

УДК 579/631.461

КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ. МІКРОБІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

М. В. Гаценко

Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН
вул. Шевченка, 97; м. Чернігів, 14027, Україна; e-mail: mgatsenko@ukr.net

В огляді літератури висвітлюються способи компостування органічної речовини, домінуючі напрями в різні історичні періоди, переваги та недоліки існуючих способів компостування, сучасні технології вермикомпостування та збагачення компостів.

Ключові слова: *компостування, компост, ферментація, мікроорганізми, вермикультура, вермикомпостування, біогумус.*

Одним із основних шляхів збільшення вмісту гумусу в ґрунтах є застосування органічних добрив. Проте зниження останнім часом темпів розвитку тваринництва обмежує внесення органічних добрив у повному обсязі. Але поряд з традиційними видами добрив активного розвитку набуває такий напрям, як біокомпостування органічної речовини різного походження.

Історія компостування, ймовірно, починається з появи перших рослин, залишки яких трансформувалися мікроорганізмами. Найдавніші згадки про використання перегною в сільському господарстві майже 4500 років тому відображені на глиняних табличках із Аккадської імперії Месопотамської долини. Компости були відомі в давній Греції і давньому Римі та детально описані в Талмуді [62].

Довгий час компостування органічної речовини здійснювалося неконтрольовано, без врахування особливостей біохімічних та мікробіологічних процесів. Початком наукового дослідження компостування можна вважати період вивчення прийомів зберігання гною, що є опосередкованим компостуванням. Насамперед, це праці М. Корсакова і В. Билінкіної (1935), в яких представлено результати досліджень агрономічних показників, а також дані щодо мікробіоти гною. Автори дійшли висновку, що на якість гною впливає спосіб його зберігання, а втрати поживних речовин перебувають у прямій залежності від наявності мікроорганізмів. У ході досліджень було показано, що гарячий

спосіб зберігання гною (за Крантцом) забезпечує пригнічення розвитку як нітрифікувальних бактерій, так і мікроорганізмів, що викликають бродіння сечовини, і тим самим зменшує втрати азоту [6]. Цей спосіб полягає у рихлому вкладанні гною на території сховища, шляхом його розтрушування без будь-якого ущільнення. Таким шляхом гній вкладається висотою 1 м. Після того як у цьому шарі гною температура зростає до +50–60 °С, гній ущільнюють. На ущільнений шар розміщують нову порцію гною; чекають, коли в ньому зросте температура до +50–60 °С і знову ущільнюють і т. д. Таким чином формують бургт висотою до 4–5 м [53]. На основі отриманих результатів розроблено методи і терміни зберігання гною, а також визначено показники якості підстилкового гною для обмеження втрат азоту за рахунок зв'язування аміаку вуглецевими сполуками підстилки [5]. Інший шлях для попередження втрат азоту було запропоновано П. Власюком, який передбачав здійснення компостування гною або посліду з торфом (чи іншим вуглецевмісним матеріалом), що дозволяє зменшити втрати азоту на 15–20 % [7].

Важливим етапом пізнання особливостей компостування є дослідження В. Афанасьєва і В. Міллера, у результаті чого встановлено взаємозв'язок термогенезу з фізико-хімічними показниками і динамікою розкладу органічної речовини та визначено критичну вологість компосту, як одну з головних умов ефективного компостування [3].

У 80–90-х рр. минулого століття Є. Мі-

шустиним і І. Архипченко детально вивчено інший аспект компостування — аерацію. Встановлено, що надходження повітря до компосту забезпечує активний розвиток мікробіоти. Так, за оптимальної аерації відмічено зростання чисельності мікроорганізмів, що беруть участь у трансформації мінеральних сполук азоту, зокрема, нітрифікувальних. Також цими вченими розвинено і вдосконалено технологічні рішення щодо зв'язування торфом азоту в компостах [1; 2; 31].

Проведені дослідження дозволяють констатувати, що компостування являє собою динамічний мікробіологічний процес, який відбувається завдяки активності мікроорганізмів різних груп: бактерій, актиноміцетів, грибів, дріжджів та ін. Вивчення популяції бактерій, грибів і актиноміцетів, що беруть участь у компостуванні, було проведено низкою дослідників. З'ясовано, що домінуючою формою мікроорганізмів є мезофіли. До 90 % їх кількості належить до бацил, різнопігментних бактерій і оліготрофів [24; 46]. На початку компостування переважають аеробні бактерії, у наступних стадіях чисельність бактерій знижується [22].

Важливим фактором є температура, оскільки більшість мікроорганізмів гине, якщо температура піднімається вище +55 °С, але деякі з них витримують високі температури і навіть висушування. Як відомо, мікроорганізми розділяються на групи за температурними діапазонами. Для психрофілів оптимальними температурами є нижчі за +20 °С, для мезофілів — від +20 до +40 °С і термофілів — вище +40 °С [22]. Тому процес компостування зручно розділяти на стадії згідно з температурним режимом.

Мезофільна стадія. На початку компостування температура в субстраті перебуває на рівні показників навколишнього середовища. Мікроорганізми, що домінують у вихідному субстраті, починають швидко розмножуватися, а температура зростає до +40 °С. За рахунок виділення мікроорганізмами органічних кислот відбувається підкислення середовища [22].

Термофільна стадія (стадія розпаду). За цієї стадії відбувається зростання температури вище +40 °С, що спричиняє відмирання мезофілів і домінування термофільних мікроорганізмів. При досягненні температури +60–70 °С відбувається зменшення чисель-

ності грибів-деструкторів целюлози і лігніну. Натомість, процес компостування починає здійснюватися бацилярними формами бактерій. Іноді температура всередині бурта (гряди) за рахунок хімічних процесів може сягати +90 °С, при цьому ріст мікроорганізмів інгібується. За таких умов відбувається розпад білків, який супроводжується виділенням аміаку і тому встановлюється лужне рН середовища. У ході термофільної стадії найшвидше розкладаються цукри, крохмаль, жири, білки, після чого починають трансформуватися складніші сполуки. При цьому інтенсивно виділяється метан, аміак, вуглекислий газ. Тривалість стадії залежить від багатьох параметрів (виду гною, ступеню подрібненості, вологості, аерації, температури навколишнього середовища і т. д.) і коливається від 1 до 2 тижнів [22].

Стадія затухання. Температура знижується до рівня навколишнього середовища. За цієї стадії відбувається зниження рН. Розвиваються гриби і актиноміцети, що розкладають полісахариди, геміцелюлозу і целюлозу до моносахаридів, які можуть бути використані іншими мікроорганізмами [22].

Стадія дозрівання. Під час цієї стадії проходять складні процеси трансформації лігніну, а також білків відмерлих мікроорганізмів, що забезпечує синтез гумінових кислот [18; 22].

Тривалість кожної із стадій компостування є різною. Перші три стадії (мезофільна, термофільна і стадія затухання) проходять швидко, заключна стадія — дозрівання, може тривати кілька місяців.

Отже, мікроорганізми на всіх стадіях компостування забезпечують ферментацію органічної речовини. Взагалі в компостуванні бере участь більше 2000 видів бактерій і не менше 50 видів грибів [22]. Тому мікробіоту компосту можна вважати визначальною у ферментації органічної речовини і отриманні кінцевого продукту.

Слід зазначити, що не дивлячись на наукове обґрунтування процесів компостування, існуючі наприкінці минулого століття технології компостування не забезпечували повного знезараження компосту та знищення насіння бур'янів. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано здійснення компостування з терморозігрівом [45; 46].

У цей же час активного розвитку набу-

ває технологія вермикомпостування (від латинського слова *vermis* — черв'як). Вермикомпостування базується на здатності червоного каліфорнійського гібриду (ЧКГ) (*Eisenia foetida andrei*) поглинати велику кількість органічної речовини, рослинних решток, а разом з ними і бактерій, грибів, водоростей, найпростіших [24; 54]. Відомо, що черв'яки сприяють перетворенню поживних речовин у доступну форму, активізують мікробіологічну активність [61]. Іспанськими вченими процес вермикомпостування описано як «біологічне окислення і стабілізація органічного матеріалу, пов'язані з дією дощових черв'яків і [мезофільних] мікроорганізмів» [57]. Так, за участі мікроорганізмів у процесі компостування в грядках спочатку відбувається розкладання сполук, що легко засвоюються — цукрів, полісахаридів, потім білків, геміцелюлоз, найповільніше розкладається лігнін, дубильні речовини та ін. Розклад супроводжується синтезом комплексу гумусових сполук. У результаті маса органічних речовин зменшується, субстрат збагачується азотом, гумусом, зростає його зольність [10].

З часів селекції червоного каліфорнійського гібриду (1959 р.) у даній технології досліджувалися лише фізико-хімічні параметри компостування, такі як температура, вологість, рН, умови розмноження вермиккультури та ін. [6; 13; 16; 17; 27–29; 44]. У 90-х рр. минулого століття розпочато активне вивчення мікробіологічних аспектів вермикомпостування. Встановлено, що вермикомпост є різноманітнішим щодо складу мікробіоти, ніж звичайні компости, що знаходить підтвердження в роботах R. Atiyeh [60]. Його дослідження свідчать, що мікробні популяції у вермикомпості засвоюють значно більшу кількість вуглецю з субстрату, ніж мікроорганізми традиційного компосту. Встановлено, що в ході вермикомпостування в субстраті домінують бактерії [58; 59; 63–65]. Проте чисельність та таксономічна структура бактеріальних угруповань значною мірою залежить від природи субстрату та терміну компостування [15; 22; 27; 28; 56].

Цікаво, що вермиккультура має стерилізаційний ефект щодо патогенних мікроорганізмів. Так, вивчення санітарного стану компостів показало, що вермикомпост не містить представників небезпечних груп мікроорганізмів [20].

Наприкінці ХХ ст. активно досліджуються сукцесії мікроорганізмів у ході вермикомпостування, асоціації мікроорганізмів з ЧКГ, мікробіологічний склад вермикомпосту. Цими питаннями в різні часи займалися R. Atiyeh [60], В. Іваниця [15], Н. Терещенко [51], Е. Третьякова зі співав. [52], А. Якушев [56] та інші. З'ясування мікробіологічних особливостей компостування за участі каліфорнійського черв'яка дозволило науково обґрунтувати природу низки процесів. Так, показано, що в організмі черв'яка органічна речовина змінюється, біохімічно трансформується, збагачується поживними речовинами, ферментами і мікроорганізмами. Кишковик черв'яка є своєрідним «фільтром» і одночасно ферментативною системою для мікроорганізмів. Частина мікроорганізмів, що потрапляють до кишковика черв'яка, елімінується, інші розмножуються і збагачують субстрат [4; 52; 63]. Результати досліджень американських і російських вчених демонструють, що в копролітах черв'яків домінують грамнегативні аеробні бактерії роду *Pseudomonas*, дещо в менших кількостях — представники родів *Flavobacterium*, *Streptomyces*, *Bacillus* [51; 63], а також *Cellulomonas*, *Clostridium*, *Acetobacterium* [32; 46]. У роботах Р. Schloss, Е. Б. Третьякова зі співавт. наведено домінуючі види бактерій у біогумусі. Так, високий рівень приживаності у кишковикі і розмноження в біогумусі має бактерія *Pseudomonas putida*, а такі види як *Azospirillum brasilense* і *Pseudomonas stutzeri* не розвиваються за даних умов взагалі [52; 63]. Приживаність бактерій з роду *Pseudomonas* підтверджено іншими дослідниками. В Інституті сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН встановлено, що угруповання мікроорганізмів вермикомпосту представлено бактеріями родів *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium* та ін. У ході досліджень ізольовано активний рістстимулювальний і фосфатмобілізувальний штам *Pseudomonas putida* 17 [9].

У компості за культивування ЧКГ спостерігається зменшення довжини грибного міцелію і відсутність змін чисельності актиноміцетів у порівнянні з традиційним компостом [55; 56]. Як зазначає А. Якушев, крім пригнічення розвитку грибів, у вермикомпості спостерігається тенденція до зміни

складу мікроміцетів, а саме: зменшується різноманітність *Cladosporium sp.* і з'являється *Trichoderma sp.*, відомий як антагоніст низки фітопатогенних мікроорганізмів. Ймовірно, зменшення грибного міцелію і розвиток *Trichoderma sp.* є причиною зниження захворюваності сільськогосподарських культур, викликаних фітопатогенними грибами, за використання вермикомпосту.

У ході вермикомпостування відбувається розвиток мікроорганізмів з різними функціональними особливостями. Так, у субстраті, що переробляється ЧКГ, спостерігається поступове зменшення чисельності амоніфікаторів, що обумовлено зменшенням джерела легкодоступного органічного азоту [15; 17]. Н. Терещенко звертає увагу на активне проходження процесів нітрифікації, особливо на перших стадіях компостування (вірогідно, процес стимулює накопичення іонів амонію внаслідок попередньої амоніфікації). У процесі подальшого вермикомпостування чисельність нітрифікаторів у біогумусі знижується. Впродовж перших 2 місяців компостування активізуються денітрифікаційні процеси, що спричиняють втрати азоту. Починаючи з 3-го місяця вермикультивування відбувається зниження темпів денітрифікації [15; 17].

У ході вермикомпостування також спостерігається збільшення активності целюлозолітичної мікробіоти. Відмічено поступовий розвиток мікроорганізмів, що розкладають клітковину. Серед них переважають бактерії і меншою мірою гриби та стрептоміцети [12; 15].

Щодо фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів, то за даними Н. Терещенко в компості виявляється пряма залежність між вмістом рухомих сполук фосфору і чисельністю мікроорганізмів, які розкладають органічні і мінеральні фосфати. Показано, що основними агентами, що розчиняють фосфати, є різні види бацил і жовто-пігментні неспорові бактерії. У біогумусі неспорові мікроорганізми беруть участь переважно в розчиненні мінеральних фосфатів [17]. Дану особливість автор пояснює посиленою мінералізацією органічної речовини субстрату при вермикомпостуванні за участі ЧКГ. Це сприяє накопиченню в субстраті органічних і мінеральних кислот (це відмічає також і Г. Єжов [14]), що забезпечує розчинення мі-

неральних фосфатів і гальмує вивільнення фосфору органічних сполук. У результаті для мікроорганізмів, що беруть участь у трансформації як органічних, так і мінеральних фосфатів, енергетично вигіднішим є процес розчинення саме мінеральних сполук фосфору.

При проходженні органічних відходів через кишковик черв'яка зникає неприємний запах субстрату, знижується кількість патогенної мікрофлори, зменшується об'єм відходів і в результаті фізико-хімічних, біохімічних і мікробіологічних перетворень у кишковику черв'яка вони трансформуються в копроліти (*kopros* — випорожнення, *litos* — камінь) [24; 53]. Кінцевим продуктом вермикомпостування є вермикомпост (комерційна назва — біогумус) — дрібнозернистий продукт темного кольору без запаху і з гарною водотривкою структурою. У порівнянні з традиційними компостами в біогумусі вищий вміст рухомих форм елементів живлення рослин, зокрема калію в 10–11 разів, фосфору — 6–7 разів, кальцію і магнію в 2–3 рази, а коефіцієнт гуміфікації зростає в 1,5–2 рази. У компості акумулюється велика кількість вітамінів, антибіотиків, амінокислот, що безпосередньо засвоюються рослинами. У біогумусі виявлено значну кількість інших біологічно активних речовин (ауксини, цитокініни та ін.) [11; 13; 16; 17; 20; 23; 30; 49; 50].

Розвиток досліджень процесу вермикомпостування надав поштовх для вивчення рістстимулювальних, антагоністичних, фунгістатичних та інших властивостей вермикомпосту, створення нових напрямів у компостуванні, контролювання мікробіологічних процесів та виготовлення добрив і мікробних препаратів із заданими властивостями.

Нині відбувається ніби повторне «відкриття» дощових черв'яків. Сьогодні, окрім ЧКГ, селекціоновано низку технологічних видів гнойових черв'яків, представників *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena veneta*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus*. Усі вони, згідно з систематикою, належать до кільчастих черв'яків, до групи вищих черв'яків (входять до класу малощетинкових черв'яків — олігохет, до родини *Lumbricidae*) [26; 48; 51]. Але найбільшого поширення в технології вермикомпостування набув, все ж таки, зга-

даний вище червоний каліфорнійський гібрид (*Eisenia foetida andrei*), який вирізняється високою плодючістю і тривалістю життя.

Незважаючи на вище зазначені переваги і перспективність вермикомпостування, технологія має певні недоліки. Серед них — значна тривалість компостування (4–6 місяців), некерованість мікробіологічних процесів та отримання компосту як органічного добрива загального призначення, що не дозволяє вирішувати окремі проблеми при вирощуванні сільськогосподарських культур.

Одним із шляхів вирішення останнього недоліку є створення на основі біогумусу біодобрив і мікробних препаратів із заданими властивостями (фунгіцидними, рістстимулювальними, фосфатмобілізуючими та ін.) шляхом інокуляції компосту агрономічно цінними мікроорганізмами. Більшою мірою сьогодні це є гіпотетичним. Проте такі спроби описано в літературі. Так, розроблено спосіб отримання біодобрива, що полягає в одержанні біогумусу шляхом компостування субстрату з органічних відходів сільського господарства і промисловості за участі «Оболенського гібриду», отриманого в результаті схрещування червоного каліфорнійського гібриду з російською популяцією дощових черв'яків *Eisenia foetida*. Вермикомпостування здійснюється за температури +16–24 °С впродовж 4–6 місяців. В отриманий біогумус вносять мікроорганізми, що володіють фунгіцидними властивостями. Мікроорганізми вносять після видалення черв'яків і дозрівання біогумусу. Як продуцент фунгіцидів використовують штам бактерій *Bacillus subtilis* ИПМ-215 у кількості від 10^9 до 10^{12} спор на 1 кг біогумусу, або культуру *Trichoderma viride* 16 у концентраціях від 10^4 до 10^8 колонієутворюючих одиниць (КУО) на 1 кг біогумусу [21; 37].

У Кубанському державному аграрному університеті розроблено низку технологій, що стосуються вермикомпостування та збагачення його кінцевого продукту корисними мікроорганізмами. Один із таких способів полягає в отриманні комбінованого удобрювального ґрунту на основі біогумусу, що є результатом компостування гною сільськогосподарських тварин із використанням гібриду червоного каліфорнійського черв'яка з дощовими черв'яками кубанської природної популяції. Вермикомпостування триває впро-

довж 2–3 місяців за температури +16–32 °С у природних умовах. Після відокремлення черв'яків від біогумусу вносять штами *Bacillus megaterium var. phosphaticum* і *Agrobacterium radiobacter* для забезпечення рослин азотфіксувальними та фосфатмобілізуючими мікроорганізмами [43].

Іншим способом є технологія, яка передбачає внесення до торфогнойового компосту бактерії *Pseudomonas fluorescens* 15. У закритому від сонячних променів приміщенні суміш витримують за температури +20 °С впродовж 3 діб з періодичним перемішуванням. За час інкубації титр бактерій повинен сягати $2,5 \cdot 10^9$ КУО/г компосту [35].

Стосовно вищенаведених прикладів виникають критичні зауваження щодо можливості розвитку інтродукованих у сформований вермикомпост мікроорганізмів, оскільки інокуляція біогумусу здійснюється без врахування суцесійних змін в угрупованнях мікроорганізмів. До того ж, виникає питання щодо можливості активного розвитку в субстраті мікроорганізмів, ізольованих з інших екологічних ніш.

Зовсім інше ставлення до нижченаведеної технології отримання біогумусу [38; 39]. Технологія вермикомпостування аналогічна до попередньої розробки, але після відокремлення черв'яків від біогумусу субстрат підсушують до вологості 50–60 %, фасують у пакети з поліпропілену, вносять кукурудзяний екстракт у кількості від 1,0 до 5,0 % маси біогумусу і автоклавують впродовж 45–75 хв. при 0,8–1,2 атм. Після цього в одному випадку вносять штам *Bacillus megaterium var. phosphaticum* 319 і витримують до досягнення титру $8 \cdot 10^{10}$ КУО/г компосту, в іншому — *Bradyrhizobium japonicum* В-2437 (культивують до досягнення титру $9 \cdot 10^9$ КУО/г добрива) [39]. Отриманий біогумус є сприятливим субстратом для розвитку фосфатмобілізуючих і азотфіксувальних мікроорганізмів та має поживні і рістстимулювальні речовини, необхідні для розвитку і повноцінного продукційного процесу культурних рослин.

Недоліками описаних вище способів є велика трудозатратність та багатоетапність процесів виробництва, а також відсутність даних щодо приживаності інокулянтів у компості, отриманого за участі вермикультури.

Перспективним сьогодні є також інший напрям компостування, який ґрунтується на аеробній біотермічній переробці органічних відходів. У США, Росії та Західній Європі збудовано заводи з виробництва органічних добрив шляхом біологічної ферментації. Технологія приготування добрив таким шляхом полягає у змішуванні відходів тваринництва (гній, послід) з вологопоглинаючими компонентами (торф, стружка, солома, кора і т. д.). Оптимальна вологість компостованої суміші повинна бути не менше 70 %, співвідношення вуглецю до азоту від 20 : 1 до 30 : 1, рН 6–8. У процесі компостування відбувається біологічне окислення частини органічної речовини, температура в компості піднімається до 70 °С і вище. Висока температура забезпечує умови розвитку термофільних і термотолерантних мікроорганізмів. Завдяки розігріву компосту гинуть личинки мух, яйця гельмінтів, патогенні мікроорганізми, руйнується структура насіння бур'янів, зникає неприємний запах. Після охолодження субстрату домінуючою групою мікроорганізмів є актиноміцети, що складають 89–95 % чисельності всієї мікробіоти [33; 45; 46].

Аеробна ферментація може здійснюватися двома способами: пасивним і активним. Пасивний спосіб компостування здійснюється в природних умовах у буртах. Технологія передбачає приготування початкової компостної суміші шляхом змішування компонентів, формування буртів. Тривалість компостування органічної речовини залежить від вологості компонентів, сезону та погодних умов і складає від 1 до 3 місяців. Останнім часом для компостування відходів упроваджується активний спосіб ферментації (шляхом застосування спеціальних біоферментерів). Це дозволяє скоротити терміни компостування і тому цей спосіб іноді називають «експрес-компостування». Незалежно від обраного режиму технологічні процеси здійснюються за безперервної аерації компостної суміші шляхом примусової подачі повітря [34].

Прикладом вдалого «експрес-компостування» є спосіб виготовлення компостів, розроблений науковцями Всеросійського науково-дослідного інституту сільськогосподарського використання меліорованих ґрунтів. Реалізація способу зводиться до пошарової укладки гною і вологопоглинального органіч-

ного матеріалу, перемішування компонентів за одночасного його переміщення у ферментер, де до суміші додається готовий компост у співвідношенні 9 : 1. Аеробне компостування здійснюється при вологості компосту 50–60 % і періодичній вентиляції впродовж 3–4 діб [36].

Іншим прикладом компостування шляхом терморозігріву є виготовлення вітчизняного органічного добрива «Біопроферм» [42]. На основі проведених у 2006–2010 рр. експериментів і виробничих досліджень розроблено та впроваджено в п'яти областях України технологію переробки органічних відходів агропромислового комплексу методом біологічної ферментації в органічні добрива нового покоління — «Біопроферм», «Біопроферм-Поділля», «Біоактив» [25; 33]. Добрива отримують при компостуванні суміші відходів тваринного походження, шкіряного і дріжджового виробництва та інших органічних матеріалів природного походження. Співвідношення азоту і вуглецю в суміші складає 10 : 1 – 30 : 1, вологість 50–70 %, що досягається шляхом внесення до їх складу необхідної кількості сухої тирси, соломи та ін. Процес ферментації проходить у спеціальних камерах-термосах за температури +65–80 °С впродовж 6–8 діб при переробці органічних відходів, що швидко ферментуються, і 9–11 діб, для тих матеріалів, які повільно розкладаються.

Спільними позитивними рисами для вищеописаних технологій є швидкість отримання кінцевого продукту, знезараження компосту. Але поряд із перевагами існують і суттєві недоліки. Це, зокрема, знищення при розігріві компосту вище +50 °С великої кількості корисної мікробіоти та відсутність мікробіологічного контролю отриманого компосту. Тому отримані добрива, на наш погляд, потребують подальшого збагачення агрономічно корисними мікроорганізмами, здатними приживатися і розвиватися у даному субстраті.

Іншим напрямом керованого компостування (в мікробіологічному розумінні) є інтродукція до компостованого субстрату агрономічно цінного мікроорганізму, який у ході здійснення процесу буде домінувати в мікробному угрупованні компостованого субстрату. Для здійснення цього способу повинні бути враховані особливості сукцесії

мікроорганізмів у ході компостування і чітко визначений етап, який сприятиме вдалій інтродукції. Одним із таких способів є технологія, розроблена в Інституті сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. Технологія передбачає вермикомпостування гною ВРХ з фосфоритним борошном за участю селекціонованої фосфатмобілізувальної бактерії *Pseudomonas putida* 17 [41]. Зазначений штам виділено з вермикомпосту, тому він здатен приживатися та активно розвиватися в цьому субстраті. Оптимальним поєднанням компонентів вермикомпостування є внесення до компосту фосфоритного борошна у кількості 10 % від маси гною і бактеріальної суспензії *P. putida* 17 на рівні $8 \cdot 10^6$ клітин на кілограм субстрату з тривалістю компостування 3 місяці. Такі технологічні параметри забезпечують найбільше вивільнення водорозчинних фосфатів (збільшення до контролю — до 39 %). Крім цього, компост характеризується підвищеною чисельністю фосфатмобілізуючих мікроорганізмів та містить рістстимулювальні речовини ауксинової та цитокінінової природи. Збагачення компосту фітогормонами відбувається за рахунок їх продукування бактерією *P. putida* 17 та розвитку вермикультури. Так, вміст фізіологічно активних речовин, зокрема, ауксинів сягає 0,96 мкг/г сухої речовини, цитокінінів: зеатину — 0,62 мкг/г та зеатин-рибозиду — 0,46 мкг/г сухої речовини (для прикладу — компост, отриманий без *P. putida* 17 має вміст ауксинів — 0,16 мкг/г, цитокінінів: зеатину — 0,16 мкг/г та зеатин-рибозиду — 0,14 мкг/г сухої речовини) [8]. Тож розроблена технологія дозволяє здійснювати кероване вермикомпостування та отримувати біоорганічне добриво із заданими параметрами (підвищеним вмістом водорозчинних фосфатів та фізіологічно активних речовин), що є бажаним для оптимізації живлення культурних рослин [40].

Сьогодні питання компостування органічної речовини має динамічний і багатовекторний характер розвитку. Перспектива біокомпостування полягає у вивченні та врахуванні мікробіологічних аспектів, що може забезпечити керованість процесу і створення умов для домінування інтродукованих мікроорганізмів. Врахування як агрохімічних показників, так і мікробіологічних особливостей процесів дозволить змінити механістичні підходи до компостування на науково обґрунтовані та створити спектр біоорганічних добрив і біопрепаратів, що матимуть різне функціональне спрямування. Зокрема, можливе створення компостів з підвищеним вмістом фітогормонів, розчинних сполук фосфору, чи збагачених грибами-антагоністами окремих збудників хвороб сільськогосподарських культур та ін.

1. Архипченко И. А. Микробиологическая переработка отходов животноводства / И. А. Архипченко // Вестник сельскохозяйственной науки. — 1988. — № 2 (377). — С. 136–142.

2. Архипченко И. А. Биотехнология компостирования навоза / И. А. Архипченко // Земледелие. — 1991. — № 1. — С. 68–69.

3. Афанасьев В. Н. Критическая влажность компостируемых отходов животноводства и птицеводства / В. Н. Афанасьев, В. В. Миллер // Вестник сельскохозяйственной науки. — 1987. — № 5. — С. 129–132.

4. Культивируемые микроорганизмы из пищеварительного тракта дождевых червей / [Б. А. Бызов, Т. Ю. Нечитайло, Б. К. Бумажкин и др.] // Микробиология. — 2009 — Т. 78, № 3. — С. 404–413.

5. Былинкина В. Н. Микробиологические процессы, обуславливающие потери азота при хранении навоза / В. Н. Былинкина // Микробиологические процессы при хранении навоза : труды всесоюзного института сельскохозяйственной микробиологии / [под ред. М. П. Корсаковой]. — 1935. — Т. 6, Вып. 2. — С. 40–58.

6. Вермиккультура : производство и использование / Повхан М. Ф., Мельник И. А., Андриенко В. А. [и др.]. — К. : УкрИНТЭИ, 1994. — 128 с.

7. Власюк П. А. Обогащенные компосты / П. А. Власюк, А. В. Мандрик. — К. : Госсельхозиздат, 1961. — 296 с.

8. Вплив *Pseudomonas putida* 17 на накоплення фітогормонів у вермикомпості / Гаценко М. В., Волкогон М. В., Луценко Н. В., Волкогон В. В. // Сільськогосподарська мікробіологія. — 2011. — Вип. 13 — С. 82–91.

9. Мікробіологічні аспекти біокомпостування гною ВРХ з фосфоритами за впливу фосфатмобілізуючих бактерій / Гаценко М. В., Волкогон В. В., Токмакова Л. М., Луценко Н. В. // Сільськогосподарська мікробіологія. — 2010. — Вип. 11. — С. 75–89.

10. Гиляров М. С. Жизнь в почве / Гиляров М. С., Криволуцкий Д. К. — М. : Молодая гвардия, 1985. — 251 с.

11. Городний Н. М. Биоконверсия органических отходов в биоиндустриальном хозяйстве / Н. М. Городний, И. А. Мельник, М. Ф. Повхан. — К. : Урожай, 1990. — 256 с.
12. Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве / [Н. М. Городний, И. А. Мельник, М. Ф. Повхан и др.] // Достижения науки и техники. — 1992. — № 4. — С. 13–15.
13. Фізіологічна активність компонентів вермикомпосту та створення на його основі комплексного регулятору росту / [І. В. Драговоз, М. В. Волкогон, В. К. Янковська та ін.] // Физиология и биохимия культурных растений. — 2006. — Т. 38, № 4. — С. 292–299.
14. Воздействие фосфатмобилизирующих микроорганизмов на растения защищенного грунта / [Г. И. Ежов, С. В. Улахович, Ф. К. Алимова и др.] // Вести Рос. акад. с.-х. наук. — 1997. — № 4. — С. 41–44.
15. Иваница В. А. Микробиологические аспекты трансформации органических отходов и производстве биогумуса / В. А. Иваница // Достижения науки и техники. — 1992. — № 4. — С. 19.
16. Игонин А. М. Дождевые черви возрождают плодородие почвы / А. М. Игонин // Садоводство и виноградарство. — 1997. — № 2. — С. 21–22.
17. Игонин А. М. Переработка навоза и другой органики с помощью дождевых червей / А. М. Игонин // Земледелие. — 1989. — № 12. — С. 52–54.
18. Игошина О. В. Сукцессия сообществ беспозвоночных при компостировании и вермикомпостировании / О. В. Игошина, Н. Н. Наумова // Дождевые черви и плодородие почв : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. (17–19 марта 2004 г.). — Владимир, 2004. — С. 84–86.
19. Вермикультура як засіб виробництва біогумусу, кормового білка й оздоровлення навколишнього середовища / [Карпець І. П., Мельник І. А., Головенко В. І. та ін.]. — К. : УкрІНТЕІ, 1993. — 142 с.
20. Касатикова С. М. Испытания вермикомпоста / С. М. Касатикова, В. А. Касатиков // Агрохимический вестник. — 2002. — № 6. — С. 29–30.
21. Киселева Н. И. Биологическая и экологическая оценка нового комбинированного биоудобрения с фунгицидными свойствами : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. биолог. наук : спец. 03.00.16 «Экология» / Н. И. Киселева. — Серпухов, 2003. — 16 с.
22. Коваленко В. П. Компостирование отходов животноводства и растениеводства : монография / Коваленко В. П., Петренко И. М. — Краснодар : КГАУ, 2001. — 148 с.
23. Кузьмина Н. В. Микробиологические свойства вермикомпостов / Н. В. Кузьмина, Н. В. Верховцева // Агрохимический вестник. — 2002. — № 2 — С. 14
24. Максимов С. Л. Вермитехнологии в Белорусии / Органическое сельское хозяйство Белорусии: перспективы развития : матер. междунар. науч.-практ. конф. / сост. Н. И. Перечина. — Минск : Донарит, 2012. — С. 50–53.
25. Мельник І. П. Переробка органічних відходів птахофабрик і тваринницьких комплексів методом біологічної ферментації / Мельник І. П., Гнидюк В. С. // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві : зб. наук. праць ІМТ НААН. — 2011. — Вип. 2 (8). — С. 141–149.
26. Мельник И. А. Влияние вермикультуры и биогумуса на плодородие почвы и развитие растений / И. А. Мельник, В. Б. Ковалев // Защита растений. — 1991. — № 1. — С. 13–14.
27. Мельник И. А. Дождевые черви на службе сельского хозяйства / И. А. Мельник // Сельскохозяйственная биология. — 1990. — № 5. — С. 160–162.
28. Мельник И. А. Технология развития дождевых червей и производства биогумуса / И. А. Мельник, И. П. Карпец // Земледелие. — 1991. — № 8. — С. 68–70.
29. Мельник І. П. Біогумус у саду і на городі / І. П. Мельник, І. П. Карпець // Вісник аграрної науки. — 1992. — № 1. — С. 43.
30. Мерзлая Г. Е. Методика и результаты исследований эффективности компостов и вермикомпостов / Г. Е. Мерзлая // Дождевые черви и плодородие почв : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. (17–19 марта 2004 г.) — Владимир, 2004. — С. 40–45.
31. Мишустин Е. Н. Отходы животноводческих комплексов — новое органическое сырье / Е. Н. Мишустин, И. А. Архипченко // Биотехнология. — 1989. — Т. 5, № 5. — С. 634–638.
32. Неклюдов А. Д. Интенсификация процесса компостирования при помощи аэробных микроорганизмов (обзор) / А. Д. Неклюдов, Г. Н. Федотов, А. Н. Иванкин // Прикладная биохимия и микробиология. — 2008. — Т. 44, № 1. — С. 9–23.
33. Новые технологии высококачественных удобрений и кормовых добавок / [Н. Г. Ковалев и др.]. — Тверь, 2000. — С. 1–25.
34. Новые технологии и оборудование для технического перевооружения и строительства свиноводческих ферм и комплексов. — М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2006. — 264 с.
35. Пат. 2084431 РФ, C05F 11/08. Способ получения бактериального удобрения / Юдкин Л. Ю., Ковалев Н. Г., Хотянович А. В., Темнова О. В. ; заявитель и патентообладатель

ВНИИ сельскохозяйственного использования мелиорированных земель; ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии. — № 93044135/13, заявл. 31.08.93 ; опубл. 20.07.97, бюл. № 2.

36. Пат. 2112764 РФ, МПК, C05F 3/00. Способ приготовления компоста многоцелевого назначения / Ковалев Н.Г., Малинин Б.М., Туманов И.П. ; заявитель и патентообладатель ВНИИ сельскохозяйственного использования мелиорированных земель. — № 97101103/13, заявл. 22.01.97 ; опубл. 10.06.98.

37. Пат. 2125549 РФ, МПК C05F 11/08, C05F 11/00. Способ получения биоудобрения / [Киселева Н. И., Жариков Г. А., Галкина Н. Н. и др.] ; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский центр токсикологии и гигиенической регламентации биопрепаратов. — № 97122342/13, заявл. 29.12.97 ; опубл. 27.01.99, бюл. № 1.

38. Пат. 2286979 РФ, МПК (2006.01) C05F 11/08, C05G 3/04, C12N 1/20. Способ получения микробиологического удобрения на основе биогумуса / Кощаев А. Г. ; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. — № 2004135692/13, заявл. 06.12.04 ; опубл. 10.11.06, бюл. № 11.

39. Пат. 2286982 РФ, МПК (2006.01) C05F 11/08, C05G3/04, C12N 1/20. Способ получения бактериального удобрения на основе биогумуса / Кощаев А. Г. ; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. — № 2004135696/13, заявл. 06.12.04 ; опубл. 10.11.06, бюл. № 11.

40. Пат. 97198 Україна, МПК (2011.01). C05F 15/00, C05F 17/00, C05F 3/00, C05F 11/00, C05F 11/08 (2006.01), C05B 15/00, C05B 17/00. Біоорганічне добриво «Фосфогумін» / Волкогон В. В., Гаценко М. В., Луценко Н. В. ; заявник і патентовласник Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. — № а 201012767, заявл. 28.10.2010 ; опубл. 10.01.2012, бюл. № 1.

41. Пат. 98052 Україна, МПК (2012.01) C12N 1/20 (2006/01), C05F 15/00, C05F 17/00, C12R 1/40 (2006.04). Штам бактерій *Pseudomonas putida* для одержання біоорганічного добрива / Гаценко М. В., Луценко Н. В., Волкогон В. В. ; заявник і патентовласник Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. — № а201012764, заявл. 28.10.10 ; опубл. 10.04.12, бюл. № 7.

42. Пат. України 35116, МПК (2006), A01B 25/00, A01B 79/02. Система для отримання органічного добрива «Біоферм» / Галайко О. О., Гнидюк В. С., Веретельников О. Л., Мельник І. П. ; заявник і патентовласник Галайко О. О., Гнидюк В. С., Веретельников О. Л., Мельник І. П. — № 200808671, заявл. 01.07.2008 ; опубл. 26.08.2008,

бюл. № 16.

43. Пат. 2286981 РФ, МПК (2006.01) C05F 11/08, C05G 3/04, C12N 1/20. Способ приготовления комбинированного удобрения грунта на основе биогумуса / Кощаев А. Г. ; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. — № 2004135695/13, заявл. 06.12.04 ; опубл. 10.11.06, бюл. № 11.

44. Покровская С. Ф. Вермикомпостирование / С. Ф. Покровская, Ф. Б. Прижук // Земледелие. — 1990. — № 12. — С. 57–59.

45. Сидоренко О. Д. Содержание и состав микроорганизмов в компосте / О. Д. Сидоренко // Аграрная наука. — 1996. — № 5. — С. 28–29.

46. Сидоренко О. Д. Микробиологические основы получения компостов / О. Д. Сидоренко // Агрехимический вестник. — 1997. — № 6. — С. 3–4.

47. Скрильник Є. Як отримати якісний перегній / Є. Скрильник, Т. Кудлай // Пропозиція. — 2012. — № 11. — С.58–61.

48. Слободян В. О. Трансформація органічних відходів та використання їх у землеробстві / В. О. Слободян // Вісник аграрної науки. — 1999. — № 5. — С. 16–17.

49. Суховицкая Л. А. Фосфатмобилизующие микроорганизмы и биофосфор в практике сельского хозяйства Беларуси / Л. А. Суховицкая // Фосфор і калій у землеробстві. Проблеми мікробіологічної мобілізації : міжнар. наук.-практ. конф. (12–14 липня 2004 р.). — Чернігів–Харків : КП «Друкарня №13», 2004. — С. 135–140.

50. Терещенко Н. Н. К вопросу о природе ростостимулирующих и фунгистатических свойств вермикомпоста / Н. Н. Терещенко, А. Б. Бубина // Дождевые черви и плодородие почв : матер. II Междунар. научн.-практ. конф. (17–19 марта 2004 г.). — Владимир, 2004. — С. 144–148.

51. Терещенко Н. Н. Эколого-микробиологические аспекты вермикомпостирования / Н. Н. Терещенко. — Новосибирск : Изд-во СО РАСХН, 2003. — 116 с.

52. Сообщества бактерий, ассоциированные с почвенными беспозвоночными / Е. Б. Третьякова, Т. Г. Добровольская, Б. А. Бызов, Д. Г. Звягинцев // Микробиология. — 1996. — Т. 65, № 1. — С. 102–110.

53. Чекалов К. И. Различные способы хранения навоза / К. И. Чекалов // Микробиологические процессы при хранении навоза : труды всесоюзного института сельскохозяйственной микробиологии / [под ред. М. П. Корсаковой]. — 1935. — Т. 6, Вып. 2. — С. 10–22.

54. Шевченко І. А. Шляхи використання органічних відходів тваринництва / І. А. Шевченко, В. М. Павліченко, О. О. Ляшенко // Механізація,

екологізація та конвертація біосировини у тваринництві : збірник наук. праць Інституту механізації тваринництва УААН. — Вип. 1 (3–4). — Запоріжжя : ІМТ УААН, 2009. — С. 3–16.

55. Якушев А. В. Действие дождевых червей на физиологическое состояние микробного сообщества при вермикомпостировании / А. В. Якушев, С. А. Благодатский, Б. А. Бызов // Микробиология. — 2009. — Т. 78, № 4. — С. 565–574.

56. Якушев А. В. Микробиологическая характеристика вермикомпостов : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. биол. наук : спец. 03.00.07 «Микробиология» / А. В. Якушев. — М., 2009. — 24 с.

57. How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure / Aira M., Monroy F., Dominguez J., Mato S. // European journal of soil biology. — 2002. — № 38. — P. 7–10.

58. Microbial community dynamics during composting of organic matter as determined by 16S ribosomal DNA analysis / [Alfreider A. et al.] // Compost sci. util. — 2002. — Vol. 10. — P. 303–312.

59. Anastasi A. Isolation and identification of fungal communities in compost and vermicompost / Anastasi A, Varese G. C, Marchisio V. F. // Mycologia. — 2005. — Vol. 97 (Jan-Feb). — P. 33–44.

60. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil / [Atiyeh, R. M. et al.] // Pedobiologia. — 2000. — Vol. 44. — P. 579–590.

61. Devliegher W. Lumbricus terrestris in a soil core experiment: nutrient-enrichment processes (NEP) and gut-associated processes (GAP) and their effect on microbial biomass and microbial activity / Devliegher W., Verstraete W. // Soil Biol. Biochem. — 1995. — Vol. 27. — P. 573–580.

62. Rodale J. I. The complete book of composting / Rodale J. I. — Emmaus : Rodale Books, 1960. — 1007 p.

63. Tracking temporal changes of bacterial community fingerprints during the initial stages of composting / Schloss P. D., Hay A. G., Wilson D. B., Walker L. P. // FEMS Microbiology Ecology. — 2003. — Vol. 46. — P. 1–9.

64. Comparative investigation of vermicompost microbial communities / [Verkhovtseva, N. V. et al.]. // Microbiology of Composting / Klammer, S., ed. — Berlin : Springer, 2002. — P. 99–111.

65. Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste / Vivas A, Moreno B, Garcia-Rodriguez S, Benitez E. // Bioresour Technol. — 2009. — Vol. 100 (3). — P. 1319–1326.

КОМПОСТИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

М. В. Гаценко

Институт сельскохозяйственной микробиологии и агропромышленного производства НААН, г. Чернигов

В обзоре литературы описаны способы компостирования органического вещества, доминирующие направления в разные исторические периоды, преимущества и недостатки существующих способов компостирования, современные технологии вермикомпостирования и обогащения компостов.

Ключевые слова: *компостирование, компост, ферментация, микроорганизмы, вермикультура, вермикомпостирование, биогумус.*

COMPOSTING OF ORGANIC MATTER. MICROBIOLOGICAL ASPECTS

M. V. Gatsenko

Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Manufacture, NAAS, Chernihiv

The following literature review describes various methods of organic matter composting, dominant trends in different historical periods, advantages and disadvantages of the existing composting methods, modern technologies of vermicomposting and enriching of composts.

Key words: *composting, compost, fermentation, microorganisms, vermiculture, vermicomposting, humus.*