

ЕКОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ ТА АГРОНОМІЧНА ЦІННІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТУ КОМПОНАЗА ДЛЯ КОМПОСТУВАННЯ ГНОЮ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

М.В. Якимович¹, О.В. Тертична^{1,2}, В.О. Пінчук¹

¹Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: m.yakimovich13@gmail.com; ORCID: 0009-0000-0632-4995

e-mail: pinchuk_vo@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0646-1580

e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9514-2858

²Інститут сільськогосподарської мікробіології та аграрного виробництва НААН
(м. Чернівці, Україна)

Досліджено вплив інтродукції мікроорганізмів у складі біопрепарату Компоназа, а саме гриби роду *Trichoderma viride*, *Trichoderma harzianum*, життєздатні бактерії *Bacillus subtilis*, асоціація нафтоокислюваних мікроорганізмів *Rodex*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter*, *Enterococcus faecium*, на процес аеробного компостування підстилкового гною великої рогатої худоби, за використання аератора з аплікатором. Доведено, що застосування препарату Компоназа в процесі компостування, стабілізує летючі сполуки аміаку в компості з подальшим перетворенням їх у нітрити та нітрати. Зменшено неприємний запах, компост утворюється без втрат енергії, відбувається переведення макро- і мікроелементів у доступну для рослин форму. Забезпечено збагачення компосту корисними мікроорганізмами, що сприяє прискореному формуванню гуміфікованого субстрату. Цей біопрепарат бере участь у різних фазах компостування, має вплив на терміни зігрівання сировини, а також на якість вихідного матеріалу-компосту. З'ясовано, що за використання біопрепарату, підстилковий гній мав вищу інтенсивність деструкції та перетворення вуглецевого компоненту, а також кращу однорідність та структуру вихідного матеріалу. Зафіксовано найвищі рівні забезпечення готового компосту доступними формами елементів. Дослідний варіант із біопрепаратом показав високий вміст доступних елементів за результатами агрохімічного аналізу в середньому на 20%, оптимальні рівні органічної речовини та золи. Встановлено, що інокуляція вхідного матеріалу комплексом мікроорганізмів під компостування, має вплив на перебіг фаз компостування та якість отриманого компосту. Компост, отриманий за такого способу, мав позитивну післядію на врожайність, що додатково дало змогу зменшити норми внесення на гектар. До того ж цінність компосту можна корегувати інтродукцією в нього корисних мікроорганізмів безпосередньо в готове органічне добриво. Такі практики відомі й використовуються за технології холодного пресування-виготворення гранул у комбінації з технологічними рішеннями *Strip-till*. Серед не вирішених питань є недостатня обізнаність про специфіку технології компостування різних побічних продуктів, складність у масштабуванні технології, у країнах, що розвиваються, потреба в уніфікованих стандартах якості, недостатня пропаганда екологічної культури серед виробників тваринницької продукції, вивчення впливу препаратів на основі асоціацій мікроорганізмів, на якість, агрономічну цінність компосту, а також екологічні наслідки його застосування потребують більш поглиблених досліджень.

Ключові слова: побічна продукція тваринництва, мікроорганізми, загальний азот, аміак, нітрати, нітрити, органічне добриво, органічна речовина, родючість, ґрунт.

ВСТУП

Компостування побічної продукції тваринництва є важливою складовою екологічного управління відходами в Європі та інших країнах світу. Цей процес дає мож-

ливість переробляти побічну продукцію тваринництва, таку як гній, залишки кормів, підстилку, елементи забійного цеху, дигестати та інші біологічні матеріали в цінне органічне добриво. Наразі у світі компостування стає дедалі більш поширеним

завдяки зростаючій усвідомленості щодо екологічного вектора сталого розвитку та мінімізації негативного впливу на довкілля. Наприклад, у США та Канаді активно розвиваються державні ініціативи, що спонукають агровиробників застосовувати методи біологічної переробки. Важливість біологічної переробки побічної продукції тваринництва, зумовлена екологічними нормами, які Україна взяла на себе в рамках інтеграції у законодавче поле ЄС. Дослідження компостування зосереджені на вдосконаленні технологій, підвищенні екологічної ефективності та адаптації методів до різних умов. Цей науковий напрям є перспективним для подальшого вивчення, особливо в контексті глобальних викликів зміни клімату та деградації ґрунтів. Пошук наукових підходів до впровадження ефективних та безпечних методів утилізації побічної продукції з метою виробництва органічних добрив є надзвичайно актуальним із позицій циркулярної економіки.

Принципи регенеративного сільського господарства покликані зберегти баланс органічної речовини ґрунту, мінімізувати вплив на довкілля та запобігти деградації ґрунтів. Ефект від внесення органічних добрив важко переоцінити і для підвищення врожайності культур, і для збереження родючості ґрунту. З огляду на це, компостування побічної продукції тваринництва є важливим засобом, оскільки допомагає не тільки ефективно переробити, а й отримувати цінне органічне добриво [1; 2].

Метою роботи є дослідження інтродукції комплексу мікроорганізмів біопрепарату Компоназа на процес аеробного компостування побічної продукції підстилкового гною великої рогатої худоби та агрохімічні показники компосту.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У сучасних міжнародних наукових дже-релах висвітлено низку технологічних підходів до компостування побічної продукції тваринництва. Дослідження показали, що

компостування може зменшити кількість патогенів у вихідній сировині-компості, покращити структуру та родючість ґрунту. Має важливе екологічне значення, яке пов'язано з трансформацією летучих сполук аміаку, з подальшим перетворенням їх у нітрати та нітрити. Аміак, що виділяється з білків та інших азотовмісних сполук може зв'язуватися з водою в ґрунті й утворювати амоній (NH_4^+), який є доступним для рослин. Окислення нітритів (NO_2^-) до нітратів (NO_3^-), які є більш стабільною формою азоту, легко засвоюються рослинами. Свідченням цих фактів є дослідження в США та Європі, що підтверджують ефективність компостування для зменшення викидів парникових газів та поліпшення екологічної ситуації. US EPA (Агентство з охорони навколишнього середовища), проведено численні досліді, що демонструють переваги компостування, включаючи зниження обсягу відходів, збереження ресурсів та покращання якості ґрунтів. За їхніми даними, компостування скорочує обсяги викидів метану в атмосферу [3]. У наукових статтях, опублікованих MDPI — Publisher of Open Access Journals висвітлено переваги компостування щодо підвищення родючості ґрунтів, поліпшення структури ґрунту та зменшення потреби в хімічних добривах [4]. Результати спільних праць вчених M. Waqas, S. Hashim, U.W. Humphries, S. Ahmad, R. Noor, M. Shoaib, A. Naseem, P.T. Hlaing, H.A. Lin з Faculty of Natural and Agricultural Science North-West University (Південно-Африканська Республіка) та Department of Microbiology, Faculty of Science, Obafemi Awolowo University (Нігерія) доводять, що керування процесом компостування, а саме вплив на процес та дотримання рецептури вхідного матеріалу, додавання спеціально розроблених сумішей бактерій, грибів та інших мікроорганізмів, стимулюючих процеси перетворення органічної речовини, допомагає підвищити поживні якості вихідної сировини — компосту [5]. У звітах про сталий розвиток Комісії ЄС, підкреслено важливість компостування, як частини циркулярної економіки. Компос-

тування дає можливість знизити викиди парникових газів і зменшити екологічне навантаження [6]. Слід зазначити, що наразі дослідження компостування активно розвиваються, адже цей процес є ключовим для сталого управління органічними відходами, покращання якості ґрунтів та зменшення впливу на довкілля. Аналіз сучасних публікацій дає змогу виділити кілька основних напрямів, які домінують у цій сфері. Передусім значна увага приділяється корекції технології компостування. Аеробні методи переробки з додавання *Bacillus licheniformis* до свинячого гною, у дослідженнях Ó.J. Sánchez, D.A. Ospina, S. Montoya довели зниження вмісту аміаку на 40% і скорочення часу компостування на 25% [7]. Анаеробні методи, як-от ферментація в біогазових установках, аналізувались Г.Г. Гелетухою [8] насамперед як спосіб виробництва біогазу. По-друге, увагу зосереджено на якості вихідного матеріалу. Проведено аналіз впливу сировини (харчові відходи, гній, садові залишки) на вміст поживних речовин, як-от азот, фосфор і калій, а також на присутність шкідливих домішок, наприклад важких металів. У Європі, широко запроваджується сертифікація компосту, що гарантує його безпечність і відповідність стандартам для сільського господарства [9]. І наостанок, це екологічні аспекти процесу біокомпостування, а саме компостування розглядається як альтернатива спалюванню чи захороненню відходів, що зменшує викиди парникових газів. Співробітниками лабораторії екології тваринництва Інституту агроєкології і природокористування НААН В.О. Пінчуком, Ю.В. Подобою, О.В. Тертичною, О.І. Мінераловим та В.І. Дешко розроблено методичні рекомендації щодо екологічно безпечних технологій переробки побічної продукції тваринного походження з отриманням органічних добрив [10]. Збалансований розвиток галузі тваринництва потребує раціонального використання поживних речовин із мінімізацією забруднення довкілля відходами виробництва. Необхідною умовою для розвитку галузі тваринництва згідно з вимогами ЄС є дотримання балан-

су між нарощуванням виробництва екологічно безпечної продукції та утилізацією відходів [11]. Праці Yong Ju Kim, Sung Bo Cho, Min Ho Song, Sung Il Lee, Won Yun, Ji Hwan Lee, Han Jin, Se Yeon Chang [12; 13] свідчать, що правильно організований процес може скоротити викиди метану на 30–40%. Мікроорганізми додані під час процесу компостування, фіксують азот з атмосфери або окислюють аміак до більш засвоюваних рослинами азотистих форм. Також існує кілька стратегій збереження азоту під час компостування. Розглядається додавання фосфору та використання мікроорганізмів, які мобілізують фосфор і калій. Визначено основні групи мікроорганізмів, що мають відношення до процесу компостування, а також проведено їх ідентифікацію. Загалом, розробка таких біодобавок, збагачених поживними речовинами, потребує додаткових досліджень не лише з точки зору процесу компостування. Важливість напрацювань N. Ribeiro, T.P. Souza, L.M. Cost, C.P. de Castro, E.S. Dias [14] полягає у виділенні та ідентифікації мікроорганізмів, які дають змогу розщеплювати та перетворювати азотисті речовини та матеріали, що містять калій і фосфор у сировину, яка проходить процес компостування. Науковці Інституту сільськогосподарської мікробіології та аграрного виробництва НААН В.В. Волкогон, С.М. Дімова, С.В. Деркач, Н.В. Луценко, М.В. М'ягка та ін. [15] встановили роль інтродукції асоціації *Trichoderma harzianum* у технології біокомпостування органічної речовини на основі пташиного посліду. Серед невирішених проблем є недостатня обізнаність про технології компостування різних матеріалів, складність у масштабуванні технології, у країнах, що розвиваються, потреба в уніфікованих стандартах якості, недостатня пропаганда екологічної культури серед виробників тваринницької продукції, вивчення впливу препаратів на основі асоціації мікроорганізмів, на якість, агрономічну цінність компосту, а також екологічні наслідки його застосування потребують більш поглиблених досліджень.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріали досліджень: побічна продукція молочно-товарної ферми (підстилковий гній великої рогатої худоби), біопрепарат Компоназа, компост.

Методи досліджень: агрохімічні — лабораторний аналіз компосту на вміст сухої речовини, органічної речовини, загальних форм вуглецю, нітрогену, фосфору, калію, мінерального нітрогену (аміачний, нітратний), рН (ДСТУ ISO 10694-2001, ДСТУ 7926:2015, ДСТУ 7923:2015) [16]. Використано методи математичної статистики.

Першим етапом досліді було виробництво компосту (рис. 1, пункт 1–7 структурної схеми).

Дослідження проводились на виробничому майданчику зберігання та переробки компостування підстилкового гною вели-

кої рогатої худоби дослідного господарства, де було застосовано і апробовано спосіб впливу на процес гною за технологією аеробного компостування комплексним біопрепаратом Компоназа, виробництва ПП «БТУ-Центр», у нормі 0,25 л/т гною, шляхом внесення через аплікатор самохідного аератора, під час першої аерації бурта. Препаративна форма препарату — рідина. До складу біопрепарату входять: гриби роду *Trichoderma*, життєздатні бактерії *Bacillus subtilis*, асоціація мікроорганізмів *Rodex*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter*, *Enterococcus faecium* та ін. Ці мікроорганізми мають такі властивості: бактерії-антагоністи патогенних для рослин грибів та бактерій; фосфор та каліймобілізуювальні ґрунтові бактерії, природні ендofітні й ґрунтові азотфіксувальні бактерії; продукують ферменти для розкладання клітко-

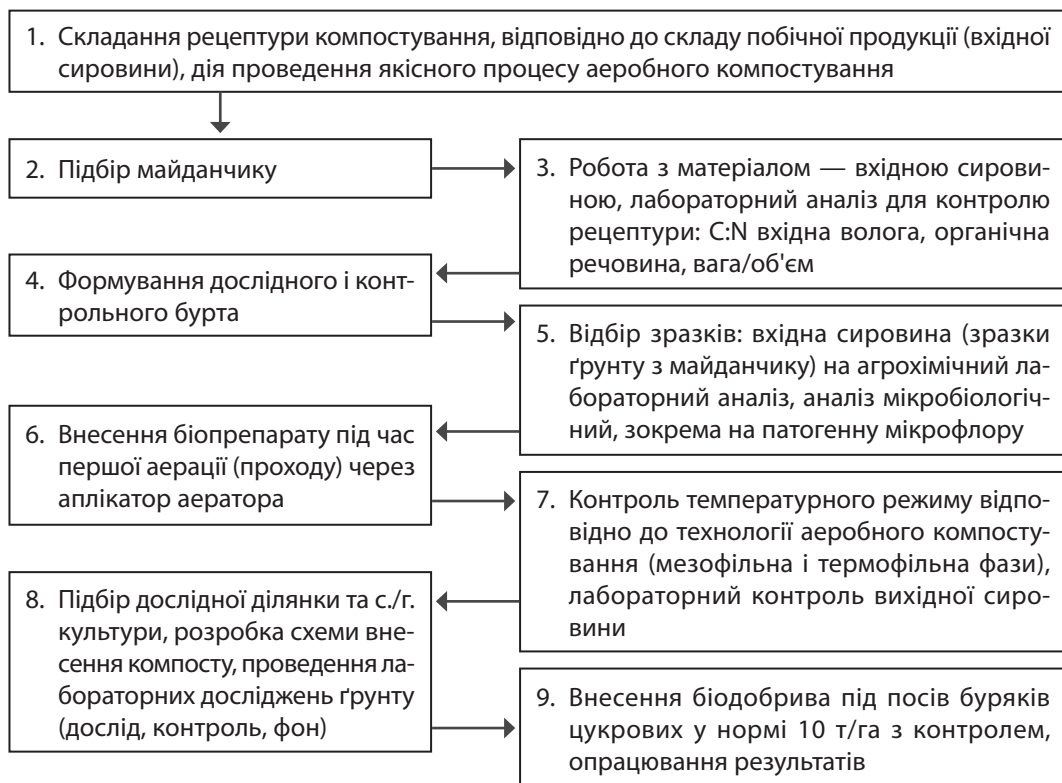


Рис. 1. Структурно-логічна схема етапів компостування підстилкового гною великої рогатої худоби

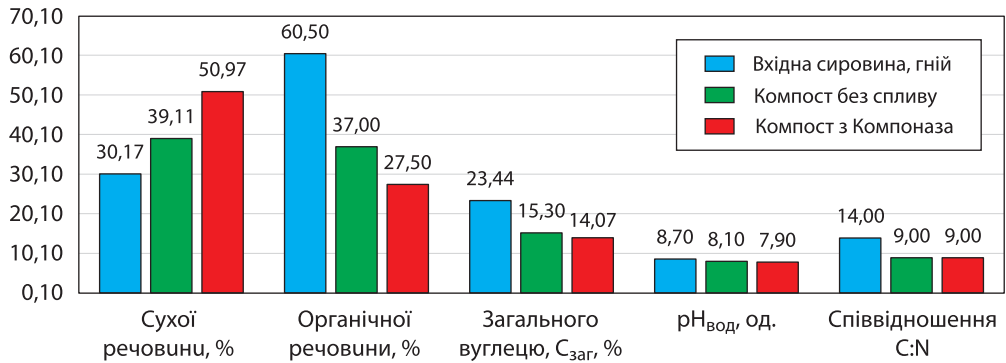


Рис. 2. Вплив біопрепарату Компоназа на агрохімічні показники побічної продукції великої рогатої худоби (ч. 1)

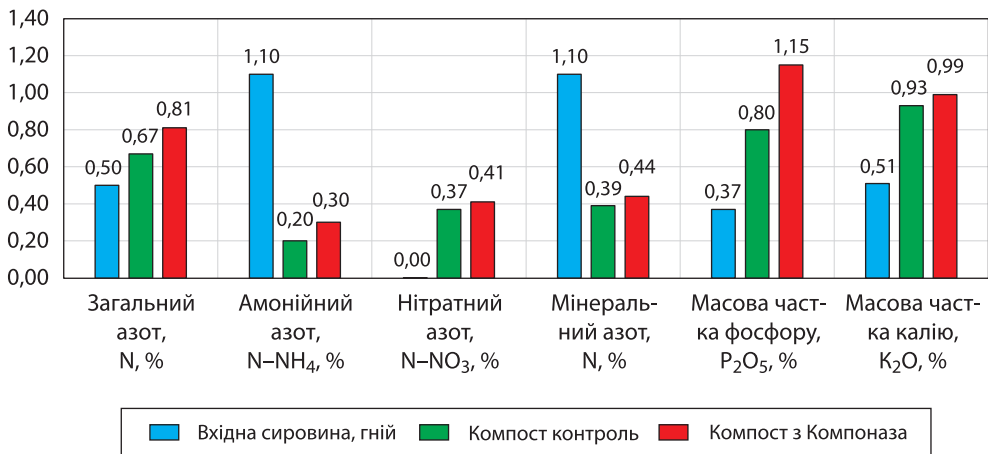


Рис. 3. Вплив біопрепарату Компоназа на агрохімічні показники побічної продукції великої рогатої худоби (ч. 2)

вини, пектинів, лігніну. Продуктами метаболізму мікроорганізмів є біофунгіциди, полісахариди, фітогормони, вітаміни, амінокислоти.

Дослідження було здійснено за такими варіантами:

- *Контроль*: компост.
- *Варіант 1*: гній великої рогатої худоби (вихідна сировина).
- *Варіант 2*: компост з додаванням біопрепарату Компоназа.

Сировина (гній великої рогатої худоби) була інокульована біопрепаратом Компоназа за використання аплікатора само-

хідного аератора на першій аерації. Було проаналізовано агрохімічні показники за вищенаведеними варіантами досліджень.

Результати візуалізовано на рис. 2 та рис. 3.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На відміну від різних побічних продуктів тваринництва гній великої рогатої худоби має специфічні особливості: високий вміст води (до 80–85%), значна частка грубих волокон (залишки соломи, сіна) і відносно низьке співвідношення вуглецю

до азоту (C/N, зазвичай 15–20:1), що потребує відповідного підходу до процесу компостування.

Водночас, гній великої рогатої худоби багатий на органічні речовини, але його переробка природним шляхом може бути тривалішою, через щільність і вологість. Без належної аерації він схильний до анаеробного бродіння, що супроводжується виділенням метану та неприємного запаху.

У результаті переробки кінцевий продукт — компост має вищі показники поживності, що свідчить про ефективність використання біопрепарату Компоназа за компостування гною великої рогатої худоби. У дослідному варіанті спостерігався ріст рівня доступних форм NPK до 20%, за даними агрохімічного аналізу (див. *рис. 2; 3*), порівняно з контролем, до 20%. Рівень нітратного азоту був вищий на 10,8% порівняно з контролем.

Отримані показники дослідження доводять, що комплексний біопрепарат прискорює розпад органічних сполук, забезпечує знезараження кінцевого продукту компосту, сприяє усуненню неприємного запаху. Використання комплексного біопрепарату Компоназа допомагає значно покращити санітарний стан майданчиків компостування.

Результати досліджень, одержані в експерименті під час компостування на майданчиках (див. *рис. 2; 3*), вказують на те, що спостерігається інтенсифікація процесу розкладання органічної речовини, етапи розпаду субстратів посилюються, консорціум мікроорганізмів швидко розкладає розчинні компоненти, як-от прості цукри і вуглеводи. Запаси цих речовин швидко виснажуються, мікроорганізми починають розкладати більш складні молекули, як-от целюлоза, геміцелюлоза і білки. Після споживання цих речовин мікроорганізми виділяють комплекс органічних кислот, які є джерелом енергії для інших мікроорганізмів. Однак не всі органічні кислоти, що утворюються, встигають поглинатися. Це призводить до їх надмірного накопичення та до зниження рН середовища, що спричи-

нило зростання кількості мікроорганізмів і метаболізму, а також підвищення температури. Коли температура підвищується до 40°C і вище, мезофільні мікроорганізми заміщуються більш стійкими до високих температур — термофілами. Під час досягнення температури 55°C більшість патогенів людини і рослин гине. Втім, якщо температура перевищить 65°C, загинуть і аеробні термофіли компостної купи. Завдяки високій температурі відбувається прискорений розпад білків, жирів і складних вуглеводів типу целюлози і геміцелюлози — основних структурних компонентів рослин. У результаті вичерпання харчових ресурсів обмінні процеси йдуть на спад, і температура поступово знижується. Внаслідок падіння температури до мезофільного діапазону в компостній купі починають домінувати мезофільні мікроорганізми. Температура є найкращим індикатором настання стадії дозрівання. У цій фазі органічні речовини, що залишилися, утворюють комплекси. Цей комплекс органічних речовин стійкий до подальшого розкладання і називається гуміновими кислотами або гумусом.

Слід зазначити, що через відсутність життєздатного насіння бур'янів у компості усунули його розповсюдження на поля і відповідно знизили ймовірне гербіцидне навантаження на ґрунт у перспективі. Також покращено фітосанітарний стан посівів культурних рослин через знезараження вихідної сировини — компосту від збудників хвороб, шкідників та карантинних видів рослин. Інтродукція мікроорганізмів допомагає прискорити розкладання органічних компонентів; знизити втрати азоту у вигляді аміаку, знезаразити масу від патогенів (наприклад, *E. coli*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus*), які часто присутні у гної, поліпшити структуру та поживність компосту для подальшого використання як добрива. Компостування зменшує негативне навантаження на довкілля і прискорює переробку побічної продукції тваринництва: запобігає накопиченню побічної продукції на майданчиках, знижує викиди метану та негативний вплив на ґрунтові

води. Отримане органічне добриво (компост) підвищує родючість ґрунту, покращує його структуру що впливає на водоутримувальну здатність, і є особливо важливим в умовах зміни клімату. Використання компосту сповільнює норми використання мінеральних добрив, що має вплив на собівартість агропродукції.

Трансформація летючих сполук аміаку (ЛСА) під час компостування є важливим процесом, який має значний екологічний вплив. Аміак (NH_3) є однією з основних газоподібних форм азоту, яка може виділятися під час розкладання органічних матеріалів.

В екологічному аспекті слід врахувати дослідження, проведені в лабораторії екології тваринництва ІАП НААН. Висвітлено, що тваринницькі господарства спричиняють високі показники викидів аміаку і парникових газів (NH_3 , NO_x і N_2O) із систем зберігання і використання гною та сільськогосподарських угідь (16,3–1456,4 кг/га/рік). На 1 т приросту живої маси телят у повітря викидається 132,4 кг NH_3 , NO_x і N_2O ; на 1 т виробленого молока корів – 7,6 кг [17].

На нашу думку, інокуляція вхідної сировини компосту біопрепаратом зі спеціально підібраним комплексом мікроорганізмів, дає можливість трансформувати більшу кількість аміаку в менш летючі форми, як-от нітрати (NO_3^-) або амоній (NH_4^+). Це не лише зменшує викиди аміаку, а й покращує доступність азоту для рослин. Зниження викидів летючих сполук азоту в атмосферу, позитивно впливає на якість повітря. Секвестрація вуглецю в процесі компостування дає змогу фіксувати вуглець, зменшуючи викиди парникових газів. Зниження викидів аміаку і нітратів у водні системи допомагає зменшити евтрофікацію водойм, що покращує екологічний стан гідробасейну та якість води.

Отже, результати досліджень дають підстави стверджувати, що отриманий компост має низку беззаперечних переваг перед удобренням гноєм. У підсумку розкладання органічних речовин мікроорганізмами, утворюється гуміфікований субстрат,

збагачений корисною мікрофлорою, азотом, калієм, фосфором, мікроелементами, вміст яких значно більший. Позитивними наслідками від використання компосту, як добрива для ґрунту є поліпшення біологічних, хімічних і фізичних властивостей, зниження його мінералізації та накопичення органічної речовин, збереження поживних елементів, доступність цих елементів для рослин.

Додатково слід зазначити перспективи розвитку напряму біологічної переробки залежать від діючих нормативно-правових вимог до компостування. Розробка та вдосконалення технологій компостування, включаючи автоматизацію процесу, може посилити його ефективність. Дослідження впливу компосту на біорізноманіття ґрунтових організмів та об'єкти довкілля має велике значення для формування екологічної культури серед агровиробників, а саме проведення інформаційних заходів для підвищення обізнаності про переваги компостування, навчання новим технологіям. Розвиток напряму компостування побічної продукції тваринництва має перспективи до розвитку. Впровадження біотехнологічних підходів для покращання мікробіологічних процесів також відкриває нові можливості поліпшення якості вихідного матеріалу-компосту як системного органічного добрива. Компостування побічної продукції тваринництва є важливим елементом сталого розвитку аграрного сектору. Завдяки дослідженням і введенню новітніх технологій можна збільшити ефективність біологічної переробки, яка буде мати дієвий позитивний вплив на економічні та екологічні показники.

ВИСНОВКИ

Тому, інокуляція вхідної сировини, а саме додавання груп мікроорганізмів у складі біопрепарату Компоназа під час аеробного компостування побічної продукції тваринництва великої рогатої худоби значно підвищує ефективність процесу біопереробки побічної продукції, дозволяючи отримати високоякісний компост. Внесення біопрепарату Компоназа до компосту

сприяло росту рівня доступних форм NPK до 20%, що є підтвердженням перспективності завдяки біопрепарату Компоназа за переробки гною великої рогатої худоби. Використання компосту в землеробстві дасть можливість зменшити залучення хімічних добрив та пестицидів, застосування

яких має негативні екологічні наслідки. Водночас зменшується емісія парникових газів, покращується фітосанітарний стан ґрунту, знижується забур'яненість, що свідчить про ефективність використання біопрепарату за компостування гною великої рогатої худоби.

ЛІТЕРАТУРА

1. Писаренко, В. М., & Писаренко, П. В. (2022). *Органічні добрива на захисті родючості ґрунту*. Полтава: Полтавське товариство сільського господарства.
2. Журавель, С. В., Кравчук, М. М., Кропивницький, Р. Б., Клименко, Т. В., Трембіцька, О. І., Радько, В. Г. ... Поліщук, В. О. (2020). *Органічні добрива: навч. посібн.* (С. В. Журавель, Ред.). Житомир: Вид-во Поліського ун-ту.
3. Impacts of Sending Food and Other Organic Materials to Landfills. URL: <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/composting#benefits>.
4. Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11), 4456. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12114456>.
5. Waqas, M., Hashim, S., Humphries, U. W., Ahmad, S., Noor, R., Shoaib, M. ... Lin, H. A. (2023). Composting Processes for Agricultural Waste Management: A Comprehensive Review. *Processes*, 11(3), 731. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11030731>.
6. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions, Brussels (30.11.2022). URL: https://environment.ec.europa.eu/system/files/2022-12/COM_2022_682_1_EN_ACT_part1_v4.pdf.
7. Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Manag.*, 69, 136–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>.
8. Гелетуха, Г. Г. (2020). *Ринкове дослідження можливостей використання дигестату в Україні*. Слайд 1–10. [Відео]. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/05/geletukha-uabio-saf-seminar-digestat-2020.pdf>.
9. Compost Certification and use for organic farming. URL: https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/Meeting-organic/11-Leifert-ECN-ESPP-IFOAM-12_12_17.pdf.
10. Пінчук, В. О., Подоба, Ю. В., Тертична, О. В., Дешко, В. І., & Мінералов, О. І. (2023). *Екологічно безпечні технології переробки побічної продукції тваринного походження з отриманням органічних добрив: методичні рекомендації*. Київ: ДІА. URL: <https://www.researchgate.net/publication/381188049>.
11. Бородай, В. П., Пінчук, О. В., & Тертична, О. В. (2017). Перспективні напрями екологічних досліджень у галузі тваринництва. *Агроекологічний журнал*, 2, 44–48. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220105>.
12. Компостування — як альтернатива спалюванню сухої рослинності та опалого листя. URL: <https://chernigiv.dei.gov.ua/post/571>.
13. Yong, Ju Kim, Sung, Bo Cho, Min, Ho Song, Sung, Il Lee, Won, Yun, Ji, Hwan Lee, & Jin, Ho Cho. (2022). Effects of different *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis* ratios on nutrient digestibility, fecal microflora, and gas emissions of growing pigs. *Journal of Animal Science and Technology*, 64(2). DOI: <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e12>.
14. Ribeiro, N., Souza, T. P., Cost, L. M., de Castro, C. P., & Dias, E. S. (2017). Microbial additives in the composting process. *Sciens. agrotec.*, 41(2), 159–168. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412038216>.
15. Волкогон, В. В., Дімова, С. М., Деркач, С. В., Лупенко, Н. В., М'ягка, М. В., Штанько, Н. П., & Халеп, Ю. М. (2015). *Технологія біокомпостування органічної речовини на основі пташиного посліду за інтродукції асоціації Trichoderma harzianum: практичні рекомендації*. Чернівці.
16. ДСТУ 7863:2015. Визначення легко гідролізованого азоту методом Корнфілда. Якість ґрунту. (2015). [Чинний від 2016-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/7863/5-1-0-1777>.
17. Pinchuk, V., Kryvokhyzha, Y., & Tertychna, O. (2022). Ecological assessment of the nitrogen budgets of livestock production systems in Ukraine. *Агро-екологічний журнал*, 4, 45–52. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273248>.

Стаття надійшла до редакції журналу 28.02.2025