

© О.І. Сідашенко¹, І.Г. Миронова¹, К.І. Тимчий²

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

²Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

СКЛАД МІКРОФЛОРИ БІОДОБРІВ, ОТРИМАНИХ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ ТА КОМПОСТУВАННЯ

© O. Sidashenko¹, I. Myronova¹, K. Tymchyi²

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

²Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

COMPOSITION OF MICROFLORA OF BIOFERTILIZERS OBTAINED USING VERMICOMPOSTING AND COMPOSTING TECHNOLOGIES

Мета. Дослідження мікробіологічного складу біогумусу порівняно з компостом, отриманих із твердої органічної біомаси після метанового бродіння шляхом технологій вермикультивування та компостування.

Методика дослідження. Вивчення порівняльного складу еколого-трофічних груп мікроорганізмів біогумусу та компосту проведено за допомогою стандартних методів бактеріологічного посіву на чашки Петрі з подальшим підрахунком колоній для визначення кількості колонієутворюючих одиниць (КУО/мл). Отримані результати було опрацьовано за допомогою *MS Office Excel*.

Результати дослідження. Досліджено склад мікрофлори органічної біомаси, отриманої після біогазового бродіння, яку піддавали біотрансформації шляхом застосування методу вермикультивування за допомогою культури черв'яків р. *Eisenia* та процесу компостування. Встановлювали кількість мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп — амоніфікаторів, мікроміцетів та актиноміцетів, що відіграють важливу роль у відновленні та покращенні родючості ґрунтів. Виявлено, що біомаса після метанового бродіння, яку піддавали вермикультивуванню на 55-ту добу дослідження у середньому мала у 2,2 рази більшу кількість різних груп мікроорганізмів порівняно з компостом, що говорить про її цінність та якість з точки зору застосування у якості біодобрива.

Наукова новизна. Вперше проведено порівняльний аналіз мікрофлори вермикультивованої і компостованої біомаси, отриманої після метанового бродіння. Встановлено, що протягом перших двох тижнів (15 доба) і по завершенню дослідження (55 доба), біогумус характеризувався вищим рівнем мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп, а саме амоніфікаторів, мікроміцетів і актиноміцетів, порівняно з компостом, що вказує на доцільність застосування технології вермикультивування для утилізації органічних відходів різного походження порівняно з процесом компостування.

Практичне значення. Біомаса, яку отримують після метанового бродіння має неприємний запах, та внаслідок застосування біотехнологічного процесу вермикультивування протягом 55 діб можна отримати біогумус — одне із найякісніших біодобрив, що дозволяє вирощувати якісну еко-продукцію, відіграє значну роль у відновленні та підвищенні родючості ґрунтів, а залишки представників вермикультури – черв'яків р. *Eisenia* можна застосовувати у тваринництві, що відповідає вимогам циркулярної економіки. Таким чином, процес вермикультивування дозволяє знизити рівень антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

Ключові слова: біогумус, вермикультивування, компостування, еколого-трофічні групи мікроорганізмів, амоніфікатори, мікроміцети, актиноміцети, КУО/мл.

Вступ. Сьогодні дуже гостро постає проблема переробки великої кількості твердих побутових відходів, у тому числі отриманих з різних напрямків сільськогосподарського сектору, наприклад фермерських угідь або тваринницьких комплексів.

З іншого боку, нераціональне застосування хімічних добрив, інсектицидів та препаратів для захисту рослин, не дотримання технологічних умов експлуатації ґрунтів призводить до зниження вмісту гумусу у ґрунтового покриві і як наслідок до зменшення або навіть втрати родючості ґрунтів [1]. Одним із шляхів вирішення даних проблем є процеси біотрансформації заснованої на вермикультивуванні або компостуванні.

Вермикультивування – це біохімічний процес переробки різних відходів органічного походження за допомогою культури черв'яків р. *Eisenia* та асоціації мікроорганізмів. Застосування даного методу має пряме відношення до «зелених» технологій і спрямоване на отримання прибутку, як від виробництва самого біодобрива, так і від вирощування культури черв'яків [2, 3].

Потрібно відмітити, що технологія вермикомпостування – це гарний метод для переробки промислових, побутових, комунальних та сільськогосподарських відходів. При цьому існують різні технологічні прийоми застосування вермикультури, але використання того, чи іншого методу залежить від об'ємів біомаси, яку потрібно переробити та ряду додаткових факторів, які впливають на ефективність протікання процесу [4].

Порівняно з вермикультивуванням, компостування — це технологія переробки різних органічних відходів у аеробних умовах за участю ґрунтових бактерій [5].

Варто пам'ятати, що згідно з викликами сучасного світу, усі відходи, у тому числі, органічні, мають бути утилізовані відповідно до принципів циркулярної економіки [6, 7], тобто економічної моделі, яка спрямована на ефективне використання ресурсів, мінімізацію відходів та утримання продуктів і матеріалів у обігу якомога довше. Основна ідея даного напрямку – це управління без відходів. У зв'язку з цим, одним із перспективних напрямків є застосування біотехнологічних методів з метою отримання біодобрив, а саме біогумусу.

Біогумус – це одне із найякісніших з нині відомих добрив, яке отримують шляхом вермикультивування. Якщо порівнювати даний метод переробки різних органічних відходів з процесом компостуванням, то основною відмінністю є застосування культури черв'яків р. *Eisenia*. Проте, вважається, що біодобриво отримане шляхом вермикультивування збагачено величезною кількістю різноманітної, корисної для ґрунту мікрофлори [8].

Доведено, що застосування біогумусу сприяє росту рослин, змінює мікробіом ризосфери та пригнічує розвиток патогенів рослин, які можуть викликати у них різноманітні захворювання. Ці корисні властивості часто пов'язують з активністю та специфічними властивостями мікроорганізмів, які містяться у біогумусі. Проведено дослідження [9], які було спрямовано на визначення мікробного профілю біогумусу та вивчення його впливу на формування ризосферної мікробіоти у рослин, що продемонструвало позитивний вплив складових мікробних асоціацій біогумусу на мікробіом ризосфери рослин.

У зв'язку з цим, важливими та актуальними є дослідження, що спрямовані на встановлення мікробних асоціації, як бактеріальних, так і грибкових компонентів біогумусу, що відіграють роль у стимуляції росту рослин та пригніченні захворювань, тобто сприяють підвищенню їх імунітету [9].

Потрібно відмітити, що біогумус можна застосовувати у різних напрямках, а саме – для очищення стічних вод, відновлення забруднених ґрунтів, підвищення продуктивності сільського господарства, захисту рослинництва та розробки чутливих аналітичних методів. Основними перевагами вермикомпосту, з огляду на всі сфери застосування є достатньо легка технологія отримання даного продукту, низька вартість (застосовуються різні відходи), структурні, хімічні та біологічні характеристики, що зумовлюють виняткову адсорбційну здатність, а також деградацію забруднюючих речовин, і сприяння біоконтролю. Зокрема, процес вермикультивування також можна застосовувати для знезараження стічних вод від токсичних металів [10].

Крім того, період, протягом якого відбувається процес вермикультивування, відбувається розвиток безпосередньо популяції черв'яків, які можуть у подальшому використовуватися як біодобавка у вигодовуванні тварин та птиці [11]. Відомо, що якісний білковий корм, який має багатий амінокислотний склад позитивно впливає на тварин, а саме їх ріст, розвиток, біомасу, імунітет та інші показники.

Все вище сказане, надає технології вермикультивування беззаперечних переваг порівняно з іншими методами утилізації органічних відходів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Вище наведена інформація вказує на актуальність та перспективність застосування біотехнологічних методів у переробці органічних відходів. Органічні добавки, такі як вермикомпост, можуть допомогти відновити і зберегти якість ґрунту, проте виробництво біогумусу високого стандарту є складним [12], а його мікрофлора та її вплив на інші біоценози ще вивчено недостатньо.

Не зважаючи на ряд переваг, процес вермикультивування відбувається за рахунок дотримання ряду важливих параметрів, таких як температура, вологість, рН субстрату тощо.

Показано, що наприклад, зміна температурного режиму впливає на процес вермикультивування та якісний і кількісний склад мікробіологічного профілю біогумусу [2], що також вказує на важливість підтримання усіх параметрів. Вища температура значно підвищує мікробіологічну активність у перші 30 днів вермикомпостування, також демонструючи найшвидшу стабілізацію при 25 °С. Результати генетичного секвенування показали, що різноманітність бактеріальної асоціації збільшується з підвищенням температури, що призводить до появи різних бактеріальних родів у вермикомпості.

З іншого боку, як вже було сказано, мікробіологічна складова біогумусу, а саме асоціації бактерій, грибів та актиноміцетів, на даний момент вивчено неповно, тому дане питання потребує подальших експериментів у цьому напрямку.

Крім того не усі відходи, навіть органічного походження можуть бути вермикультивовані, що пов'язано з особливостями самої вермикультури та її потребами.

Тоді як, професійний підхід до компостування дає змогу ефективно утилізувати будь-які рослинні рештки, відходи тваринництва та інші органічні матеріали [5]. Крім того, процес компостування не вимагає додаткового внесення мікроорганізмів або інших культур, а відбувається за рахунок тієї мікрофлори, джерелом якої виступає безпосередньо ґрунт та субстрат, який піддають компостуванню.

Тому, з огляду на це, актуальним є дослідити та порівняти рівень збагачення мікрофлорою біогумусу та компосту, особливо нестандартних субстратів. До таких відходів можна віднести тверду органічну фракцію, що формується після біогазового бродіння.

Мета статті полягає у дослідженні мікробіологічного складу твердої органічної біомаси, отриманої після метаноутворення під впливом процесу вермикультивування порівняно з технологією компостування.

Обґрунтування вживання і опис вибраної авторами методики. Технологія вермикультивування відбувалася відкритим способом у ящиках, а процес компостування проводився на відкритому повітрі у буртах. Біотрансформації піддавали органічну біомасу, що утворилася після біогазового бродіння. Потрібно відмітити, що дана маса має неприємний запах за рахунок вмісту в ній певних побічних продуктів, які утворюються під час метаноутворення.

У ході проведених досліджень було застосовано стандартні мікробіологічні методи бактеріологічного посіву на тверді поживні середовища. Висів проводили на м'ясо-пептонний агар (МПА, «Фармактив», м. Київ) з метою вивчення амоніфікуючих бактерій, середовище Сабуро («Фармактив», м. Київ) – для виділення мікроміцетів та крохмально-аміачний агар (КАА) – для актиноміцетів [13, 14].

Ідентифікацію проводили мікроскопіюванням виготовлених мікробіологічних препаратів, зафарбованих за методом Грама із колоній, що виростили на чашках Петрі та за ознаками, які наведено у визначнику Берджі [13, 14].

Для встановлення титру різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів здійснювали підрахунок колоній на поверхні твердого середовища та визначали кількість колонієутворюючих одиниць (КУО/мл).

Процес вермикультивування та компостування тривали протягом 55 діб, відбір дослідних проб (у 3-х повторях) проводили на 15-ту та 55 добу. Отримані результати було опрацьовано за допомогою *MS Office Excel*.

Виклад основного матеріалу дослідження. Застосування технологій компостування та вермикультивування – це екологічно чистий спосіб зменшити кількість патогенних мікроорганізмів у органічних відходах і створити цінний продукт, який при внесенні у ґрунт, забезпечує поживними речовинами сільськогосподарські культури [15, 16]. Такі біотехнологічні методи дозволяють переробити органічні відходи, що часто виступають джерелом та безпосередньо середовищем для розвитку різних умовно-патогенних і патогенних мікроорганізмів, які у перспективі можуть провокувати інфекційні захворювання у людей.

Вважається, що копроліти, які виділяють черв'яки під час процесів своєї життєдіяльності збагачені великою кількістю різноманітних мікроорганізмів, переважна більшість серед яких належить амоніфікаторам та нітріфікаторам, а також містяться у великій кількості актиноміцети.

Актиноміцети виконують важливу роль у поживному циклі та біохімічному складі ґрунту, як одні з найактивніших деструкторів органічної речовини в ґрунті. Цей процес є важливим для забезпечення доступних елементів живлення рослин та інших мікроорганізмів у ґрунті. З іншого боку, руйнування органічної речовини призводить до утворення гумусу – важливого компонента ґрунту, що впливає на його структуру та властивості [17]. Водночас, актиноміцети здатні продукувати біологічно активні речовини, які можуть мати вплив на збільшення врожайності рослин, підвищення їхньої стійкості до стресових факторів, а також на покращення якості ґрунту.

Потрібно відмітити, що залежно від особливостей субстрату, який піддаючись процесу біотрансформації може змінюватися і мікробіологічний профіль також.

Після засіву дослідних зразків, на середовищі МПА спостерігали ріст паличкоподібних спороутворюючих грам-позитивних бактерій роду *Bacillus*, а саме *B. megaterium* (були наявні опуклі колонії з концентричними колами кремового кольору), *B. cereus* (колонії діаметром 1–2 мл, злегка увігнуті або плескаті, матові з хвилястими краями), *B. subtilis* (колонії сухі, дрібнозморшкуваті, оксамитові, безбарвні або рожеві з хвилястими краями) та р. *Clostridium* (округлі колонії, невеликого розміру, з рівними краями, білуватого кольору). Також були присутні представники неспоруютьчих паличок р. *Pseudomonas* (формували шорсткі або гладенькі колонії, округлі, безбарвні або білі). Загалом бацили, клостридії та псевдомонади – це одні із найбільш поширених родів бактерій, якими збагачений біогумус.

Потрібно відмітити, що наявність різних видів спороутворюючих бактерій, а саме представників р. *Bacillus* та неспоруютьчих паличок р. *Pseudomonas* вказує на те, що даний продукт вермикультивування збагачений бактеріальними угрупованнями, які мають потенційні властивості позитивно впливати на ріст та стимулювати розвиток рослин, а також виступати джерелом для виділення активних штамів бактерій, які можна у майбутньому застосувати для виробництва інших біопрепаратів [8, 18].

За рахунок продукції ряду біологічно-активних речовин, у тому числі антибактеріальної природи вони є антагоністами відносно багатьох патогенних та умовно-патогенних бактерій, наприклад, представників р. *Salmonella*, *E. coli* й грибів, які часто виявляються у різних відходах органічного походження, особливо з тваринницьких комплексів і виробництв та є потенційними збудниками різних інфекційних захворювань людини.

На середовищі Сабуро спостерігали ріст мікроміцетів, а на КАА – формувалися колонії актиноміцетів. Особливістю актиноміцетів є здатність до синтезу фізіологічно-активних речовин, антибіотиків, пігментів, ароматичних сполук. Вони є однією з найважливіших груп бактерій, які здатні синтезувати сидерофори, які покращують ріст зернових культур [19]. Саме дані мікроорганізми надають специфічний запах ґрунту.

Актиноміцети, зокрема представники р. *Streptomyces* відіграють важливу роль у родючості та процесі оздоровлення ґрунтів, а також є активними продуцентами антибактеріальних речовин, що перешкоджає зараженню рослин різними

інфекційними хворобами. Стрептоміцети поширені практично всюди, однак основним природним середовищем їхнього існування є ґрунт [20–22].

Сьогодні представники стрептоміцетів є одними з основних об'єктів для скринінгу нових біологічно активних сполук. Протягом останніх років зі стрептоміцетів виділили 279 нових природних сполук, які мають різну біологічну активність [23].

Під час врахування результатів засіву, на чашках Петрі з КАА спостерігали добре розгалужений субстратний і повітряний міцелії білуватого кольору, характерного пухнастого вигляду, сформований представниками стрептоміцетів.

Метою дослідження було порівняти кількісний склад різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів, що виростили на різних поживних середовищах з біогумусу та компосту.

Як вже було сказано, надмірне використання хімічних добрив, нераціональне застосування засобів захисту рослин від хвороб та шкідників, не дотримання правил експлуатації земельних ділянок призводить до ряду проблем, а саме, наприклад, при вирощуванні овочів у захищеному ґрунті сприяє деградації ґрунту, міграції серйозних інфекційних захворювань рослин грибової, вірусної та бактеріальної природи, що передаються через ґрунт, а також зниження врожайності та якості сільськогосподарської продукції.

Біогумус здійснює позитивний вплив на вміст поживних речовин у ґрунті, активність ферментів та кількість мікроорганізмів, ріст, врожайність та якість отриманої продукції. При цьому показано, що незалежно від технології внесення біогумусу – розкидне або борознисте, у будь-якому випадку спостерігалось покращення стану ґрунтового середовища і значне підвищення вмісту органічної речовини та поживних речовин – азоту, фосфору і калію.

Внесення біогумусу значно підвищує активність певних ферментів, у тому числі каталази, кількість бактерій та актиноміцетів, сприяє кореневій активності та процесу фотосинтезу, підвищує вміст хлорофілу, азоту та калію у листі рослин, знижує вміст нітратів у сільськогосподарській продукції [24].

У ході проведених нами досліджень, встановлено, що кількість представників різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів після вермикультивування перевищувала вміст даних мікроорганізмів у компостованій біомасі. На рис. 1 наведено кількість КУО/мл у дослідних зразках на 15 добу досліджень.

Виявлено, що на 15 добу експерименту в органічній біомасі, яку піддавали вермикультивуванню вміст амоніфікуючих бактерій у 1,5 разів, титр актиноміцетів – у 6,8 разів, а кількість мікроміцетів – у 1,6 разів вище порівняно з масою, що піддавалася процесу компостування.

Це вказує, що навіть на 15 добу проведення дослідження у біомасі, яку піддавали процесу вермикультивування, біотрансформація відбувалася активніше. Загальна кількість мікроорганізмів після вермикультивування у 1,7 разів перевищувала кількісний мікробіологічний склад компосту. На чашках Петрі спостерігали ріст амоніфікуючих та денітрифікуючих бактерій, а також формувалися на КАА колонії стрептоміцетів.

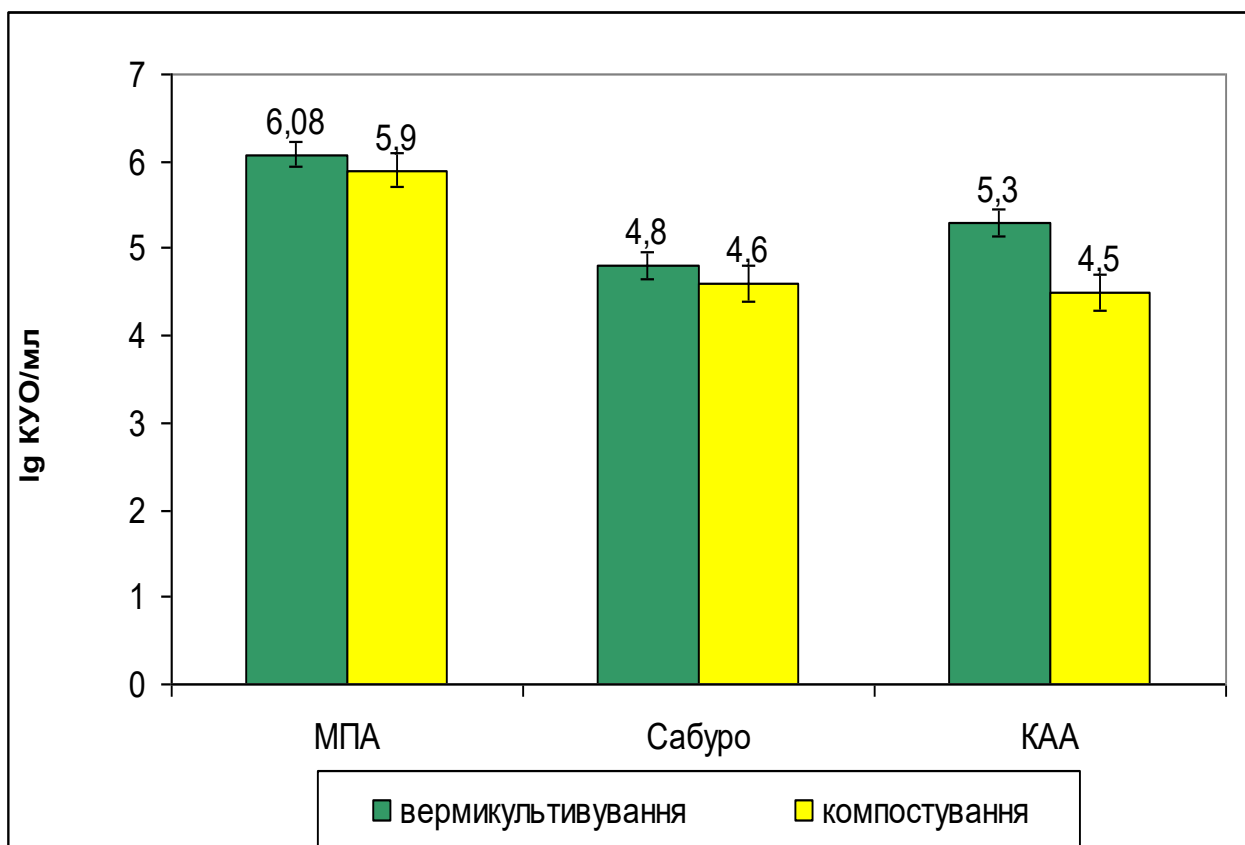


Рис. 1. Кількість еколого-трофічних груп мікроорганізмів у вермикультурованій та компостованій біомасі на 15 добу

Спороутворюючі бактерії р. *Bacillus* мають активну амілолітичну активність, залежно від виду та відношення до кисню – продукують протеолітичні ферменти, що приймають участь у розкладанні білків до амінокислот, а також виявляють каталазні властивості, виділяють целюлолітичні ензими тощо [25]. Представники р. *Streptomyces*, як вже було відмічено раніше, також характеризуються високою біохімічною активністю у процесах біотрансформації органічних речовин.

На рис. 2 наведено кількість КУО/мл у дослідній органічній біомасі на 55 добу досліджень. З огляду на отримані результати, можна сказати, що у дослідних зразках, які отримали після процесу вермикультивування кількість амоніфікуювальних бактерій у 1,8 разів, титр актиноміцетів – у 5,8 разів, а мікроміцетів – у 2,8 рази вище порівняно з компостованою біомасою. Загальний вміст різних груп мікроорганізмів у 2,2 разів вище у біогумусі порівняно з компостом, що вказує на позитивний вплив черв'яків р. *Eisenia* на мікробіологічний профіль отриманого біодобрива.

Склад і функціональність ґрунтової мікробіоти регулюють абіотичні характеристики ґрунту, зокрема рН, структуру, поживні речовини та доступність води. Щільність актиноміцетів складає 10^6 – 10^9 клітин на грам ґрунту, тому наявність даних представників є важливим показником.

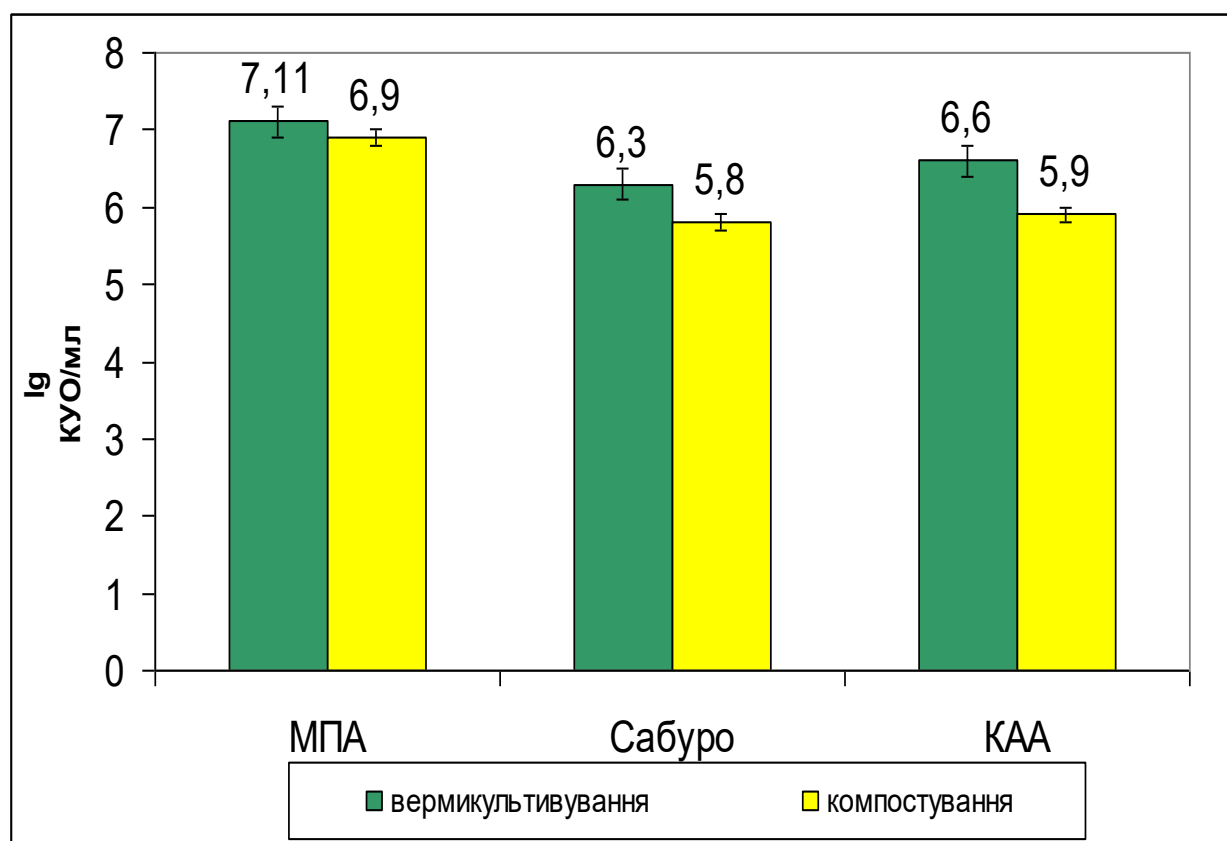


Рис. 2. Кількість різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів у вермикюльтивованій та компостованій твердій органічній біомасі на 55 добу

Таким чином, можемо стверджувати, що вермикюльтивування збагачує тверду органічну біомасу, отриману внаслідок метанового бродіння значною кількістю корисної для ґрунту мікрофлори – актиноміцетами, мікроміцетами та амоніфікувальними бактеріями, які є важливими представниками ґрунтового мікробіоценозу.

Висновки. З огляду на отримані результати можна зробити висновок, що вермикюльтивування як метод переробки твердих відходів, у тому числі після роботи біогазового комплексу, а даний субстрат не є стандартним для даної технології, має ряд переваг порівняно з процесом компостування. Це пов'язано з тим, що під час даного процесу черв'яки р. *Eisenia*, пропускаючи через свій кишківник органічні частинки, виділяють копроліти, які збагачені різними представниками еколого-трофічних груп мікроорганізмів, що відіграють велику роль в оздоровленні й відновленні ґрунтів та підвищенні урожайності сільськогосподарських культур. Крім того, сама біомаса черв'яків також є цінним білковим продуктом, який можна використовувати у агропромисловому комплексі для годівлі тварин та птахів. Так як, потреба в екологічній стійкості при одночасному збільшенні кількості, якості та швидкості переробки відходів з метою отримання високоцінних екологічно чистих добрив є дуже затребуваною, тому технологія вермикюльтивування з урахуванням ряду переваг є більш актуальною для застосування у вирішенні проблем сьогодення.

Перелік посилань

1. Фірсова, В.Е., Сігало, А.В., & Миронова, І.Г. (2023, 1–3 березня). Оцінка стану ґрунтів країн Європи та розробка заходів щодо підвищення їх родючості. *Матеріали 13-ої Всеукраїнської наук.-техн. конф. студ., аспірантів та молодих вчених «Наукова весна», Дніпро, Україна*, 104–106.
2. Zhang, H., Li, J., Zhang, Y., & Huang, K. (2020). Quality of Vermicompost and Microbial Community Diversity Affected by the Contrasting Temperature during Vermicomposting of De-watered Sludge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1748. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051748>
3. Lee, L. H., Wu, T. Y., Shak, K. P. Y., Lim, S. L., Ng, K. Y., Nguyen, M. N., & Teoh, W. H. (2018). Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93(4), 925–935. Portico. <https://doi.org/10.1002/jctb.5490>
4. Senchuk, N. (2021). Introduction of mechanized vermicomposting for utilization of vegetable waste of horticultural farms. *Agrobiologîa*, 2(167), 137–145. Internet Archive. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-167-2-137-145>
5. Дідух, В.Ф. (2022, 29–30 вересня). Техніка і технології приготування компостів. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики», Тернопіль, Україна*, 12–15.
6. Diacono, M., Gebremikael, M. T., Testani, E., Persiani, A., Fiore, A., Alfano, V., Ciaccia, C., Montemurro, F., & De Neve, S. (2024). Agricultural Waste Recycling in an Organic Zucchini-Lettuce Rotation: Soil Microbial Parameters Under Laboratory and Field Conditions, and Crop Production Parameters Assessment. *Waste and Biomass Valorization*, 15(12), 6941–6958. <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02637-7>
7. Тоор, Т. А., Ward, S., Oldfield, T., Hull, M., Kirby, M. E., & Theodorou, M. K. (2017). AgroCycle – developing a circular economy in agriculture. *Energy Procedia*, 123, 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.269>
8. Raimi, A. R., Atanda, A. C., Ezeokoli, O. T., Jooste, P. J., Madoroba, E., & Adeleke, R. A. (2022). Diversity and predicted functional roles of cultivable bacteria in vermicompost: bioprospecting for potential inoculum. *Archives of Microbiology*, 204(5). <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02864-3>
9. Munoz-Ucros, J., Panke-Buisse, K., & Robe, J. (2020). Bacterial community composition of vermicompost-treated tomato rhizospheres. *PLOS ONE*, 15(4), e0230577. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230577>
10. Vyas, P., Sharma, S., & Gupta, J. (2022). Vermicomposting with microbial amendment: Implications for bioremediation of industrial and agricultural waste. *BioTechnologia*, 103(2), 203–215. <https://doi.org/10.5114/bta.2022.116213>
11. Веред, П.І., Мельниченко, О.М., & Злочевський, М.В. (2023, 26 жовтня). Утилізація органічних відходів методом вермікультивування та визначення вмісту нітратів у аграрній продукції вирощеній за використання одержаного біогумусу. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво”, Біла Церква, Україна*, 7–9.
12. Kumar, R., Jha, S., Singh, S. P., Kumar, M., Kumari, R., & Padbhushan, R. (2023). Organic waste recycling by vermicomposting amended with rock phosphate impacts the stability and maturity indices of vermicompost. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 73(7), 553–567. <https://doi.org/10.1080/10962247.2023.2207504>
13. Климнюк, С.І., Ситник, І.О., & Ширококов, В.П. (2018). *Практична мікробіологія: навчальний посібник* (В.П. Ширококова & С.І. Климнюка, за заг. ред.). Вінниця, Нова книга.
14. Кривцова, М.В., & Сікура, А.О. (2022). *Санітарна мікробіологія*. Ужгород, ПП Данило.
15. Miranda-Carrasco, A., Chávez-López, C., Ramírez-Villanueva, D. A., & Dendooven, L. (2022). Bacteria in (vermi)composted organic wastes mostly survive when applied to an arable soil

- cultivated with wheat (*Triticum* sp. L.). *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09996-5>
16. Afanador-Barajas, L. N., Navarro-Noya, Y. E., Luna-Guido, M. L., & Dendooven, L. (2021). Impact of a bacterial consortium on the soil bacterial community structure and maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92517-0>
 17. Bhatti, A. A., Haq, S., & Bhat, R. A. (2017). Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. *Microbial Pathogenesis*, 111, 458–467. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.09.036>
 18. Teheran-Sierra, L. G., Funnicelli, M. I. G., de Carvalho, L. A. L., Ferro, M. I. T., Soares, M. A., & Pinheiro, D. G. (2021). Bacterial communities associated with sugarcane under different agricultural management exhibit a diversity of plant growth-promoting traits and evidence of synergistic effect. *Microbiological Research*, 247, 126729. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126729>
 19. Allali, K., Goudjal, Y., Zamoum, M., Bouznada, K., Sabaou, N., & Zitouni, A. (2019). Nocardiosis *dassonvillei* strain MB22 from the Algerian Sahara promotes wheat seedlings growth and potentially controls the common root rot pathogen *Bipolaris sorokiniana*. *Journal of Plant Pathology*, 101(4), 1115–1125. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00347-x>
 20. van der Meij, A., Worsley, S. F., Hutchings, M. I., & van Wezel, G. P. (2017). Chemical ecology of antibiotic production by actinomycetes. *FEMS Microbiology Reviews*, 41(3), 392–416. <https://doi.org/10.1093/femsre/fux005>
 21. Solans, M., Messuti, M. I., Reiner, G., Boenel, M., Vobis, G., Wall, L. G., & Scervino, J. M. (2019). Exploring the response of Actinobacteria to the presence of phosphorus salts sources: Metabolic and co-metabolic processes. *Journal of Basic Microbiology*, 59(5), 487–495. Portico. <https://doi.org/10.1002/jobm.201800508>
 22. Devanshi, S., R. Shah, K., Arora, S., & Saxena, S. (2022). Actinomycetes as An Environmental Scrubber. *Crude Oil – New Technologies and Recent Approaches*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99187>
 23. Donald, L., Pipite, A., Subramani, R., Owen, J., Keyzers, R. A., & Taufa, T. (2022). Streptomyces: Still the Biggest Producer of New Natural Secondary Metabolites, a Current Perspective. *Microbiology Research*, 13(3), 418–465. <https://doi.org/10.3390/microbiolres13030031>
 24. Liu, X-C., Chen, L., Li, S-Q, Shi, Q-H, & Wang, X-Y. (2021). Effects of vermicompost fertilization on soil, tomato yield and quality in greenhouse. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 32(2), 549–556. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202102.022>
 25. Krishnaswamy, V. G., Sridharan, R., Kumar, P. S., & Fathima, M. J. (2022). Cellulase enzyme catalyst producing bacterial strains from vermicompost and its application in low-density polyethylene degradation. *Chemosphere*, 288, 132552. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132552>

ABSTRACT

Purpose. Investigation of the microbiological composition of vermicompost in comparison with compost obtained from solid organic biomass after methane fermentation using vermicomposting and composting technologies.

Research methodology. The study of the comparative composition of the ecological and trophic groups of microorganisms of vermicompost and compost was carried out by standard bacteriological methods of sowing on Petri dishes with subsequent colony counting to determine the number of colony-forming units (CFU/ml). The research results were calculated by *MS Office Excel*.

Research results. The composition of the microflora of organic biomass subjected to biotransformation by applying the method of vermicomposting using the worms culture of *Eisenia* and composting was investigated. A number of different ecological and trophic groups of microorganisms have been identified, including ammonifiers, micromycetes, and actinomycetes, which play an important role in restoring and improving soil fertility. It was found that the biomass after

vermicomposting, had an average of 2.2 times more different groups of microorganisms compared to compost on day 55 of the study, which indicates its value and quality in terms of use as a biofertilizer.

Originality. For the first time, a comparative analysis of the microflora of vermicultured and composted biomass obtained after methane fermentation was carried out. It was found that during the first two weeks (day 15) and at the end of the study (day 55), biohumus was characterized by a higher level of microorganisms of different ecological and trophic groups, namely ammonifiers, micromycetes and actinomycetes, compared to compost, which indicates the feasibility of using vermiculture technology for the utilization of organic waste of various origins compared to the composting process.

Practical implications. The biomass produced after methane fermentation after vermicomposting can be used to produce vermicompost within 55 days, which is one of the highest quality biofertilizers that allows for the cultivation of high-quality eco-products, plays a significant role in restoring and improving soil fertility. The remains of vermiculture representatives worms of *Eisenia* can be used in animal husbandry, which meets the requirements of a circular economy. Thus, the vermicomposting helps to reduce the level of anthropogenic impact on the environment.

Keywords: *vermicompost, vermicomposting, composting, ecological and trophic groups of microorganisms, ammonifiers, micromycetes, actinomycetes, CFU/ml.*