

Останні дослідження показують, що проби ґрунту відібрані в Україні, Польщі, Угорщині та Франції є слабозакисленими. Для зниження кислотності потрібно провести заходи з вапнування даних ґрунтів. Проби ґрунту відібрані в Болгарії, Чехії та Румунії за кислотністю є нейтральними. Отже, мають сприятливі умови для росту і розвитку рослин і не потребують додаткових меліоративних заходів.

Стосовно явища засоленості потрібно відмітити, що у Болгарії та Угорщині виявлено тип ґрунту – солончаки, у Чехії – слабозасолені, у Франції – незасолені, у Румунії, Польщі та Україні – засолені. Для того щоб запобігти виникненню або зменшити засолення ґрунтів, необхідно застосовувати комплекс заходів, які включають: дренаж, планування, капілярну та експлуатаційну промивку ґрунтів, вирощування рослин, які є культурами – освоювачами після капітального промивання [5].

Крім засоленості, у багатьох країнах спостерігаються інші проблеми з родючістю ґрунтів:

1. **Ерозивні процеси** (рис 1.4.):
 - Вітрова ерозія: втрата верхнього шару ґрунту через сильні вітри.
 - Водна ерозія: змив ґрунту під час дощів і паводків.



Рис 1.4. Ерозивні процеси[16]

- Приклади країн: Угорщина, Румунія, Болгарія – вітрова ерозія; Чехія, Польща, Україна – водна ерозія.
- 2. **Зниження або відсутність вмісту гумусу:**
 - Відсутність органічних добрив, що призводить до зменшення органічної речовини у ґрунті.
 - Приклади країн: Чехія, Франція.
- 3. **Нераціональна меліорація:**
 - Неправильне або надмірне осушення або зрошення ґрунтів, що може призвести до деградації структури ґрунту.
 - Приклади країн: Польща, Румунія.
- 4. **Надактивна експлуатація під сільськогосподарські культури:**
 - Постійне використання ґрунтів без належного відновлення призводить до виснаження родючого шару.
 - Приклади країн: Україна, Угорщина.
- 5. **Надмірне використання хімічних добрив, інсектицидів та інших хімічних речовин:**

- Високі дози хімічних добрив можуть спричиняти забруднення ґрунту та водних ресурсів.

- Інсектициди та пестициди можуть знищувати корисні мікроорганізми та комахи.

- Приклади країн: Болгарія, Франція.

Заходи для покращення стану ґрунтів

Для зменшення впливу вищезгаданих проблем та покращення родючості ґрунтів необхідно впроваджувати наступні заходи:

1. Дренаж та планування:

- Встановлення систем дренажу для запобігання застою води та засоленню ґрунтів.

- Планування територій для оптимального використання земельних ресурсів.

2. Капілярна та експлуатаційна промивка ґрунтів:

- Промивання засолених ґрунтів водою для видалення солей.

3. Вирощування культур–освоювачів:

- Вирощування спеціальних рослин, які допомагають відновлювати родючість ґрунтів після капітального промивання.

4. Застосування біогумусу:

○ Переваги:

- Покращення та відновлення родючості ґрунтів.

- Утилізація органічних відходів за допомогою біотехнологічних методів.

- Отримання екологічно чистої продукції.

○ Вплив на стан ґрунтів:

- Біогумус сприяє покращенню структури ґрунту, підвищенню його водоутримуючої здатності та збільшенню вмісту поживних речовин.

- Відновлюється біологічна активність ґрунту, що покращує ріст та розвиток рослин

Таким чином, нераціональне застосування хімічних добрив, інсектицидів та препаратів для захисту рослин, не дотримання технологічних умов експлуатації ґрунтів призводить до зниження вмісту гумусу у ґрунтовому покриві і як наслідок до зменшення або навіть втрати родючості ґрунтів.

РОЗДІЛ 2. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПРОДУКТІВ ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ

2.1. Аналіз складу ТПВ та перспективи їх застосування у якості субстрату для процесу вермикультивування

Тверді відходи – це сміття, шлам та інші матеріали, включаючи тверді, рідкі, напівтверді або газоподібні матеріали, що містяться в них, які утворюються у результаті промислових, комерційних, гірничодобувних і сільськогосподарських робіт [10]. Велика кількість твердих побутових відходів (ТПВ) утворюється щодня, оскільки швидкість утворення зростає навіть швидше, ніж процеси урбанізації. Інтенсифікація виробництва твердих побутових відходів протягом 10 років збільшилася з 0,68 млрд тонн на рік у 2010 році до 1,3 млрд тонн на рік у 2020 році. Очікується, що до 2025 року даний показник досягне 2,2 мільярда тонн на рік, а до 2050 року – 4,2 мільярда тонн на рік [2].

Тверді побутові відходи викликають глобальну проблему у країнах, що розвиваються, хоча індустріально розвинені країни виробляють також велику кількість відходів [6].

Склад ТПВ – це розподіл окремих складових компонентів у побутових відходах, таких як залишки їжі (овочі, фрукти, садові відходи і т. д.), папір та картон, пластик, скло, метали (чорні та кольорові), текстиль, дерево, небезпечні матеріали (батареї, акумулятори, тара від розчинників, ртутні лампи, телевізійні кінескопи і т. д.), кістки, шкіра, гума, а також залишки побутових відходів після вилучення окремих компонентів. Цей склад виражається у відсотках від загальної маси відходів.

Співвідношення компонентів твердих побутових відходів у населених пунктах залежить від кількох чинників, таких як джерело утворення, рівень благоустрою (особливо для житлових зон), сезон року та кліматичні умови. Тому морфологічний склад ТПВ може значно відрізнятись як у часі, так і в просторі.

Аналіз морфологічного складу ТПВ є важливим для впровадження в населених пунктах сучасних ефективних технологій управління побутовими відходами.

Порівняння середнього складу відходів у країнах з різним рівнем розвитку показує значні відмінності вмісту практично всіх компонентів ТПВ. При переході від бідних до багатих країн спостерігається значне зростання вмісту паперу та картону з 2,3% до 32%. У той же час, вміст органічних відходів знижується з 61% до 26%. У розвинених країнах значна частина продуктів харчування продається у готовому до споживання вигляді, що призводить до того, що більшість відходів від переробки цих продуктів залишається на переробних підприємствах і включається до категорії промислових відходів. Більшість продуктів також постачається вже у фасованому вигляді, що призводить до збільшення вмісту паперу, пластику та картону у складі ТПВ [11].

Характерні зміни вмісту скла та пластику також варто відзначити. У країнах, що розвиваються загальний вміст скла та пластику становить приблизно 5%, при цьому скло перевищує пластик у 2 рази. У перехідних країнах загальний вміст скла та пластику зростає до 13%, з них лише близько 2% припадає на скло, що пояснюється популярністю одноразового використання пластикової тари. У розвинених країнах, де проблеми екології та ресурсозбереження мають важливе значення, використання багаторазових скляних контейнерів зростає, що призводить до збільшення вмісту скла у відходах до 10%, при одночасному зменшенні вмісту пластику до 8%. Вміст текстилю, гуми та шкіри у відходах також змінюється нерівномірно. У країнах з низьким економічним рівнем вміст цих матеріалів становить до 7%

від загальної маси відходів, в той час як країнах, що розвивається він зростає до 14%. Однак, в країнах, що розвивається відсутня ефективна система збору цих відходів, що призводить до того, що основна маса цих відходів потрапляє на сміттєзвалища [10].

Така ситуація призводить до зміни природи проблем, пов'язаних з управлінням твердими побутовими відходами. Якщо для менш розвинених країн основними є санітарно–гігієнічні питання, то для розвинених країн це проблеми ресурсозбереження та екології. У таких країнах, як Україна, яка перебуває на перехідному етапі, характерною є наявність обох проблем одночасно[6].

2.1.1 Морфологічний склад ТПВ в Україні

На рис 2.1. представлено усереднений морфологічний склад ТПВ, характерний для України [2].

Фізичні характеристики ТПВ, такі як щільність, вологість, зольність, зв'язність, зчеплення, компресійність (залежність тиску від ступеня ущільнення), абразивність та корозійність, а також санітарно–бактеріологічні характеристики, є основними параметрами, які визначають властивості відходів. Фізичні властивості мають велике значення для процесів переробки відходів і визначають їхню придатність для подальшого використання або утилізації[2,10].

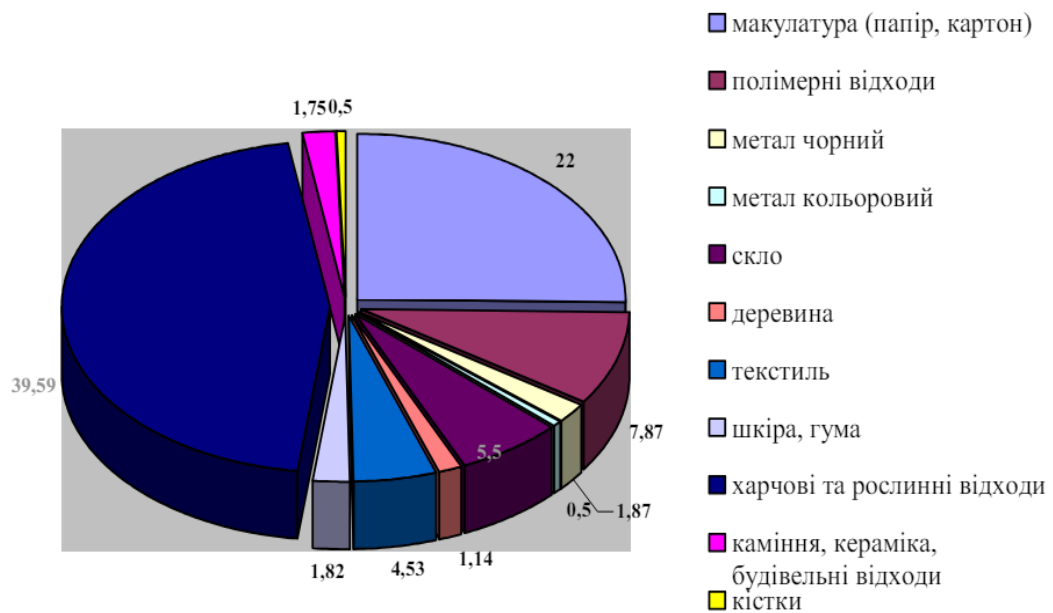


Рис.2.1 – Усереднений морфологічний склад ТПВ в Україні, відсоток маси [2]

Фізичні характеристики ТПВ, такі як щільність, вологість, зольність, зв'язність, зчеплення, компресійність (залежність тиску від ступеня ущільнення), абразивність та корозійність, а також санітарно–бактеріологічні характеристики, є основними параметрами, які визначають властивості відходів. Фізичні властивості мають велике значення для процесів переробки відходів і визначають їхню придатність для подальшого використання або утилізації [2,10].

Вологість твердих побутових відходів може значно варіюватися відповідно до складу відходів та умов їх зберігання. На переважну більшість впливає вологість компонентів відходів, а також умови зберігання і термін їхнього зберігання. Наприклад, якщо природний вміст води в матеріалах, таких як папір, картон, деревина, зазвичай не перевищує 20–50%, то вологість харчових відходів часто перевищує 60%, а іноді навіть досягає 95% або більше[6].

У середніх широтах вологість ТПВ зазвичай складає 40–50%, тоді як у південних регіонах вона може коливатися від 35% до 70%. Умови зберігання

та доступність для атмосферних опадів суттєво впливають на вологість ТПВ. Наприклад, якщо відходи накопичуються на відкритих майданчиках, атмосферні опади можуть значно збільшити їх вологість. Вологість також змінюється протягом тривалого зберігання відходів, особливо в теплу пору року, коли органічні компоненти розкладаються, що призводить до додаткового виділення вологи[10].

Присутність у твердих побутових відходах (ТПВ) фрагментів металу, скла, кераміки, кісток спричинює часткове зношування тертєвих поверхонь, по яких відходи переміщуються. Це змушує будувати спеціальні бункери для зберігання відходів з металів, які більш стійкі до абразивного впливу, або обшивати конструкції з інших матеріалів металом[10].

Однак це створює іншу проблему. Оскільки деякі компоненти ТПВ мають високу вологість і містять значну кількість солей, а органічні складові можуть розкладатися з утворенням різних кислот, зростає корозійна стійкість як самого відходу, так і його фільтратів. При контакті з металами ТПВ спричиняють корозійний вплив через їхню високу вологість, наявність у фільтраті розчинів різних солей і кисле середовище ($\text{pH} = 5\text{--}6,5$)[10].

Санітарно-бактеріологічні властивості ТПВ пов'язані з великою кількістю вологих органічних речовин, які під час розкладання виділяють гнилісні запахи та фільтрат. Термін «фільтрат» використовується для опису рідкої фази, що утворюється на полігоні побутових відходів під час захоронення твердих побутових відходів з вологістю понад 55 % та через вплив атмосферних опадів, обсяг яких перевищує кількість вологи, що випаровується з поверхні полігона. Однак цей термін також використовується для опису рідини, яка виокремлюється з побутових відходів під час інших процесів обробки з ними, таких як збирання, зберігання, транспортування і т.д.[6].

Під час висихання відходів продукти неповного розкладання утворюють насичений пил, який містить значну кількість забруднювачів та мікроорганізмів, до 15 млрд на 1 г сухої речовини. Мухи, пацюки, птахи,

безпритульні собаки й кішки є розповсюджувачами патогенних мікроорганізмів. Крім того, в ТПВ містяться яйця гельмінтів, які можуть залишатися активними протягом десятків років і також виносяться за межі звалища відходів разом з пилом і фільтратом, забруднюючи водойми та ґрунт. Мікроорганізми, що містяться в ТПВ, можуть бути збудниками різних захворювань, таких як гепатит, дизентерія, туберкульоз, аскаридоз та інші. В Україні відбувається контроль бактеріального забруднення за допомогою загально визнаних методик, які спрямовані на виявлення санітарно-показових мікроорганізмів[10].

2.1.2 Хімічний склад ТПВ

Хімічний склад ТПВ може змінюватися, залежно від полігону та його місце знаходження. У таблиці 2.1 представлений хімічний склад ТПВ відносно кліматичних зон України.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад твердих побутових відходів

Показник	Кліматична зона України		
	Центральна	Південна	Північна
Зольність	28–44	20–44	21–35
Азот	0,9–1,9	1,2–2,7	1,2–1,6
Кальцій	2–3	4–5,7	2,1–4,8
Фосфор	0,5–0,8	0,5–0,8	0,4–0,5
Калій	0,5–1	0,5–1,1	0,4–0,5
Сірка	0,2–0,3	0,2–0,3	0,2–0,3
Вологість,%	40–50	40–70	48–60

Переважно до їх складу входить вуглець з домішками кальцію, фосфору, азоту, сірки, кисню та інших елементів [3].

2.1.3 Перспективи використання ТПВ

З огляду на склад та особливості ТПВ, можна зробити висновки, що їх утилізацію можна проводити за допомогою різних біотехнологічних методів, які є безпечними для навколишнього середовища.

Наприклад, у зв'язку з тим, що ТПВ містять значну кількість органічних речовин, на полігонах можлива утилізація органічної складової шляхом уловлювання біогазу. Основною метою сміттєпереробних заводів є ефективне управління твердими побутовими відходами, включаючи їх безпечне знешкодження та подальшу переробку для використання. Зазвичай це досягається за допомогою аеробного процесу компостування, який може супроводжуватися іншими технологіями, такими як вивезення частини ТПВ на полігони, спалювання на сміттєспалюючих заводах або міських теплоелектростанціях, а також піроліз без доступу повітря[6].

Органічні відходи включають у себе матеріали, які можуть розкладатися біологічно. Сюди входять продукти харчування, залишки овочів та фруктів, опале листя, а також інші рослинні та тваринні залишки[6].

В Україні близько 40% усіх побутових відходів становлять органічні матеріали. Оскільки значна частина цих відходів потрапляє на сміттєзвалища та там не використовується, втрачається великий потенціал цінного ресурсу. Потрібно відмітити, що органічні відходи можуть слугувати не лише джерелом забруднення довкілля, а й цінними ресурсами для виробництва біодобрив та біогазу. Компостування є одним з методів утилізації органічних відходів.

У зв'язку з вище сказаним, з огляду на особливості складу ТПВ – приблизно 40% органічних та рослинних залишків, їх можна застосовувати для технології вермикультивування, і як наслідок отримувати найкраще біодобриво – біогумус, яке порівняно з компостом, більш збагачене корисними біологічно–активними речовинами та у якому повністю відсутні умовно–патогенні та патогенні мікроорганізми. Ще однією суттєвою

перевагою біогумусу є відсутність насіння бур'янів. Окрім цього, популяція черв'яків, які утворюється у надлишку може використовуватися у якості джерела білкового корму для сільського–господарських тварин.

2.2 Особливості процесу вермикультивування

Вермикультура – це система для переробки органічних відходів за допомогою черв'яків, в якій відбувається процес вермикультивування, тобто біоконверсія органічних відходів у високоякісний біогумус.

Основні компоненти, що забезпечують процес вермикультивування – це власне вермикультура, що складається з черв'яків, субстрат та контейнер або площа, де відбувається біотрансформація.

У якості субстрату виступають органічні відходи (тверді побутові відходи (ТПВ), залишки рослин, харчові відходи тощо).

Вермикультура – зазвичай використовуються черв'яки р. *Eisenia*, виду *Eiseniafetida*.

Контейнер або площа для культивування: може бути як закритою (контейнери, теплиці), так і відкритою (бурти, під навісами).

Особливості культивування: процес забезпечується підтриманням оптимальних умов для життя черв'яків: вологість 70–80%, температура 15–25°C, рН 6,5–7,5.

При цьому відбувається регулярне додавання нових порцій відходів та перемішування субстрату. Додаткове внесення біотрансформуючого субстрату залежить від інтенсивності процесу вермикультивування.

Технології вермикультивування

Загалом існує декілька поширених технологій процесу вермикультивування, що може бути застосований у промислових масштабах.

Метод у буртах

Даний метод полягає у тому, що органічні відходи викладаються на поверхню землі у вигляді буртів (рис. 2.2). Періодично додаються нові порції відходів та здійснюється полив для підтримання вологості.



Рис 2.2. Зображення буртів[2]

Переваги: простота в організації та низькі витрати на обладнання.

Недоліки: процес залежить від умов навколишнього середовища та клімату (може бути сезонним), труднощі у контролі температури та вологості.

Метод під навісами

Процес вермикультивування облаштовується під навісами, що захищають субстрат від дощу та прямих сонячних променів.

Використовуються контейнери або підняті грядки.

Переваги методу: кращий контроль мікроклімату та захист від погодних умов.

Недоліки: більш складна та дорога інфраструктура, потребує більше простору (площі).

Кількість особин при первинному внесенні у субстрат

При первинному внесенні черв'яків у субстрат рекомендується заселяти приблизно 0,5–1 кг черв'яків на 1 м², що відповідає приблизно 500–1000 особин на 1 м².

Цикл вермикультивування

Один цикл вермикультивування, від закладки субстрату до отримання біогумусу, займає приблизно 2–3 місяці. Протягом цього часу органічні відходи перетворюються на високоякісний біогумус, який може бути використаний як добриво.

При цьому потрібно дотримуватися певних параметрів середовища для забезпечення процесу вермикультивування:

- 1) Температура: оптимальний діапазон температур для вермикультивування становить 15–25°C.
- 2) рН: оптимальний рівень – 6,5–7,5.
- 3) Вологість: субстрат повинен мати вологість на рівні 70–80%.

Особливості процесу вермикультивування взимку та влітку

Для того, що забезпечити захист вермикультури взимку від низьких температур, наприклад, використовують теплиці або інші теплі приміщення, що мають певний мікроклімат.

Можливе додаткове утеплення бургтів за допомогою соломи, листя або інших органічних матеріалів.

Підтримка стабільної температури за допомогою обігрівачів у разі сильних морозів.

Влітку, навпаки, через високі температури, може статися перегрів культури. Тому потрібно забезпечити затінення та достанню вентиляцію процесу. Проводити регулярне зволоження субстрату для запобігання його пересиханню. Вести моніторинг температури субстрату та здійснювати контроль мікроклімату.

Методи відділення біомаси (черв'яків) від біогумусу

Метод просіювання: технологія полягає у використанні сит з різними розмірами отворів для просіювання субстрату. Черв'яки залишаються на ситі, а біогумус проходить крізь отвори.



Рис 2.3. Метод просіювання

Переваги: швидкий та ефективний метод для великих об'ємів.

Недоліки: потребує спеціального обладнання та може травмувати черв'яків.

Метод світлової сегрегації

Для цього субстрат викладається тонким шаром на світлому місці. Черв'яки мігрують від світла у глибші шари, залишаючи біогумус на поверхні.

Переваги: не травмує черв'яків, простий у виконанні.

Недоліки: тривалий процес, потребує постійного спостереження.

Метод годівлі в одному місці

Технологія полягає у тому, що створюється зона з високою концентрацією їжі в одному кінці контейнера або бурта. Черв'яки мігрують до цієї зони, що дозволяє зібрати біогумус з іншого кінця.

Переваги: не травмує черв'яків, ефективний для невеликих об'ємів , але при цьому не відділяється біомаса від субстрату, тому не підходить у тому випадку, коли потрібно відділити самих тварин.

Недоліки: потребує більше часу та контролю.

Ми пропонуємо застосовувати метод просіювання, так як він є найбільш ефективним та економічно вигідним. Особини, які будуть отримані таким чином можна використовувати для подальшого процесу біотрасформації, а надлишок – застосовувати для годівлі тварин (білковий корм) або реалізовувати.

Перспективи використання ТПВ для вермикультивування

Для того, щоб забезпечити процес вермикультивування ТПВ, необхідно здійснювати попередню підготовку даних відходів:

1) Провести сортування відходів та здійснити видалення неорганічних компонентів.

2) Забезпечити подрібнення великих частин відходів для полегшення їх переробки черв'яками.

Завантаження ТПВ здійснюється періодично, у міру переробки попередніх порцій субстрату.

Для того, щоб використати у якості субстрату ТПВ, їх потрібно певним чином підготувати.

Відділення відходів скла та металів від ТПВ для вермикультивування

Даний процес можна забезпечити за допомогою декількох методів:

Магнітна сепарація: для відділення металів використовується магнітний сепаратор. Це ефективний метод для видалення заліза та інших магнітних матеріалів.

Ручне сортування: перед додаванням відходів до вермикультури, ТПВ проходять ручне сортування для видалення скла та інших небажаних матеріалів.

Сито та грохоти: використання грохотів та сит для відділення великих часток (скла, металів) від органічного матеріалу.

Найбільш ефективним є метод магнітної сепарації, тому ми пропонуємо застосовувати його для підготовки ТПВ до вермикультивування.

2.3. Переваги застосування біогумусу у сільському господарстві

Багато досліджень проведених вченими різних країн світу підтверджують[11], що однією з найперспективніших і практично безвідходних біотехнологій переробки органічних відходів є вермикультивування. Дослідження підкреслюють, що черв'яки р. *Eisenia* мають значний позитивний вплив на родючість ґрунту, цикли речовин у природі та інші аспекти екосистеми[11].

Біогумус можна використовувати у наступних напрямках:

1) Підвищення врожайності сільськогосподарських культур[26]. Вирощування таких овочевих культур (рис. 2.3, 2.4), як помідори (*Lycopersicon esculentum*), баклажани (*Solanum melongena*), загальна продуктивність картоплі були значно вищими із застосуванням у якості добрива біогумусу, порівняно з контролем [4].



Рис 2.3. Помідори (*Lycopersicon esculentum*)[17]



Рис 2.4. Баклажани (*Solanum melongena*)[1]

2) Сприяє покращення росту овочевої культури з більшим розвитком квіток і плодів. Є дані, які говорять про стимулювання росту пересаджених томатів, при цьому біомаса пагонів збільшувалася до 2,2 рази. Відмінності у зростанні пояснювалося різницею у вмісті поживних речовин у горщикових

сумішах. Застосування біогумусу підвищує схожість насіння, висоту стебла, кількість листків, площу листків та їх суху масу, довжину коренів, кількість коренів, загальний урожай, кількість плодів [5].

3) Захист рослин – встановлено зменшення кількості захворювань у рослин при використанні біогумусу. Лабораторні дослідження Корнельського університету показали перспективність застосування твердого біогумусу та його неаерованого екстракту проти збудника *Pythiumaphanidermatu*, що провокує захворювання у багатьох овочевих культур [5].

4) Позитивний вплив на здоров'я населення екологічно–чистої продукції [6].

Таким чином, застосування біогумусу має подвійний ефект:

1) Покращення та відновлення родючості ґрунтів: біогумус містить високу концентрацію поживних речовин, мікроелементів та корисних мікроорганізмів, що сприяє підвищенню врожайності та поліпшенню структури ґрунту.

2) Утилізація органічних відходів: вермикультивування дозволяє ефективно переробляти органічні відходи, зменшуючи їх обсяги на полігонах та сприяючи екологічно чистому виробництву.

Вермикультивування – це сучасний та екологічно безпечний спосіб переробки та утилізації органічних відходів, що сприяє збереженню навколишнього природного середовища.

Інтенсифікація вирощування черв'яків стає важливим кроком у розв'язанні ще однієї вікової проблеми у виробництві – скорочення циклу кругообігу білка у природі. Відомо, що тварини абсорбують лише частину їжі, зокрема білкової, і решта – приблизно 40% – переходить у відходи, поживні речовини розкладаються, потрапляють у ґрунт, а потім – у рослини, що стають їжею для тварин і людини.

Черв'яки також є важливою добавкою до раціону свиней, великої рогатої худоби та інших тварин, допомагаючи збалансувати годівлю та забезпечуючи високу якість тваринницької продукції.

2.4. Переваги та недоліків використання продуктів вермикультивування

Вважається, що біогумус у 5–10 разів ефективніше традиційних природних добрив, так як до його складу входять усі необхідні для росту рослин поживні речовини та мікроелементи та містить велику кількість гумусових сполук. Біогумус – це унікальне мікробіологічне добриво, в якому у великих кількостях мешкає співтовариство мікроорганізмів – основа родючості ґрунту.

Відповідно до складу і родючості ґрунту в ґрунт використовують біогумус (3–10 т/га).

Внесення у ґрунт біогумусу збільшує врожайність кукурудзи та інших культур на 30–40%, а зерна, картоплі та інших овочів – майже на 70%. Водночас використання біогумусу покращує якість продукції, підвищує вміст білка в зерні, вміст глюкози у фруктах і 15–45% вітамінів в овочах, як наслідок, дозволяє отримати чисту продукцію, без вмісту нітратів, хлору та інших шкідливих сполук[1].

Використання біогумусу особливо ефективно для забруднених і деградованих ґрунтів. Надходження біогумусу в ґрунт забезпечується як у процесі посадки або посіву, так і на поверхні з подальшою обробкою. Унікальною властивістю біогумусу є те, що даний вид добрива не містить патогенної мікрофлори, яйцеклітин гельмінтів, насіння бур'янів і солей важких металів. Споживання біогумусу рослинами відбувається легко і поступово протягом усього життєвого циклу. Продукція після використання

даного вида біодобрива виростає екологічно чистою. Використання достатньої кількості біогумусу (не менше 0,5 кг на 1 м²) сприяє дозріванню фруктів, овочів та ягід швидше на 2–3 тижні [7].

Процес вермикультивування відбувається швидше та повніше, ніж активність одних лише ґрунтових мікроорганізмів у процесі компостування. Поглинаючи разом із ґрунтом величезну кількість поживних решток, нематоди, бактерії, гриби, дощові черв'яки перетравлюють їх, виділяючи копроліт з великою кількістю гумусу, власної мікрофлори, амінокислот, ферментів, вітамінів та інших біологічно активних речовин, які знешкоджують умовно–патогенні та патогенні мікроорганізми, особливо якщо у якості субстрату застосовують відходи тваринницьких комплексів. Під час цього процесу організм втрачає запах, знезаражується та набуває гранульованої форми.

Основними поживними речовинами біогумусу є сполуки гумінових кислот і наявність усіх необхідних рослині макро– та мікроелементів. Необхідні для живлення рослин елементи, що містяться в біогумусі, взаємодіють з мінеральними компонентами ґрунту і утворюють складні сполуки. Таким чином, вони повільно розчиняються у воді, забезпечуючи живлення рослин протягом тривалого часу [7].

З'явилася нова галузь – органічне землеробство, що ґрунтується на застосуванні лише біодобриків та біопрепаратів. У європейських країнах широко впроваджуються загальні методи збору та переробки побутових органічних відходів серед населення для отримання необхідної кількості компостів. Для цього, як правило, централізовано збирають спеціальні контейнери або ємності та контролюють весь процес компостування за допомогою дощових черв'яків (називається вермитехнологічним) для виробництва вермикомпостів.

Працівники у сфері компостування часто не знають про гігієнічні критерії компостування. Крім того, можуть бути негативні результати, які сприятимуть відмові від компостування в цілому. Таким чином, необхідно

проаналізувати ризики, які виникають під час компостування. Методологія оцінки ризиків є новою, але швидко розвивається в усьому світі міждисциплінарною науковою тенденцією. Вперше він був використаний у США у 80-их роках минулого століття. Нині він широко запроваджений у більшості розвинених країн і рекомендований Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) як провідний інструмент у визначенні кількісної шкоди здоров'ю, пов'язаної з впливом шкідливих речовин та факторів навколишнього середовища [7].

Сьогодні можна сказати, що поводження з відходами будь-якою технікою пов'язане з багатьма ризиками. Щоб визначити оцінку ризику компостування різноманітних органічних відходів, необхідно чітко уявляти динаміку самого процесу компостування. Компостування – це динамічний процес, який відбувається через діяльність спільноти живих організмів різних груп: мікрофлори – бактерій, актиноміцетів, гриби, дріжджі, водорості; мікрофауна – найпростіші; макрофлора – вищі гриби та макрофауна – двоногі, кліщі, черви, мурахи, терміти, павуки, жуки.

У процесі компостування беруть участь багато видів бактерій (≈ 2000) і щонайменше 50 видів грибів. У цьому процесі беруть активну участь не тільки бактерії, гриби та актиноміцети, а й значну роль відіграють безхребетні. Це основні мешканці ґрунту: мурахи, жуки, личинки плодожерки, багатоніжки, кліщі, нематоди, дощові черв'яки, павуки, енхітреїди (білі черв'яки) та інші.

Багато ґрунтових тварин роблять великий внесок у процес компостування матеріалу з точки зору його фізичного подрібнення. Ці тварини також сприяють змішуванню різних компонентів компосту. Дощові черв'яки відіграють основну роль на завершальних етапах процесу компостування та подальшого включення органічних речовин у ґрунт у помірному кліматі. Таким чином, компостування є складним, багатоетапним процесом. Кожна стадія характеризується різними консорціумами організмів [8].

Стає очевидним, що більш важливе місце в списку негативного впливу біогумусу у процесі компостування займають патогенні, алергенні та мікробні токсини. Джерелами цих небезпек є звичайні патогени фекального походження (бактерії, віруси, цисти та яйця кишкових паразитів). Друга небезпека пов'язана з розвитком мезо- і термофільних грибів і актиноміцетів, які відіграють важливу роль у розкладанні відходів. Серед збудників інфекцій цих мікроорганізмів виявляються алергічні захворювання.

Більшість органічних відходів містять патогени. Однак компостований матеріал не є природним середовищем існування для патогенів, і вони поступово знищуються в компості в результаті високих температур, конкуренції за джерела енергії та продукти мікробного метаболізму. Відомо, що сибірська виразка може знаходитися в ґрунті понад 100 років. За вологості 40–60% і аеробного розкладання паличка сибірської виразки гине в компості через 17 днів. Під час вермикомпостування більшість збудників хвороб людини гине під дією травних ферментів черв'яків і ґрунтових мікроорганізмів. 17 років тому в США шляхом проведених експериментів було показано, що черв'яки можуть зменшувати популяцію патогенних мікроорганізмів лише за 144 години, а досягнення нормальних показників концентрації фекальних коліформ відбувалися через 24 години (98,7%), сальмонел – через 72 години (99,9%), ентеровірусів – через 72 години (98,82%), яєць гельмінтів – через 144 години (98,87%) [8].

Епідеміологічні та експериментальні дослідження показали, що під час виробництва компосту потенційно може розвиватися патогенна цвіль. Це призводить до дуже несприятливих наслідків, особливо для людей, які задіяні у виробництві компосту. Виявлено чіткий зв'язок нетипового розвитку алергічного риніту, кон'юнктивіту та астми при контакті зі спорами грибів. Темнозбарвлені види грибів, які є основними «постачальниками» спор у навколишнє середовище, можна знайти в повітрі або на окремих частинках рослинного і тваринного походження у вигляді так званого біоаерозолі. Як в медицині, так і в мікології виникла велика група

захворювань, викликаних грибами, а до першої групи відносяться гриби, здатні викликати мікози, але в той же час можуть розвиватися і зберігатися в навколишньому середовищі. Імунна система людини в нормальному стані справляється з шкідливими спорами цвілі, які потрапляють в організм через дихальну, травну або репродуктивну системи, але ці так звані імунодефіцитні умовно–патогенні гриби стають серйозним патогенним фактором.

Було виявлено, що спільнота мікроскопічних грибів у вермикомпості в деяких аспектах відрізняється від аналогічних спільнот у звичайному компості, а саме різноманітністю, видовим складом і чисельністю. Звичайний компост має високу видову різноманітність мікроскопічних грибів. Ці відмінності чітко спостерігаються на останніх стадіях процесу компостування. Збіднення видового складу було пов'язане зі зменшенням кількості рідкісних видів мікроскопічних грибів. Слід зазначити, що кількість і частота появи деяких важливих у медицині грибів були загалом вищими у біогумусах, ніж у звичайних компостах. Ця тенденція спостерігалася для роду *Aspergillus* [9].

Слід звернути увагу на високу ймовірність утворення мікроскопічних грибів, характерних для вермикомпосту. До складу угруповань мікроскопічних грибів вермикомпосту часто входять види родів *Aspergillus*, *Fusarium*, *Chrysosporium*, що викликає інтерес лікарів. Наявність плісняви повинна бути предметом мікологічного контролю вермикомпостів під час активної фази компостування в отриманому компості та в навколишньому середовищі [9].

Тому компостування в промислових масштабах має бути предметом перевірки служб безпеки через аерозолі, що містять алергенні, патогенні мікроорганізми та токсини. Промислове компостування має бути контрольованим процесом, який веде до оптимального очищення, тобто усунення алергенів і патогенів, а також розкладання органічних відходів.

Застосування продуктів вермикультивування

Біогумус – це органічне добриво, яке містить високу концентрацію поживних речовин, що сприяє росту та розвитку рослин. Щоб правильно внести біогумус у ґрунт, слід дотримуватися певних рекомендацій. Перш за все, кількість біогумусу залежить від типу ґрунту та потреб конкретних культур.

Зазвичай, для відкритого ґрунту рекомендується вносити від 1 до 5 кг біогумусу на 1 м². Для теплиць норма може бути зменшена до 2–3 кг на 1 м². Біогумус вноситься при підготовці ґрунту перед посадкою рослин, змішуючись з верхнім шаром землі на глибину 10–15 см.

Іншим цікавим продуктом вермикультивування є біогумат. Біогумат – це рідке добриво, яке отримують шляхом екстракції корисних речовин з біогумусу. Для його одержання застосовують спеціальні технології, які включають екстрагування біогумусу водою, іноді з додаванням мікроелементів. Процес отримання біогумату може включати фільтрацію, пастеризацію та додаткове збагачення корисними мікроорганізмами.

Обробка рослин біогуматом здійснюється різними способами. Один з найпоширеніших методів – полив розчином біогумату. Для цього біогумат розводять водою у співвідношенні 1:10 або 1:20 залежно від концентрації вихідного розчину. Полив здійснюють під корінь або по листям для підживлення та зміцнення рослин.

Інший метод – обприскування рослин, що дозволяє ефективно забезпечити рослини необхідними мікроелементами, особливо у періоди активного росту та цвітіння. Для обприскування використовують менш концентровані розчини, зазвичай 1:20 або навіть 1:50.

Таким чином, біогумус та біогумат є ефективними засобами для покращення родючості ґрунту та підвищення врожайності рослин. Правильне внесення та обробка рослин цими добривами забезпечує стійкий розвиток рослин та підвищення їх імунітету до хвороб.

2.5 Аналіз підвищення родючості ґрунтів шляхом застосування продуктів вермикультивування

Правильне використання органічних добрив може значно підвищити родючість ґрунту та відповідно, врожайність сільськогосподарських культур.

Застосування продуктів вермикультивування сприяє поліпшенню фітосанітарного стану посівів сільськогосподарських культур. З використанням вермикомпосту (4 т/га) кількість бур'янів залишалась на рівні контролю, в той час як за внесення гною (40 т/га) на посівах просапних культур спостерігалось збільшення їх кількості на 12,4–19,3 шт/м² порівняно з контролем. Крім того, застосування стимуляторів росту рослин, отриманих на основі біогумусу, підвищує стійкість сільськогосподарських культур до хвороб. Наприклад, на посівах цукрового буряку спостерігалось зниження площі листків, вражених церкоспорозом, на 10% в порівнянні з контролем та на 15% в порівнянні з варіантом з гноєм.

Біогумус має позитивний вплив на формування основних елементів продуктивності рослин, таких як висота, кількість суцвіть і зерен. Середньо за 4 роки внесення 2 т/га біогумусу сприяло досягненню високої продуктивності гречки в розмірі 1,56 т/га. Це також призвело до збільшення маси 1000 насінин на майже 1 г порівняно з контрольним варіантом [12].

Економічна оцінка використання біогумусу під гречку показала, що його внесення у дозі 100 та 200 кг/га призвело до чистого доходу та рівня рентабельності відповідно в 210–250 грн. і 24,7–26,0%. З іншого боку, місцеве внесення біогумусу у дозі 300 кг/га забезпечило рівень рентабельності 57,3% та чистий дохід в розмірі 570 грн/га, що в порівнянні з контрольним варіантом становило відповідно 36,0% та 270 грн/га. Це підтверджує економічну доцільність такого заходу [12].

Біогумус сприяє значному зростанню врожайності різноманітних культур: картоплі та овочів на 50%, фруктів і ягід на 40%, а також зернових, технічних і кормових культур. Ці властивості стають особливо важливими в умовах глобального потепління, оскільки біогумус утримує вологу в ґрунті протягом тривалого періоду.

Крім того, вирощені на біогумусі овочі, фрукти та інші сільськогосподарські культури мають привабливий зовнішній вигляд і насичений колір, а також виражений аромат. Їх тривалий термін зберігання значно збільшується, що є додатковою перевагою.

Вчені Полтавського сільськогосподарського інституту, П.М. Чапко та П.І. Воропін, провели обширні дослідження, щоб вивчити вплив біогумусу на урожайність та якість сільськогосподарських культур, а також на стан родючості ґрунту. Ці дослідження були проведені в рамках співпраці з підприємством «Прогрес» у Диканському районі [12].

На основі результатів цих досліджень у 2000 та 2002 роках були розроблені «Тимчасові рекомендації по використанню вермикомпосту «Ефект» ТУ .У. 13530137.001.95» та «Рекомендації по використанню вермикомпосту «Ефект», в яких визначено технологію використання вермикомпосту як стартового добрива. Для цього було розроблено гранульовану форму вермикомпосту, яка застосовується для внесення в рядки під час сівби.

Ця технологія має кілька переваг:

- невеликі витрати добрива та матеріальних ресурсів;
- висока агрономічна ефективність, що проявляється у підвищенні врожайності і значному покращанні родючості ґрунтів, а також у збільшенні коефіцієнту корисної дії основних добрив;
- високий економічний ефект.

Використання вермикомпосту в невеликих кількостях як основного добрива має позитивний вплив на врожайність пшениці озимої. Найбільш

ефективним є використання вермикомпосту як стартового добрива, внесеного під час сівби в один рядок разом із насінням зернових, бобових та просапних культур. У такому випадку приріст урожаю пшениці озимої складає 5,8 ц/га, що становить 38,4%.

Додавання 4 т/га вермикомпосту призводить до збільшення врожайності цукрового буряка на 48 ц/га, а зернової кукурудзи на 11 ц/га, що відповідно становить 18,8% і 24,2%. При застосуванні такої ж дози під гречку і просо врожай зростає відповідно на 11,7% і 38,7% [12].

Дослідження Н.О. Василенко, М.М. Опари та В.О. Воропіної показують, що внесення одинарної дози вермикомпосту (500 кг/га) призвело до зростання врожайності капусти на 31,8 ц/га, що відповідає 8,9%. Подвоєння і потроєння дози спричинили підвищення врожайності на 90,7 ц/га (25,5%) в середньому порівняно з контролем. Найвищу врожайність було отримано при внесенні потрійної дози вермикомпосту. Маса одного качана капусти зростає в середньому на 197,4 г (19,9%) порівняно з контролем. Вміст сухої речовини, аскорбінової кислоти та цукру також збільшився в межах допустимих норм, хоча вміст нітратів у капусті трохи зріс.

Щодо досліджень Горбач Т.Г., Воропіною В.О., та Шокало Н.С., встановлено, що використання вермикомпосту призвело до підвищення врожайності помідорів на 0,77 кг/м² в середньому на всіх варіантах, що склало 19,4%. При цьому внесення одинарної дози вермикомпосту призвело до приросту врожайності на 11,3%, а подвоєння і потроєння дози — відповідно 20,1% і 26,9% [12].

В умовах навчального господарства «Самарський» Дніпровського Державного аграрного університету використання біогумату в середньому за п'ять років призвело до приросту врожаю помідорів на 10% порівняно з контролем, а спільне використання біогумату з агрофілом призвело до синергетичного ефекту, збільшивши врожайність на 21%[9].

О.О. Олійник підкреслює, що використання продуктів вермикультивування має важливу перевагу в енергетичній та економічній

ефективності порівняно з традиційними добривами. Внесення стимуляторів на тлі біогумусу призвело до підвищення коефіцієнтів енергетичної ефективності для різних культур. Наприклад, для ячменю ярого цей коефіцієнт становив 2,02, для кукурудзи на силос – 13,85, а для цукрового буряку – 5,67, порівняно з 1,2, 7,59 та 3,63 відповідно при внесенні гною. Результати виробничих випробувань свідчать про підвищення рентабельності при використанні біогумусу на пшениці озимій та буряку цукровому до 326 та 30,8% відповідно при внесенні 4 т/га вермикомпосту [14].

У зв'язку з вище сказаним, можна зробити висновки, що вермикультивування є перспективним напрямком утилізації різноманітних відходів, у тому числі ТПВ, які є великою проблемою сьогодення. За рахунок зменшення кількості відходів, можна покращити стан навколишнього середовища та отримати якісне біологічне добриво – біогумус, яке застосовують для підвищення родючості ґрунтів. Так як, окрім проблеми утилізації ТПВ, іншою, не менш нагальною проблемою сучасності є втрата або погіршення стану ґрунтів, особливо їх родючості.

2.6. Розробка рекомендацій щодо виробництва біогумусу

Пропонуємо розглянути технологічну лінію виробництва біогумусу у приміщенні. Так, як даний варіант підходить і для спекотного літа, так і для зимового сезону. Тому такий варіант вермикультивування, більш доцільно застосовувати у нашому регіоні.

Для будівництва приміщень для вермикультивування необхідно використовувати екологічно чисті матеріали, які не виділяють шкідливих речовин і не впливають негативно на навколишнє середовище. Це можуть бути натуральні будівельні матеріали або сучасні екологічні альтернативи.

Матеріали повинні бути стійкими до корозії, особливо у вологому середовищі, яке характерне для вермиферм. Нержавіюча сталь,

високоякісний пластик та бетон з антикорозійним покриттям є оптимальними варіантами для конструкції приміщень.

Для внутрішнього оздоблення стін можна використовувати спеціальні вологостійкі фарби та покриття, які легко миються та дезінфікуються. Це забезпечить тривалу експлуатацію приміщень та підтримання їх чистоти.

Покриття підлоги:

Підлога повинна бути покрита матеріалом, що легко миється, дезінфікується та не піддається корозії. Для цього можна використовувати керамічну плитку, спеціальні полімерні покриття або епоксидні смоли.

Важливо забезпечити належний стік води, особливо при митті приміщень, тому підлога повинна мати нахил та дренажні системи для зручного відведення рідини.

Матеріал підлоги повинен бути стійким до механічних пошкоджень та витримувати навантаження від обладнання та контейнерів з ТПВ.

Зонування приміщення для вермикультивування:

Приміщення повинно бути розділене на функціональні зони, що дозволяє оптимізувати робочі процеси та мінімізувати ризики перехресного забруднення.

Основні зони включають:

1) Зона підготовки субстрату – відбувається підготовка матеріалів для розміщення черв'яків, зокрема подрібнення та змішування органічних відходів.

2) Зона розміщення вермиферм – це основна робоча площа, на якій розташовані контейнери або ящики з вермикультурою. Дане приміщення має бути добре вентильованим і підтримуватися в оптимальних умовах вологості та температури.

3) Зона збору та обробки біогумусу – здійснюється відбір готового біогумусу, його просіювання, упаковка та зберігання перед реалізацією.

Організація робочих процесів:

Зонування приміщення дозволяє полегшити організацію робочого процесу, забезпечуючи логічний потік матеріалів від підготовки до кінцевого продукту.

Кожна зона повинна бути оснащена необхідним обладнанням та інструментами, відповідно до її функцій. Наприклад, зона підготовки субстрату може мати подрібнювачі, змішувачі та контейнери для зберігання матеріалів.

Приміщення, де відбувається процес вермикультивування, необхідно обладнати зручними системами для поливу та контролю умов утримання черв'яків. Це можуть бути автоматичні поливальні системи, датчики вологості та температури.

Приміщення, що забезпечує відбір та обробку біогумусу, повинно бути обладнане просіювальними машинами, упаковувальними пристроями та місцями для зберігання готової продукції.

Додаткові приміщення:

Кімната для відпочинку та побутових потреб працівників, включаючи роздягальні, санітарні вузли та душові кімнати.

Складські приміщення для зберігання обладнання, інструментів та витратних матеріалів.

Офісні приміщення для адміністративного персоналу та ведення документації.

Санітарні вимоги та безпека:

Чистота та гігієна:

Приміщення повинно підтримуватися у чистоті та регулярно дезінфікуватися для запобігання розповсюдженню інфекцій та шкідливих організмів.

Важливо забезпечити належну утилізацію відходів та залишків ТПВ, щоб уникнути накопичення шкідливих речовин у приміщенні.

Безпека працівників:

Забезпечення належної вентиляції та освітлення для створення комфортних та безпечних умов праці.

Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) та навчання працівників правилам безпеки та охорони праці.

Обладнання та інструменти

Використовуються спеціальні контейнери або ящики для розміщення черв'яків і субстрату. Вони можуть бути виготовлені з пластику, дерева або металу, але повинні бути стійкими до вологи та корозії.

Ємності повинні мати дренажні отвори для відведення надлишкової вологи, щоб запобігти заболочуванню субстрату та створенню несприятливих умов для черв'яків.

Рекомендується використовувати контейнери з вентиляційними отворами або системами для забезпечення належного повітряного обміну, що сприяє підтриманню здорового середовища для черв'яків.

Важливо, щоб контейнери були легко доступні для обслуговування та збору біогумусу, а також для поповнення субстрату.

Системизрошення

Крапельне зрошення:

Системи крапельного зрошення дозволяють точно контролювати рівень вологості субстрату, подаючи воду безпосередньо до коренів рослини або субстрату, де розміщуються черв'яки.

Крапельні системи можуть бути автоматизовані, що дозволяє програмувати частоту та тривалість поливу, забезпечуючи рівномірне зволоження без зайвих витрат води.

Спринклерне зрошення:

Системи спринклерного зрошення розпилюють воду по поверхні субстрату, що сприяє підтриманню оптимальної вологості у всьому об'ємі контейнера.

Такі системи також можуть бути автоматизовані, забезпечуючи регулярний полив у встановлені проміжки часу.

Регулювання зрошення:

Системизрошення повинні мати можливість регулювання для забезпечення рівномірного зволоження субстрату в різних зонах приміщення. Це досягається за допомогою датчиків вологості та автоматичних регуляторів подачі води.

На нашу думку, доцільним буде застосовувати крапельне зрошення, так як воно забезпечить точний контроль рівня вологості субстрату та економію води.

Інструменти для забезпечення процесу вермикультивування

Лопати та граблі використовуються для перемішування субстрату, аерації, збору та переміщення матеріалів. Інструменти повинні бути зручними та легкими у використанні.

Візки для транспортування субстрату та біогумусу полегшують переміщення великих обсягів матеріалів, зменшуючи фізичне навантаження на працівників.

Спеціальні інструменти:

Інструменти для аерації субстрату, такі як аераційні валики або спеціальні лопатки, допомагають підтримувати належний рівень кисню в субстраті, що сприяє активній життєдіяльності черв'яків.

Інструменти для збору біогумусу, такі як сито або спеціальні скребки, дозволяють ефективно відокремлювати готовий біогумус від залишків субстрату та черв'яків.

Контейнери та обладнання для збору біогумусу

Контейнери для зберігання:

Контейнери з герметичними кришками забезпечують надійне зберігання та транспортування готового біогумусу, запобігаючи потраплянню вологи та зберігаючи якість продукту.

Важливо, щоб контейнери були виготовлені з матеріалів, що не вступають у реакцію з біогумусом та не виділяють шкідливих речовин.

Машини для збору та пакування:

Автоматизовані системи для збору та пакування біогумусу значно підвищують ефективність виробництва. Вони можуть включати механічні або вакуумні системи збору, а також автоматичні пакувальні машини.

Таке обладнання дозволяє зменшити ручну працю, забезпечити рівномірну якість продукції та підвищити обсяг виробництва.

Обладнання для просіювання:

Просіювальні машини використовуються для відділення біогумусу від крупних часток субстрату та інших домішок. Вони забезпечують однорідність готового продукту та полегшують його подальше використання або продаж.

Можуть бути як ручні, так і автоматизовані просіювальні установки, залежно від обсягів виробництва та вимог до якості продукції. Ми пропонуємо використовувати сита для просіювання.

Додаткове обладнання

Системи контролю параметрів:

Встановлення датчиків вологості, температури та кисню у приміщенні дозволяє постійно моніторити та регулювати умови утримання черв'яків, що сприяє їх активному розмноженню та продуктивності.

Автоматизовані системи контролю параметрів можуть бути підключені до центрального комп'ютера або мобільних пристроїв для оперативного керування.

Системи освітлення:

Використання ламп з низьким рівнем ультрафіолетового випромінювання для забезпечення достатнього освітлення робочих зон без негативного впливу на черв'яків.

Можливість регулювання інтенсивності освітлення для створення оптимальних умов роботи у різний час доби.

Розрахунок кількості субстрату та площі для вермикультивування Об'єм необхідного субстрату з ТПВ

У нашому випадку пропонуємо для організації вермикультивування використовувати 1000 тонн ТПВ на рік. Виходячи з цього, розрахуємо необхідний об'єм субстрату.

- **Щільність субстрату:** 0,5 тонни/м³
- **Об'єм субстрату:**
$$\text{Об'єм} = \frac{\text{Маса ТПВ}}{\text{Щільність}} = \frac{1000 \text{ тонн}}{0.5 \text{ тонни/м}^3} = 2000 \text{ м}^3$$

Розрахунок площі для розміщення вермиферми

Оптимальна висота шару субстрату для вермикультивування становить 0.3 м. Тоді площа, необхідна для розміщення субстрату, буде розрахована так:

- **Площа вермиферми:**
$$\text{Площа} = \frac{\text{Об'єм}}{\text{Висота шару}} = \frac{2000 \text{ м}^3}{0.3 \text{ м}} = 6666.67 \text{ м}^2$$

Вода для зрошення

Норми води для зрошення субстрату

Середня норма води для зрошення субстрату становить 1 літр на м² на день. Тоді розрахуємо загальну потребу у воді на рік:

- **Щоденна потреба у воді:**

$$\text{Щоденна потреба} = \text{Площа} \times \text{Норма води} = 6666.67 \text{ м}^2 \times 1 \text{ л/м}^2 = 6666.67 \text{ л/ден}$$

- **Річна потреба у воді:**

$$\text{Річна потреба} = 6666.67 \text{ л/день} \times 365 \text{ днів} = 2,433,334.55 \text{ л/рік}$$

Джерела водопостачання та системи зрошення

На нашу думку, доцільним буде застосовувати крапельне зрошення, так як воно забезпечить точний контроль рівня вологості субстрату та економію води. Воно дозволяє точно контролювати рівень вологості субстрату, подаючи воду безпосередньо до субстрату, де розміщуються черв'яки. Крапельні системи можуть бути автоматизовані, що дозволяє програмувати частоту та тривалість поливу, забезпечуючи рівномірне зволоження без зайвих витрат води, що робить їх економічно вигідними та ефективними.

Джерела водопостачання можуть бути наступні, збирання дощової води, використання ґрунтових вод або централізованого водопостачання. Найбільш ефективним є збирання дощової води, так як це дозволить значно знизити витрати на воду і, відповідно, зменшити вартість біогумусу.

Об'ємотриманогобіогумусу

Розрахуноквиходубіогумусу з певноїкількості субстрату

З 1 тонни субстрату отримуєтьсяприблизно 0, 5 тоннибіогумусу.

- **Об'ємотриманогобіогумусу:**

$$\text{Об'єм біогумусу} = \text{Маса ТПВ} \times 0.5 = 1000 \text{ тонн} \times 0.5 = 500 \text{ тонн}$$

Зберігання та пакуваннябіогумусу

- **Зберігання:**

- Біогумусзберігається у спеціальних контейнерах або мішках, які захищають від вологи та світла.

- Приміщення для зберігання повинно бути сухим та добре вентильованим.

- **Пакування:**

- Біогумуспакується в мішки по 25 кг або 50 кг для зручності транспортування та використання.

- Мішки повинні бути міцними та захищеними від вологи.

Внесеннябіогумусу на земельні ділянки

Для внесення біогумусу потрібно врахувати такі фактори, як тип ґрунту, види рослин, які ви плануєте вирощувати, та стан ґрунту. Зазвичай рекомендується вносити біогумус у таких дозах:

1. Для городніх культур: приблизно 3-5 кг біогумусу на 1 квадратний метр ґрунту. Це забезпечить рослинам необхідні поживні речовини і поліпшить структуру ґрунту.

2. Для садових культур і квітів: приблизно 1-3 кг на 1 квадратний метр. Це допоможе поліпшити цвітіння і здоров'я рослин.

3. Для газонів: можна використовувати біогумус в кількості 0,5-1 кг на 1 квадратний метр. Це сприятиме густоті і зеленості трави.

Приблизні розрахунки для невеликої ділянки площею 100 квадратних метрів:

- Для городніх культур: $100 \text{ кв.м} * 4 \text{ кг/кв.м} = 400 \text{ кг біогумусу}$.
- Для садових культур: $100 \text{ кв.м} * 2 \text{ кг/кв.м} = 200 \text{ кг біогумусу}$.
- Для газону: $100 \text{ кв.м} * 0,75 \text{ кг/кв.м} = 75 \text{ кг біогумусу}$.

Застосовувати біогумус можна як під час основної обробки ґрунту навесні чи восени, так і під час посіву чи пересадки рослин. Розподіляйте біогумус рівномірно по поверхні ґрунту, а потім перемішайте його з верхнім шаром ґрунту на глибину 5-10 см.

Біогумус не тільки збагачує ґрунт корисними мікроорганізмами, але й допомагає утримувати вологу, знижує кислотність ґрунту та підвищує його аерацію, що в сукупності сприяє кращому розвитку кореневої системи рослин.

Внесення біогумусу на поля

- Рівномірне розподілення біогумусу по поверхні ґрунту.
- Внесення може здійснюватися за допомогою розкидачів добрив або вручну.
- Після внесення біогумусу рекомендується легка обробка ґрунту для кращого проникнення добрива.

Найкращий час для внесення біогумусу – весна або осінь, коли ґрунт не надто сухий і не надто вологий.

У зв'язку з вище сказаним, біогумус, який можна отримувати шляхом вермикультивування ТПВ, сприятиме відновленню ґрунтів та покращенню врожайності сільськогосподарських культур. При цьому продукція, отримана таким чином, є екологічно «чистою». З іншого боку, вирішується питання накопичення органічних відходів, що також є проблемою сучасного світу.

ВИСНОВКИ

Нераціональне використання природних ресурсів, у тому числі ґрунтів, призвело до зниження, місцями навіть до втрати їх родючості. Великою проблемою сучасного світу є ерозивні процеси, виснаження та засоленість ґрунтів. Неконтрольоване застосування пестицидів, хімічних добрив та регуляторів росту, препаратів захисту рослин від комах і шкідників не покращують дану ситуацію, оскільки продукція, отримана таким чином має гірші органолептичні, хімічні та загалом нутритивні властивості.

З іншого боку, кількість відходів, у тому числі органічного походження, що продукується внаслідок людської життєдіяльності є дуже високою, що також негативно впливає на стан навколишнього середовища. Частково вирішити дані проблеми може біотехнологічний процес вермикультивування.

1. Вермикультура – це унікальний біологічний об'єкт, що складається з черв'яків р. *Eisenia*, які спеціалізуються на процесі біотрансформації різноманітних органічних відходів.

1. Процес вермикультивування спрямований на переробку твердих органічних відходів, що можуть мати різний склад. Після закінчення циклу, у результаті отримується високоефективного органічне добриво – біогумусу, аналогів якому не існує.

2. Біогумус використовують з метою покращення та відновлення родючості ґрунтів, для стимулювання росту та розвитку рослин, обробки насіння тощо. У процесі вермикультивування накопичуються також черв'яки р. *Eisenia*, які можна застосовувати у якості білкової добавки при годівлі тварин.

3. Аналіз стану ґрунтів показав, що проблема зниження їх родючості є актуальною як для України, так як і для багатьох країн Європи. Проаналізовано типи ґрунтів, їх поширення та особливості у різних регіонах Європи, що показало необхідність застосування нових підходів до їх експлуатації.

4. Представлено усереднений морфологічний та хімічний склад твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні. Обґрунтовано перспективи

застосування ТПВ як сировини для отримання біогумусу шляхом вермикультивування.

5. Визначено основні технологічні етапи та параметри процесу вермикультивування ТПВ на основі вермикультури. Наведено попередня підготовка ТПВ для забезпечення процесу вермикультивування.

6. Запропоновано при підготовці ТПВ до процесу вермикультивування застосовувати метод магнітної сепарації, що на нашу думку, є найбільш ефективним.

7. Розкрито шляхи отримання біогумусу як найкращого органічного добрива. Запропоновано для відділення біомаси черв'яків на завершальному етапі, застосовувати метод просіювання, так як він є найбільш ефективним та економічно вигідним. Особини, які будуть отримані таким чином можна використовувати для подальшого процесу біотрасформації, а надлишок – застосовувати для годівлі тварин (білковий корм) або реалізовувати.

8. Розглянуто використання біогумусу, отриманого шляхом вермикультивування, у сільському господарстві. Висвітлено позитивний вплив біогумусу на підвищення врожайності різних культур, зокрема овочевих, зернових, технічних і кормових.

9. Наведені вимоги до приміщень та обладнання для ефективного вермикультивування. Описано необхідність забезпечення належної вентиляції, освітлення, контролю вологості та температури для створення оптимальних умов для життєдіяльності вермикультури. Наявні рекомендації щодо матеріалів та конструкції приміщень, організації робочих процесів та дотримання санітарних норм.

10. Представлено перелік необхідного обладнання та інструментів для вермикультивування, включаючи вермикультурні ємності, системи зрошення, інструменти для обробки субстрату та збору біогумусу.

11. Доцільним для процесу вермикультивування буде застосовувати крапельне зрошення, так як воно забезпечить точний контроль рівня вологості

субстрату, де розміщуються черв'яки та економію води.. Крапельні системи можуть бути автоматизовані, що дозволяє програмувати частоту та тривалість поливу, забезпечуючи рівномірне зволоження без зайвих витрат води, що робить їх економічно вигідними та ефективними.

12. Виконано розрахунки необхідної кількості ТПВ та площі для розміщення вермиферми. Розраховано очікуваний вихід біогумусу з певної кількості субстрату та площі, на яких можна застосувати дане біодобриво. Надано рекомендації щодо зберігання, пакування та внесення біогумусу на земельні ділянки з дотриманням відповідних норм та технологій.

13. Розроблено заходи з охорони праці на підприємстві з вермикультивування. Наведено рекомендації щодо захисту працівників від шкідливих факторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баклажан Айдін Сіяші –zytina–tomat.com. *zytina–tomat.com*. URL: <https://zytina–tomat.com.ua/shop/baklazhan–ajdin–siyashi/>
2. Вермікомпостування та розведення черв'яків. *Верміферма «Кобьярин»*. Тут виробляють найкращий Біогумус (вермікомпост). Органічні добрива за найкращою ціною в Україні та Київській області. Нам довіряють!. URL: <https://kobyarin.com.ua/ua/a378370–vermikompostirovanie–razvedenie–chervej.html>
3. Гоцький Я.Г., Степанюк А.Р. Перспектививикористаннягранульова–них органо–мінеральних добрив нового покоління. *Екологічні науки*. 2020. № 1(24). Т. 1. С. 61–65.
4. Ґрунти України URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> .– Загол. з екрану.
5. Дегодюк Е.Г. Інноваційніпідходи до утилізаціїпташиногопослідупромисловихптахофабрик. URL: https://nonproblem.net/wp–content/uploads/2019/12/2017_10_094.pdf (дата звернення: 07.05.2024)
6. Жук В.М., Шерстюк О.Л., Панадій О.П., Жук Н.Л., Стецюк Л.С., Волошина О.В. Управлінський облік і калькулювання собівартості сільськогосподарської продукції. ННЦ «Інститут аграрної економіки» Київ, 2021.
7. Іванюк, Г. С. Світовареферативна база ґрунтовихресурсів (WRB): відстворення до сьогодення. ВісникОдеськогонаціональногоуніверситету. *Географічні тагеологічні науки*, 21(1(28),2017, 78–84. [https://doi.org/10.18524/2303–9914.2016.1\(28\).90333](https://doi.org/10.18524/2303–9914.2016.1(28).90333) (дата звернення: 19.05.2024)
8. Ільїн В.Ю. Економічна ефективність виробництва аграрної продукції як фактор підвищення конкурентоспроможності аграрних підприємств України. *Ефективна екноміка*. 2015. № 5.

9. Інтегроване управління та поводження з твердими побутовими відходами у Вінницькій області. Монографія. Під ред. В. Г. Петрука. Вінниця: УНІВЕРСУМ. Вінниця, 2007. 160 с
10. Кислотність ґрунту та вапнякові меліоранти URL: <https://agroexpert.ua> (дата звернення: 30.05.2024)
11. Надвиничний С.А. Методологія дослідження економічної ефективності виробництва сільськогосподарської продукції. Тернопіль : *Економічна думка*. 2016. № 2.
12. Сучасний стан ґрунтових ресурсів України: ЯК БУТИ ДАЛІ?. Портал «Аграрний тиждень. Україна» www.a7d.com.ua Агрополітика, новини, технології, техніка, агрохімія та все про агробізнес. URL: <https://a7d.com.ua/agropoltika/50965-suchasnij-stan-gruntovih-resursv-ukrayini-jak-buti-dal.html>
13. Тверді побутові відходи. Частина 2/ Дніпропетровською ТПП/ ГО «Ініціатива сталого розвитку» в рамках проекту «Покращення якості послуг в сфері управління відходами на муніципальному рівні в ОТГ» за підтримки Програми «U-LEAD з Європою», 2016. – 20–33с.
14. Торгоня В.С. Дослідження й обґрунтування прийнятих параметрів біотехнологічного процесу вермикультивування та обладнання для його реалізації. В.С. Торгоня. *Науковий вісник НУБіПУ України: зб. наук. праць. К.: Вид-во НУБіПУ України*. 2009. Вип. 134, ч. 1. С. 145–152.
15. Чередніченко О.О. Ефективність виробництва органічної продукції рослинництва. *Економічні горизонти*. 2021. № 1.
16. Черлінка В. Засолення ґрунтів: Причини, Наслідки Та Методи Боротьби. *EOS Data Analytics*. URL: <https://eos.com/uk/blog/zasolennia-hruntiv/>
17. Чим підживити помідори? | ЗЕЛЕНА САДИБА. *ЗЕЛЕНА САДИБА*. URL: <https://zelenasadyba.com.ua/sad-i-gorod/chym-pidzhyvyty-pomidory.html>
18. Шпякіна, А. І. Біотехнологічні методи переробки відходів тваринництва. А. І. Шпякіна, О. А. Семенова, О. І. Семенова. *Екологія і 56*

природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства :Матеріали II Міжнародної науково–практичної конференції, м. Тернопіль, 24–25 березня 2016 р. С. 210–212.

19. Шувар І. А. Виробництво та використання органічних добрив. І.А. Шувар, В. М. Сендецький, О. М. Бунчак, В. С. Гнидюк, О, Б. Тимофійчук. – Івано–Франківськ: Симфонія форте, 2015. –596 с.

20. Bühnemann E.K., Bongiorno G., Bai Z.G., and Kreamer, R. E. Biomass and soil microbial activity in organic farming systems : How much do we know? Soil Biology and Biochemistry. 2018.

21. The effectiveness of poultry manure as a fertilizer is studied. URL: <https://www.canadianpoultrymag.com/poultrylitters–efficiency–as–fertilizer–studied/>(дата звернення: 04.06.2024)

22. Adhikary, S. Vermicompost, the story of organic gold: A review. – Agricultural Sciences, 2012 3:905–917;

23. Andretta, A., et al. Microbial Activity and Organic Matter Composition in Mediterranean Humus Forms. Geoderma, vol. 209–210, 2013. pp. 198–208;

24. Brue S., McConnell C. and Flynn S. Essentials of Economics. McGraw–Hill Higher Education, USA. 2013. 2. Martin Guzman with Joseph E. Stiglitz. Economic fluctuations and pseudo–wealth. Industrial and Corporate Change. 2021. No. 30 (2). P. 297–315, 3. Nobel Prize–winning economist Joseph Stiglitz discusses carbon pricing and the transition to a green economy at the HPCA Virtual Forum. Harvard Kennedy School. September 8, 2020.

25. Hoornweg, D. and Bhada–Tata, P. Whata waste: A global review of solid wastemanagement, World Bank. 2012.

26. Kokhia M. Vermicomposting – Alternative for the Organic Waste Recycling. Proceedings of International Scientific–Practical Conference – “Innovation Technologies & Environment Protection”. Kutaisi. 2012 P. 57–59 (18);

27. Kumar, S., Dhar, H., Vijay, V.N., Bhattacharyya, J.K., Vaidya, A.N. and Akolkar, A.B. Characterization of municipal solid waste in high–altitude subtropical regions. Environmental Technology. 2016 37: 2627–2637;

28. Ponge, J.-F. Plant–Soil Feedbacks Mediated by Humus Forms: A Review. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 57, 2013. pp. 1048–1060.

29. Rona K. *Twenty–first century economics: A handbook*. SAGE Publications. P. 317. May 14, 2010. 5. Seufert V., Ramankutty N., & Foley J. A. Порівняння врожайності органічного та традиційного сільськогосподарства. *Nature*, 485(7397). 2012.

30. Seethalakshmi, S. Response of eggplant (*Solanum melongena* L.) to integrated nutrient management amended soil. – *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 2011 2(8):1–8, doi: 10.13140/RG.2.2.25910.19522.

31. Sinha, R.K. Organic farming by vermiculture: producing chemical–free, nutritive and health protective food for the society. – *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologija*, 2012 4(20):55–67.

32. Stolze M., Piorr A., Häring A., Dabbert S. The environmental impacts of organic farming in Europe. *Org. Farm. Eur. Econ. Policy*. 2000. Vol. 6. 36. McConnell C., Brue S. and Flynn S. (2011) *Economics: principles, problems and policies*, McGraw–Hill, USA

33. Use of poultry manure as fertilizer. URL: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/using-poultry-litter-as-fertilizer.html> (дата звернення: 11.06.2024)

34. Vdovenko N. Management mechanism of agrarian economic system: Composition, functions and factors of development in Ukraine. May 2018. *Problems and Perspectives in Manageme*