Сільськогосподарська мікробіологія. 2024. Вип. 40. С. 58–69.
ISSN 1997-3004

https://doi.org/10.35868/1997-3004.40.58-69
УДК 579:631.461

ВЛАСТИВОСТІ КОМПОСТУ НА ОСНОВІ КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ, ОТРИМАНОГО ЗА ІНТРОДУКЦІЇ ДВОХ МІКРООРГАНІЗМІВ

І. М. Бондар, С. Б. Дімова

Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН
вул. Шевченка, 97; м. Чернігів, 14030, Україна; e-mail: dimova13@ukr.net

Мета. *Дослідити властивості компосту, отриманого при компостуванні органічної суміші з курячого посліду, торфу і соломи за участі Trichoderma harzianum PD3 та Bacillus megaterium 362.* ***Методи.*** *Мікробіологічні (метод генетичного маркування популяцій для отримання антибіотикостійких мутантів бактерій, визначення чисельності бактерій та мікроміцетів чашковим методом на агаризованих середовищах), агрохімічні (визначення вмісту вуглецю та азоту в компості), фізіологічні (біотестування культуральних рідин бактерії і мікроміцета та водних витяжок компосту), статистичні.* ***Результати.*** *Активні деструктори целюлози B. megaterium 362 та T. harzianum PD3 здатні приживатися у компостованих сумішах на основі курячого посліду як за умови моноінтродукції, так і за сумісного внесення у субстрат. Контроль чисельності мікроорганізмів, проведений у динаміці через 6, 9 та 12 тижнів після внесення інокулянтів до компостованого субстрату, показав, що за сумісного застосування, яке передбачає почергову інтродукцію штамів гриба і бактерії з розривом у часі в один місяць, інтродуковані мікроорганізми розвиваються у компостованому субстраті протягом усього періоду спостережень. Втрати вуглецю та азоту при компостуванні зменшуються як за використання T. harzianum PD3 та B. megaterium 362 окремо, так і в поєднанні без суттєвої різниці між дослідними варіантами. Результати специфічних біотестів засвідчили наявність ауксинової та цитокінінової активностей обох мікроорганізмів-інтродуцентів за десятикратних розведень культуральних рідин (КР) від 1/10 до 1/1000. КР T. harzianum PD3 проявляла цитокінінову активність також у розведенні 1/10 000. Гібереліновy активність фіксували тільки у найменших розведеннях (1/10), що може свідчити про незначні кількості гібереліноподібних речовин у КР мікроміцета та бактерії. Водна витяжка компосту, отриманого за сумісної інтродукції T. harzianum PD3 та B. megaterium 362, характеризувалася високою цитокініновою активністю, суттєво перевершуючи за цим показником традиційний компост без інтродукції мікроорганізмів.* ***Висновки.*** *Поетапне застосування селекціонованих мікроорганізмів (через один місяць від початку компостування — T. harzianum PD3 та через два місяці — B. megaterium 362) забезпечує підсилення інтенсивності мінералізаційних процесів у компостованому субстраті та отримання внаслідок компостування готового продукту — біоорганічного добрива з підвищеним вмістом речовин фітогормональної природи.*

Ключові слова: *компостування, курячий послід, інтродукція, Bacillus megaterium, Trichoderma harzianum.*

Вступ. Курячий послід належить до небезпечних відходів птахівництва, що потребують обов'язкової утилізації. Утім, його знешкодження шляхом компостування може не тільки розв'язати екологічні питання, а й стати додатковим джерелом прибутку, трансформуючи відходи птахівництва в цінну сировину для виробництва органічних добрив.

Компостування будь-яких органічних субстратів, зокрема і на основі курячого посліду, відбувається завдяки функціонуванню

© І. М. Бондар, С. Б. Дімова, 2024

в них мікроорганізмів [1–3]. Багатьма дослідженнями [4–6] показано принципову можливість корегування мікробіологічних процесів при компостуванні за рахунок інтродукції до органічних субстратів штамів агрономічно корисних мікроорганізмів та створення необхідних умов для їхнього розвитку.

Ідеї проведення наших досліджень базувалися на відомій інформації про здійснення первинних етапів деструкції органічних субстратів переважно мікроміцетами, які продукують комплекс целюлозолітичних і лігнінлітичних ферментів, і пізнішому розвитку бактерій, здатних використовувати продукти первинного гідролізу, здійсненого мікроскопічними грибами. Пошукові дослідження показали, що поетапне застосування для інтродукції у компостований субстрат на основі курячого посліду целюлозолітичних штамів мікроміцета з роду *Trichoderma* та бактерій з роду *Bacillus* дає можливість прискорити терміни компостування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування інтродукції селекціонованих мікробних культур при компостуванні органічних субстратів сьогодні визнане перспективним прийомом, який може сприяти прискоренню дозрівання компосту та покращенню його якісних характеристик [7–9].

Хоча вихідна сировина для компостування і містить мікроорганізми, здатні мінералізувати органічну речовину, проте недостатня чисельність автохтонної мікробіоти або її низька активність не забезпечує високої ефективності компостування та отримання належної якості компостів [10]. Результати низки досліджень свідчать про значний потенціал використання специфічних інокулянтів для підвищення ефективності та екологічної безпеки компостування. Так, Awasthi et al. [11] показали, що інтродукція мікроорганізмів у компостну суміш для регулювання чисельності та структури мікробіоценозу є ефективним методом оптимізації процесу компостування. Вони зазначали, що додавання бактеріального інокулюму значно зменшує викиди газів, сприяє збереженню вуглецю та азоту та збагачує різноманіття функціональних бактеріальних угруповань.

Останнім часом також з’являються публікації, які свідчать про скорочення термінів компостування за впливу інтродукованих мікроорганізмів [12–13].

Мікробні інокулянти, що використовуються для підвищення ефективності компостування органічних субстратів, можуть бути моно- або полікомпонентними. Більшість досліджень особливостей компостування за участі штучного забезпечення компостованих сумішей мікробіотою проведено за використання моноінокуляції [14–15]. Проте трансформація органічних сумішей при компостуванні є сукупністю різновекторних процесів, а один інокулянт зазвичай може суттєво вплинути лише на один з цих процесів. Тому логічно припустити, що спрямована зміна (сукцесія) складу мікробних угруповань у компостованому субстраті та пов’язане з цим покращення якісних характеристик кінцевого продукту (біоорганічного добрива) більш імовірні за полікомпонентної інтродукції мікроорганізмів.

Наприклад, Li et al. [16] встановили, що складний мікробний інокулянт на основі трьох мікроорганізмів (*Bacillus subtilis* SL-44, *Enterobacter hormaechei* Rs-189, *Trichoderma reesei*) сприяв підвищенню температури під час термофільної фази, прискорював розкладання лігноцелюлози, що значно покращувало якість і ефективність компостування, а застосування отриманого компосту при вирощуванні розсади томатів позитивно впливало на ріст і розвиток рослин.

Zhao et al. [17], дослідивши вплив інокуляції курячого посліду комплексом бактерій *Siccibactercolletis*, *B. thuringiensis*, *B. cereus* та *Bacillus* sp., показали зменшення втрат азоту при компостуванні.

За інтродукції мікробного інокулянта, що складався з трьох штамів *Bacillus* та одного штаму *Saccharomyces cerevisiae*, Cao et al. [18] спостерігали підвищення ефективності компостування та якості готового компосту за рахунок трансформації та збереження азоту і перетворення органічної речовини.

Інші автори також вважають, що вплив консорціуму бактерій, інтродукованого у компост на основі курячого посліду, зумовлений здатністю мінералізувати органічну речовину у термофільній фазі компостування [19].

Окремі науковці дійшли висновку, що використання так званих коктейлів мікроорганізмів значно оптимізує процес компостування, прискорюючи дозрівання компосту і покращуючи якість кінцевого продукту. Цей підхід визнаний ефективним способом

зниження втрат азоту, що робить його корисним при виробництві органічного добрива [20].

Дослідження мікробіологічних процесів компостування і, зокрема, впливу мікробних інокулянтів на ефективність цих процесів, останніми роками активізувалися, однак існують деякі аспекти, які потребують з'ясування. Так, недооціненим залишається вплив мікробних інокулянтів на процеси трансформації поживних речовин під час компостування органічних відходів. Потребує подальшого вивчення взаємодія між мікроорганізмами різних еколого-трофічних груп на різних етапах компостування. Необхідне дослідження конкретних механізмів, за допомогою яких мікробні інокулянти оптимізують процеси розкладання органічної речовини, знижують втрати азоту і вуглецю та підвищують якість кінцевого продукту. На наш погляд, належна увага не приділяється дослідженню вмісту у компостах речовин, що регулюють ріст рослин. Це особливо стосується компостів, отриманих за інтродукції мікроорганізмів-продуцентів речовин фітогормональної природи.

Матеріали і методи досліджень. При закладанні модельного досліду субстрат для компостування готували з таким співвідношенням компонентів: курячий послід — 65 %, торф — 25 %, солома озимої пшениці — 10 % [21]. Вологість субстрату в процесі компостування підтримували на рівні 60–70 %. Проводили попередню ферментацію суміші у загальному бурті. Через місяць після початку компостування компостований субстрат поміщали у пластикові контейнери (маса органічної суміші в контейнері — 5 кг). Частину контейнерів із сумішшю використовували як контроль. До іншої частини контейнерів вносили споро-міцеліальну суспензію мікроміцета *T. harzianum* PD3 та бактеріальну суспензію рифампіцинстійкого штаму *B. megaterium* 362^{Rif} (гриба — через 1 місяць, бактерії — через 2 місяці після початку компостування). Інтродукцію штамів проводили з розрахунку: мікроміцетів — $2 \cdot 10^7$ КУО/кг компосту, бактерій — $1 \cdot 10^{10}$ КУО/кг компосту. Повторність у досліді — триразова.

Застосування у досліді різних строків інтродукції грибного та бактеріального штаму зумовлене результатами попередніх досліджень їхньої сумісності за використання методу зустрічних культур. Оскільки встановлено, що *B. megaterium* 362 хоч і несуттєво, але може обмежувати розвиток *T. harzianum* PD3, у модельному досліді передбачено не одночасну, а розділену в часі інтродукцію у компостований субстрат мікроміцета та бактерії.

Бактеріальну суспензію отримували за культивування в умовах періодичної культури на мікробіологічній качалці (200 об./хв.) за температури 28 °С протягом 72 год. у рідкому живильному середовищі такого складу, г/л: висівки пшеничні — 40; $MgSO_4$ — 0,9; KH_2PO_4 — 0,5; $CaCO_3$ — 1; pH 7,0.

Споро-міцеліальну суспензію гриба отримували шляхом культивування штаму на стерилізованому вологому зерні пшениці з подальшим змивом стерильною водою.

У процесі компостування через кожні 2 тижні проводили перемішування (аерацію) компостованого субстрату.

Для визначення чисельності клітин *B. megaterium* 362 у компостованих субстратах застосовували метод генетичного маркування популяцій [22]. Антибіотикостійкий мутант одержували за методом В. Зібальського [23], використовуючи градієнт концентрації рифампіцину в агарі. Одержаний мутант, який мав стійкість до рифампіцину у концентрації 2000 мкг/мл середовища і зберігав її при пересівах, використовували для інтродукції у компостований субстрат і після відповідних строків компостування у динаміці визначали чисельність рифампіцинстійких клітин бактерій у компості чашковим методом на середовищі МПА, яке містило рифампіцин. Зміни в чисельності мікроміцетів роду *Trichoderma* досліджували чашковим методом на сусло-агарі [24].

Вміст вуглецю та азоту в компостах визначали методом Анстета в модифікації Пономарьової і Ніколаєвої [25].

Для дослідження інтенсивності розкладання соломи у компості зразки поміщали у посудину з водою та перемішували. Після декантації з поверхні знімали рештки соломи, а напіврозкладені залишки вимивали з компосту за використання сита з діаметром отворів 0,25 мм. Об'єднували дві фракції рослинних решток, висушували до постійної маси, зважували і розраховували ступінь розкладання соломи щодо початкового її вмісту в субстраті.

Рівні продукування мікроорганізмами фізіологічно активних речовин оцінювали методом біотестування.

B. megaterium 362 для біотестів культивували в умовах періодичної культури на качалці (200 об./хв.) за температури 28 °С протягом 72 год. у рідкому живильному синтетичному середовищі такого складу, г/л: глюкоза — 5; $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$ — 1,29; $(NH_4)_2HPO_4$ — 4,75; KH_2PO_4 — 9,6; $MgSO_4$ — 0,18; триптофан — 1; pH 7,2–7,6. Титр отриманої бактеріальної суспензії складав $1{,}2 \cdot 10^9$ КУО/мл.

T. harzianum PD3 культивували на качалці за аналогічних умов протягом 7 діб на ячмінному суслі (7 °Б). Титр споро-міцеліальної суспензії — $(5{,}5–6) \cdot 10^6$ КУО/мл.

Бактеріальну та споро-міцеліальну суспензії центрифугували 15 хв. при 10 тис. об./хв., для біотестів використовували отриманий супернатант.

Для біотестування готового продукту — компосту, використовували його водну витяжку. Після перемішування на качалці (200 об./хв. за кімнатної температури протягом 30 хв) суспензії компост : вода у співвідношенні 1 : 16 її фільтрували через паперовий фільтр. Фільтрат використовували для тестування.

Загальну рістстимулювальну активність культуральної рідини штамів-інтродуцентів та водних витяжок біокомпостів визначали рулонним методом на водній культурі пшениці озимої сорту Кубус [26]. Для визначення специфічної ауксинової, цитокінінової та гібереліновой активності застосовували методи біотестування. Для дослідження ауксинової активності використовували відрізки колеоптилів пшениці озимої сорту Кубус [27], для визначення цитокінінової активності — ізольовані етиольовані сім'ядольні листки огірків сорту Джерело [28], гібереліновой активності — гіпокотилі паростків салату сорту Кучерявець одеський [29].

Позитивним контролем у специфічному біотестуванні слугували розчини фітогормонів: для визначення ауксинової активності — індоліл-3-оцтової кислоти, цитокінінової активності — 6-бензиламінопурину, гібереліновой активності — гіберелової кислоти $ГК_3$.

Статистичну обробку експериментальних даних проводили за використання дисперсійного аналізу та програми Microsoft Office Excel 2010.

Результати досліджень та їх обговорення. У попередніх дослідженнях [30] нами було селекціоновано 5 перспективних штамів целюлозоруйнівних бактерій з роду *Bacillus*. Вивчення у модельному досліді їхньої здатності приживатися в органічній суміші на основі курячого посліду з додаванням торфу та соломи показало, що рифампіцинстійкі штами бактерій *B. amyloliquefaciens* ssp. *plantarum* 201^{Rif}, *B. amyloliquefaciens* ssp. *plantarum* 293^{Rif}, *B. amyloliquefaciens* 348^{Rif}, *B. amyloliquefaciens* 425^{Rif} вже через 6 тижнів від початку інтродукції мікроорганізмів у компостованій суміші виявити не вдається. При внесенні в органічний субстрат у кількості $2{,}0 \times 10^7$ КУО на 1 г компосту здатність приживатися у компостованій суміші проявляв лише один із п'яти попередньо відібраних штамів бактерій — *B. megaterium* 362^{Rif}.

Результати визначення чисельності зазначеного штаму у компостованому субстраті свідчать, що бактерія здатна приживатися у компості як за умови моноінтродукції до компостованої суміші, так і за інтродукції через місяць після інокуляції субстрату *T. harzianum* PD3 (табл. 1).

У досліді показано, що штам мікроміцета *T. harzianum* PD3 також розвивався протягом компостування органічного субстрату на основі курячого посліду як за моноінтродукції, так і за сумісного (з розривом у часі 1 місяць) застосування з *B. megaterium* 362^{Rif}.

Як відомо, оптимальним для перебігу процесу компостування є співвідношення вуглець : азот від 20 : 1 до 30 : 1. Чим ширше співвідношення цих елементів у субстратах, тим повільніше мінералізуються органічні сполуки. За вузького співвідношення C : N мінералізація проходить швидко, проте втрачається значна частина азоту внаслідок утворення аміаку і його подальшого вивітрювання [31–32].

У модельному досліді застосовано співвідношення компонентів органічної суміші (курячого посліду, торфу та соломи), яке забезпечило близьке до 20 : 1 співвідношення вуглецю до азоту, що мало сприяти оптимізації умов для перебігу мікробіологічних процесів. Для встановлення можливих втрат біогенних елементів визначали вміст азоту

Таблиця 1. ***Розвиток інтродукованих целюлозолітичних мікроорганізмів у компостованому субстраті***

Варіанти досліду	Чисельність інтродукованих грибів (тис. КУО / г сухого субстрату) та бактерій (млн КУО / г сухого субстрату) залежно від термінів від початку інтродукції мікроорганізмів					
	6 тижнів		9 тижнів		12 тижнів	
	T. harzianum PD3	*B. megaterium* 362^{Rif}	*T. harzianum* PD3	*B. megaterium* 362^{Rif}	*T. harzianum* PD3	*B. megaterium* 362^{Rif}
Компост без інтродукції (контроль)	0	0	0	0	0	0
Компости з інтродукцією мікроорганізмів						
T. harzianum PD3	30,5 ± 0,7	0	73,5 ± 1,5	0	98,6 ± 1,5	0
B. megaterium 362^{Rif}	0	0,49 ± 0,05	0	17,4 ± 1,2	0	1,33 ± 0,14
T. harzianum PD3 + *B. megaterium* 362^{Rif}	27,8 ± 1,4	0,26 ± 0,03	86,9 ± 1,5	12,3 ± 1,1	95,4 ± 4,4	1,22 ± 0,10

і вуглецю у компостованій суміші на початку компостування та через 9 тижнів після початку інтродукції мікроорганізмів. Результати дослідження вмісту вуглецю свідчать про його втрати у процесі ферментації субстрату (табл. 2). Найбільші втрати спостерігали у контрольному варіанті. Інтродукція у компостовану суміш *T. harzianum* PD3 та *B. megaterium* 362^{Rif}, як окремо, так і разом, сприяла зменшенню втрат вуглецю, що пояснюється активним розвитком мікроорганізмів (як самих інтродуцентів, так і мікроорганізмів інших еколого-трофічних груп) і, відповідно, використанням його для конструктивного та енергетичного метаболізму.

Результати визначення вмісту азоту також свідчать про втрати цього елементу у процесі компостування (табл. 2). Через 9 тижнів компостування найбільші втрати азоту спостерігали у варіанті без інтродукції мікроорганізмів (втрачено 13 % від початкової кількості цього елементу). Меншими виявилися втрати азоту за інтродукції до компостованого субстрату мікроорганізмів (з незначною різницею між варіантами із застосуванням мікроміцетів та бактерій окремо та разом). Зменшення втрат азоту зумовлене біологічним зв'язуванням цього елементу.

Таким чином, втрати обох біогенних елементів зменшуються при застосуванні

Таблиця 2. ***Вплив інтродукції T. harzianum PD3 та B. megaterium 362^{Rif} на вміст вуглецю і азоту в компостованих сумішах***

Варіанти досліду	C, %	N, %
Початковий субстрат	28,30	1,38
Компост через 9 тижнів компостування		
Контроль (без інтродукції)	25,10	1,20
T. harzianum PD3	26,83	1,32
B. megaterium 362^{Rif}	27,51	1,34
T. harzianum PD3 + *B. megaterium* 362^{Rif}	27,40	1,33
$НІР_{05}$	0,10	0,06

T. harzianum PD3 та *B. megaterium* 362^{Rif} як окремо, так і разом без суттєвої різниці між дослідними варіантами. Отже, інтродукція досліджуваних штамів мікроміцетів та бактерій забезпечує оптимальні умови для розвитку мікробіоти компосту та проходження мінералізаційних процесів.

Одним із показників, за яким можна оцінити швидкість мінералізації органічної речовини, є ступінь розкладання соломи. Інтродукція *T. harzianum* PD3 та *B. megaterium* 362^{Rif} забезпечує в межах досліду майже однаковий результат щодо розкладання соломи у компостованому субстраті (табл. 3). Ступінь розкладання цієї целюлозовмісної складової субстрату становить 65 % та 67 % відповідно при 41 % розкладання соломи у контролі. За почергової інтродукції мікроміцета та бактерії з розривом у часі спостерігається синергічний ефект (ступінь розкладання соломи збільшується до 74 %, тобто складає майже ¾ від початкової кількості).

Зауважимо, що під час селекції штамів, використаних надалі у досліді для інокуляції компостованої суміші, було встановлено, що вони не лише мають високу целюлозолітичну здатність, а є продуцентами фітогормонів [30]. Згідно із сучасними уявленнями, здатність до синтезу фітогормонів притаманна багатьом ґрунтовим мікроорганізмам, а не лише рослинам, як вважалося раніше (причому мікроорганізми утворюють ці речовини у значно більших кількостях, ніж рослини). Мікроорганізми здатні продукувати стимулятори росту, що належать до основних відомих класів фітогормонів (ауксини, цитокініни, гібереліни). Водночас вони синтезують й інші фітогормони: етилен, абсцизову кислоту, брасиностероїди, олігосахарини, саліцилову і жасмонову кислоти [33]. Таким чином, серед мікроорганізмів виявлено продуценти майже всіх описаних до теперішнього часу фітогормонів, причому деякі з них (наприклад, гібереліни та цитокініни) ідентифіковані в мікробних культурах раніше, ніж у рослинах [34].

Кількісний та якісний склад фітогормонів, що синтезуються мікроорганізмами, зазвичай має штамову специфічність. Тому одним із завдань наших досліджень було оцінити здатність *B. megaterium* 362 та *T. harzianum* PD3, використаних для інтродукції у компостовану органічну суміш, продукувати фітогормони як в умовах *in vitro*, так і в компості, отриманому за їхньої участі.

У підсумку дослідження загальної ріст-стимулювальної активності рулонним методом показано, що нативні (не розведені водою) культуральні рідини *T. harzianum* PD3 та *B. megaterium* 362 викликають пригнічення розвитку паростків пшениці, що може свідчити про надмірні для рослин кількості фітогормональних речовин. Десятикратні розведення КР від 1/10 до 1/10000 стимулювали ріст паростків пшениці. Ці дані корелюють з показниками специфічної ауксинової та цитокінінової активності КР обох мікроорганізмів. Гіберелінову активність відзначено лише у найменшому розведенні *T. harzianum* PD 3, що може свідчити про незначні кількості гіберелінoподібних речовин у КР мікроміцета (табл. 4).

Варто зазначити, що здатність мікроорганізмів продукувати фітогормони в умовах *in vitro* жодною мірою не гарантує, що вони проявлятимуть фітогормональну активність і при розвитку у компостованій суміші на основі курячого посліду. Для підтвердження або спростування ймовірних змін вмісту фітогормонів у компості під впливом інокуляції проведено визначення фітогормональної активності (загальної та специфічної) водних витяжок готових компостів.

Таблиця 3. ***Ступінь розкладання соломи у компостованому субстраті через 3,5 місяця компостування***

Варіанти досліду	Ступінь розкладання соломи, %
Компост без інтродукції (контроль)	41
Компости з інтродукцією мікроорганізмів	
T. harzianum PD3	65
B. megaterium 362 ^{Rif}	67
T. harzianum PD3+ *B. megaterium* 362^{Rif}	74
$НІР_{05}$	4

Таблиця 4. ***Ріcтстимулювальна активність культуральної рідини T. harzianum PD3 та B. megaterium 362***

Варіанти досліду	Фітогормональна активність					
	ауксинова		цитокінінова		гіберелінова	
	довжина колеоптилів пшениці, мм	% до контролю	маса приросту сім'ядольних листків огірків, мг	% до контролю	довжина гіпокотилів салату, мм	% до контролю
T. harzianum PD 3						
Вода (контроль)	8,7 ± 0,1	100	32,7 ± 1,8	100	12,5 ± 0,1	100
КР 1/10	10,1 ± 0,1	116	58,7 ± 2,8	179	17,5 ± 0,1	140
КР 1/100	9,7 ± 0,1	111	44,0 ± 2,7	133	13,1 ± 0,3	105
КР 1/1000	9,6 ± 0,5	110	44,0 ± 3,0	133	13,1 ± 0,7	105
КР 1/10000	8,5 ± 0,0	98	37,0 ± 1,7	112	13,0 ± 0,1	104
B. megaterium 362						
Вода (контроль)	10,5 ± 0,2	100	32,7 ± 1,8	100	11,3 ± 0,4	100
КР 1/10	6,3 ± 0,2	59	75,3 ± 3,2	227	11,6 ± 0,4	107
КР 1/100	7,6 ± 0,2	71	47,0 ± 3,8	142	12,1 ± 0,3	102
КР 1/1000	12,7 ± 0,2	119	40,3 ± 3,8	121	11,3 ± 0,6	100
КР 1/10000	10,7 ± 0,1	100	32,0 ± 1,7	97	*	*

Примітка: *) — не визначали.

У дослідженні компостів, отриманих у модельному досліді (табл. 5), використовували їх водну витяжку із співвідношенням компост : вода 1 : 16. У цьому розведенні обидва досліджені компости (контрольний і дослідний) позитивно впливали на розвиток паростків пшениці при дослідженні рулонним методом, причому прирости маси паростка та маси пагонів у варіанті з інтродукцією мікроорганізмів до компостованого субстрату були вищими, ніж у контрольному варіанті, що опосередковано свідчить про синтез фітогормонів інтродуцентами *T. harzianum* PD3 та *B. megaterium* 362 за цих умов.

Компост із варіанту з інтродукцією мікроорганізмів характеризувався найвищою цитокініновою активністю, перевищуючи показник традиційного компосту без інтродукції

Таблиця 5. ***Ріcтстимулювальна активність водної витяжки з компосту*** *(співвідношення компост : вода — 1 : 16)*

Варіанти досліду	Фітогормональна активність					
	ауксинова		цитокінінова		гіберелінова	
	довжина колеоптилів пшениці, мм	% до контролю	маса приросту сім'ядольних листків огірків, мг	% до контролю	довжина гіпокотилів салату, мм	% до контролю
Вода (контроль)	10,7 ± 0,2	100	38 ± 7	100	10,1 ± 0,4	100
Компост без інтродукції мікроорганізмів	11,8 ± 0,3	110	45 ± 5	118	12,5 ± 0,6	124
Компост за інтродукції *T. harzianum* PD3 + *B. megaterium* 362	13,2 ± 0,2	123	92 ± 9	142	15,0 ± 0,9	150

на 24 %. За гібереліновою активністю цей варіант виявився теж кращим, приріст, як порівняти з варіантом з інтродукцією, складав 26 %. Ауксинова активність витяжки з двох порівнюваних компостів відрізнялася не так суттєво (на 13 %.).

Висновки. Поетапна інтродукція *T. harzianum* PD3 і *B. megaterium* 362 до компостованого субстрату на основі курячого посліду сприяє скороченню термінів компостування і покращує кінцевий продукт як за рахунок оптимізації процесів трансформації органічної речовини, так і внаслідок розвитку в компості агрономічно цінних мікроорганізмів та накопичення фізіологічно активних речовин.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ryckeboer J., Mergaert J., Coosemans J., Deprins K., Swings J. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *J. Appl. Microbiology*. 2003. Vol. 94. P. 127–137. https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01800.x

2. Peters S., Koschinsky S., Schwieger F., Tebbe C. C. Succession of microbial communities during hot composting as detected by PCR-single-strand-conformation polymorphism-based genetic profiles of small-subunit rRNA genes. *Appl. Environment. Microbiology*. 2000. Vol. 66, № 3. P. 930–936. https://doi.org/10.1128/AEM.66.3.930-936.2000

3. Tiquia S. M. Microbial community dynamics in manure composts based on 16S and 18S rDNA T-RFLP profiles. *Environmental Technology*. 2005. Vol. 26. P. 1101–1113. https://doi.org/10.1080/09593332608618482

4. Гаценко М. В., Волкогон В. В., Токмакова Л. М., Луценко Н. В. Мікробіологічні аспекти біокомпостування гною ВРХ з фосфоритами за впливу фосфатмобілізувальних бактерій. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2010. Вип. 11. С. 75–89. https://doi.org/10.35868/1997-3004.11.75-89

5. М'ягка М. В., Деркач С. М., Волкогон В. В., Луценко Н. В. Сукцесії мікроорганізмів у процесі компостування курячого посліду. *Сільськогосподарська мікробіологія.* 2014. Вип. 20. С. 41–48. https://doi.org/10.35868/1997-3004.20.41-48

6. Волкогон В. В., Деркач С. М., Дімова С. Б., М'ягка М. В., Луценко Н. В., Штанько Н. П, Наконечна Л. Т. Біокомпостування органічного субстрату на основі пташиного посліду за інтродукції асоціації грибів *Trichoderma harzianum* 128. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 1. С. 108–115. https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2018.161404

7. Wang L. Inoculation of cattle manure with microbial agents increases efficiency and promotes maturity in composting. *3 Biotech*. 2020. Vol. 10, № 3. 128. https://doi.org/10.1007/s13205-020-2127-4

8. Zhao Y., Lu Q., Wei Y., Cui H., Zhang X., Wang X., Wei Z. Effect of actinobacteria agent inoculation methods on cellulose degradation during composting based on redundancy analysis. *Bioresource Technology*. 2016. Vol. 219. P. 196–203. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.117

9. Selvamani K., Annadurai V., Soundarapandian S. Improved co-composting of poultry manure with complementary consortium of indigenous Bacillus spp. *3 Biotech.* 2019. Vol. 9, № 215. P. 12. https://doi.org/10.1007/s13205-019-1745-1

10. Xu J., Lu Y., Shan G., He X., Huang J., Li Q. Inoculation with Compost-Born Thermophilic Complex Microbial Consortium Induced Organic Matters Degradation While Reduced Nitrogen Loss During Co-Composting of Dairy Manure and Sugarcane Leaves. *Waste and Biomass Valorization*. 2018. Vol. 10, № 9. P. 2467–2477. https://doi.org/10.1007/s12649-018-0293-y

11. Awasthi M. K., Duan Y., Awasthi S. K., Liu T., Zhang, Z. Effect of biochar and bacterial inoculum additions on cow dung composting. *Bioresource Technology*. 2019. № 297. 122407. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122407

12. Li H., He Y., Yan Z., Yang Z., Tian F., Liu X. … He Y. Insight into the microbial mechanisms for the improvement of spent mushroom substrate composting efficiency driven by phosphate-solubilizing Bacillus subtilis. *J. Environment. Management.* 2023. № 336. 117561. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117561

13. Ballardo C., Del Carmen Vargas-García M., Sánchez A., Barrena R., Artola A. Adding value to home compost: Biopesticide properties through Bacillus thuringiensis inoculation. *Waste Management*. 2020. № 106. P. 32–43. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.003

14. Chen Y., Wang Y., Xu Z., Liu Y., Duan H. Enhanced humification of maize straw and canola residue during composting by inoculating *Phanerochaete chrysosporium* in the cooling period. *Bioresource Technology*. 2019. Vol. 293. 122075. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122075

15. Zhang X., Zhan Y., Zhang H., Wang R., Tao X., Zhang L. ... Li J. Inoculation of phosphate-solubilizing bacteria (Bacillus) regulates microbial interaction to improve phosphorus fractions mobilization during kitchen waste composting. *Bioresource Technology*. 2021. Vol. 340. 125714. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125714

16. Li H., Yang Z., Zhang C., Shang W., Zhang T., Chang X. … He Y. Effect of microbial inoculum on composting efficiency in the composting process of spent mushroom substrate and chicken manure. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 353. 120145. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120145

17. Zhao J., Wang X., Liu Z., He L., Jiang H., Yao H. … Liu G. Metagenomics Analysis of the Impact of Protein-Degrading Functional Microbial Agents on Composting of Chicken Manure from Cereal Hulls. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. 1675. https://doi.org/10.3390/agronomy14081675

18. Cao R., Huang Y., Li R., Li K., Ren Z., Wu J. Regulation of nitrogen transformation and microbial community by inoculation during livestock manure composting. *Environmental Microbiology Reports*. 2024. Vol. 16, № 2. e13256. https://doi.org/10.1111/1758-2229.13256

19. Wan L., Wang X., Cong C., Li J., Xu Y., Li X. … Wang L. Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw. *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 301. 122730. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122730

20. Qiao C., Penton C. R., Liu C., Shen Z., Ou Y., Liu Z. … Shen Q. Key extracellular enzymes triggered high-efficiency composting associated with bacterial community succession. *Bioresource Technology*. 2019. Vol. 288. 121576. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121576

21. Волкогон В. В., Дімова С. Б., М'ягка М. В., Деркач С. М., Луценко Н. В., Штанько Н. П., Центило Л. В. Біокомпостування пташиного посліду асоціацією грибів Trichoderma harzianum 128. *Вісник аграрної науки.* 2016. № 11. С. 13–18. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk2016 11-02

22. Obaton M. Utilization de mutants spontanes resistans aux antibiotiques pour k'etude ecoloque des Rhizobium. *C. r. held Seans*. Acad. Sci. Paris, 1971. P. 2630–2633.

23. Manual of Methods for General Bacteriology. Ed. Philipp Gerhardt. American Society for Microbiology. Washington DC, 1981. 524 p.

24. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Токмакова Л. М., Мельничук Т. М., Чайковська Л. О. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія / за наук. ред. В. В. Волкогона. Київ : Аграрна наука, 2010. 464 с.

25. Агрохімічний аналіз / за ред. М. М. Городнього. 2-ге вид. Київ : Арістей, 2005. 476 с.

26. Драговоз І. В., Леонова Н. О., Жукова Д. А., Авдєєва Л. В. Фітостимулювальна активність екзометаболітів штама-антагоніста Bacillus amyloliquefaciens IMB B-7404. *Мікробіологія і біотехнологія*. 2013. № 3. С. 84–93.

27. Бойчук О. Б., Зайцева Л. М. Застосування тесту коротких відрізків пшеничних колеоптилів для визначення ауксинів. *Укр. ботан. журн*. 1977. Т. 34, № 6. С. 632–636.

28. Процко Р. Ф., Варшавська В. Б. Визначення цитокінінів на етиольованих сім'ядолях Cucumis L. *Укр. ботан. журн*. 1977. Т. 34, № 6. С. 644.

29. Кефелі В. І., Яніна Л. І., Жлоба Н. М. Визначення гіберелінів у біотесті на гіпокотилях Lactuca sativa L. *Укр. ботан. журн.* 1977. Т. 34, № 6. С. 638–639.

30. Дімова С. Б., Шевченко Л. А., Волкогон В. В., Бондар І. М., Земська І. А. Селекція целюлозоруйнівних бактерій роду Bacillus та дослідження їхньої сумісності з мікроміцетом Trichoderma harzianum PD3. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2023. Вип. 37. С. 23–33. https://doi.org/10.35868/1997-3004.37.23-33

31. Goyal S., Dhull S. K., Kapoor K. K. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*. 2005. Vol. 96. P. 1584–1591. https://doi.org/10.1016/j.biortech. 2004.12.012

32. Steiner C., Das K. C., Melear N., Lakly D. Reducing Nitrogen Loss during Poultry Litter Composting Using Biochar. *J. Environmental Quality*. 2010. Vol. 39. P. 1236–1242. https://doi.org/10. 2134/jeq2009.0337

33. Дімова С. Б. Фітогормони — продукти життєдіяльності мікроорганізмів. Методи визначення. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. Вип. 18. С. 159–185. https://doi.org/10.35868/1997-3004.18.159-185

34. Андреюк К. І., Іутинська Г. О., Антипчук А. Ф., Валагурова О. В., Козирицька В. Є. Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження. Київ : Обереги, 2001. 239 с.

Отримано 15.08.2024

https://doi.org/10.35868/1997-3004.40.58-69
UDC 579:631.461

PROPERTIES OF POULTRY MANURE-BASED COMPOST OBTAINED AFTER THE INTRODUCTION OF TWO MICROORGANISMS

I. M. Bondar, S. B. Dimova

Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Manufacture, NAAS, Chernihiv
e-mail: dimova13@ukr.net

Objective. *Study the properties of compost obtained after composting organic mixture of poultry manure, peat and straw under the effect of Trichoderma harzianum PD3 and Bacillus megaterium 362.* ***Methods.*** *Microbiological (method of genetic marking of populations to obtain antibiotic-resistant mutants of bacteria, determination of the number of bacteria and micromycetes by the plate method on agar media), agrochemical (determination of carbon and nitrogen content in compost), physiological (biotesting of bacterial and micromycetes culture fluids and aqueous extracts of compost), statistical.* ***Results.*** *Active cellulose decomposers B. megaterium 362 and T. harzianum PD3 are able to take root in composted mixtures based on poultry manure both under the condition of mono-introduction and when introduced together into the substrate. Monitoring the number of microorganisms, carried out over time 6, 9 and 12 weeks after the introduction of inoculants into the composted substrate, showed that combined use, which involves the alternate introduction of fungal and bacterial strains with a time gap of one month, resulted in the development of the introduced microorganisms in the composted substrate throughout the entire observation period. Carbon and nitrogen losses during composting are reduced both when using T. harzianum PD3 and B. megaterium 362 separately and in combination without a significant difference between the experimental variants. The results of specific bioassays confirmed the presence of auxin and cytokinin activities of both microorganisms-introducers at tenfold dilutions of culture fluids (CF) from 1/10 to 1/1000. CF of T. harzianum PD3 exhibited cytokinin activity also at a dilution of 1/10 000. Gibberellin activity was recorded only at the lowest dilutions (1/10), which may indicate insignificant amounts of gibberellin-like substances in CF of the micromycete and bacteria. The aqueous extract of compost obtained by the combined introduction of T. harzianum PD3 and B. megaterium 362 was characterized by high cytokinin activity, significantly surpassing the traditional compost without the introduction of microorganisms.* ***Conclusion.*** *The staged application of selected microorganisms (one month after the start of composting — T. harzianum PD3 and two months later — B. megaterium 362) ensures an increase in the intensity of mineralization processes in the composted substrate and the production of a finished product as a result of composting — bioorganic fertilizer with an increased content of phytohormonal substances.*

Key words: *composting, poultry manure, introduction, Bacillus megaterium, Trichoderma harzianum.*

REFERENCES

1. Ryckeboer, J., Mergaert, J., Coosemans, J., Deprins, K., & Swings, J. (2003). Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *J. Appl. Microbiology, 94*, 127–137. https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01800.x

2. Peters, S., Koschinsky, S., Schwieger, F., & Tebbe, C. C. (2000). Succession of microbial communities during hot composting as detected by PCR-single-strand-conformation polymorphism-based genetic profiles of small-subunit rRNA genes. *Appl. Environ. Microbiol., 66*(3), 930–936. https://doi.org/10.1128/AEM.66.3.930-936.2000

3. Tiquia, S. M. (2005). Microbial community dynamics in manure composts based on 16S and 18S rDNA T-RFLP profiles. *Environ. Technol., 26*, 1101–1113. https://doi.org/10.1080/09593332608618482

4. Hatsenko, M. V., Volkohon, V. V., Tokmakova, L. M., & Lutsenko, N. V. (2010). Mikrobiolohichni aspekty biokompostuvannia hnoiu VRKh z fosforytamy za vplyvu fosfatmobilizuvalnykh bakterii [Microbiological aspects of biocomposting of cattle manure with phosphates under the influence of phosphate-mobilizing bacteria]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia — Agricultural microbiology*, *11,* 75–89. https://doi.org/10.35868/1997-3004.11.75-89 [in Ukrainian].

5. Miahka, M. V., Derkach, S. M., Volkohon, V. V., & Lutsenko, N. V. (2014). Suktsesii mikroorhanizmiv u protsesi kompostuvannia kuriachoho poslidu [Microorganism successions in the process of chicken manure composting]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia — Agricultural microbiology, 20,* 41–48. https://doi.org/10.35868/1997-3004.20.41-48 [in Ukrainian].

6. Volkohon, V. V., Derkach, S. M., Dimova, S. B., Miahka, M. V., Lutsenko, N. V., Shtanko, N. P, & Nakonechna, L. T. (2018). Biokompostuvannia orhanichnoho substratu na osnovi ptashynoho poslidu za introduktsii asotsiatsii hrybiv Trichoderma harzianum 128 [Biocomposting of organic substrate based on bird droppings with the introduction of a fungal association Trichoderma harzianum 128]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological Journal,* 1*,* 108–115. https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2018.161404 [in Ukrainian].

7. Wang, L. (2020). Inoculation of cattle manure with microbial agents increases efficiency and promotes maturity in composting. *3 Biotech*., *10*(3), 128. https://doi.org/10.1007/s13205-020-2127-4

8. Zhao, Y., Lu, Q., Wei, Y., Cui, H., Zhang, X., Wang, X., & Wei, Z. (2016). Effect of actinobacteria agent inoculation methods on cellulose degradation during composting based on redundancy analysis. *Bioresour. Technol., 219*, 196–203. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.117

9. Selvamani, K., Annadurai, V., & Soundarapandian, S. (2019). Improved co-composting of poultry manure with complementary consortium of indigenous Bacillus spp. *3 Biotech., 9*(215), 12. https://doi.org/10.1007/s13205-019-1745-1

10. Xu, J., Lu, Y., Shan, G., He, X., Huang, J., & Li, Q. (2018). Inoculation with Compost-Born Thermophilic Complex Microbial Consortium Induced Organic Matters Degradation While Reduced Nitrogen Loss During Co-Composting of Dairy Manure and Sugarcane Leaves. *Waste and Biomass Valorization*, *10*(9)*,* 2467–2477. https://doi.org/10.1007/s12649-018-0293-y

11. Awasthi, M. K., Duan, Y., Awasthi, S. K., Liu, T., & Zhang, Z. (2019). Effect of biochar and bacterial inoculum additions on cow dung composting. *Bioresour. Technol.*, *297,* 122407. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122407

12. Li, H., He, Y., Yan, Z., Yang, Z., Tian, F., Liu, X. … He, Y. (2023). Insight into the microbial mechanisms for the improvement of spent mushroom substrate composting efficiency driven by phosphate-solubilizing *Bacillus subtilis*. *J. Environ. Manag., 336,* 117561. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117561

13. Ballardo, C., Del Carmen Vargas-García, M., Sánchez, A., Barrena, R., & Artola, A. (2020). Adding value to home compost: Biopesticide properties through Bacillus thuringiensis inoculation. *Waste Manage, 106,* 32–43. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.003

14. Chen, Y., Wang, Y., Xu, Z., Liu, Y., & Duan, H. (2019). Enhanced humification of maize straw and canola residue during composting by inoculating *Phanerochaete chrysosporium* in the cooling period. *Bioresour. Technol., 293,* 122075. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122075

15. Zhang, X., Zhan, Y., Zhang, H., Wang, R., Tao, X., Zhang, L. … Li, J. (2021). Inoculation of phosphate-solubilizing bacteria (Bacillus) regulates microbial interaction to improve phosphorus fractions mobilization during kitchen waste composting. *Bioresour. Technol., 340,* 125714. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125714

16. Li, H., Yang, Z., Zhang, C., Shang, W., Zhang, T., Chang, X. … He, Y. (2024). Effect of microbial inoculum on composting efficiency in the composting process of spent mushroom substrate and chicken manure. *J. Environ. Manag., 353,* 120145. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120145

17. Zhao, J., Wang, X., Liu, Z., He, L., Jiang, H., Yao, H. … & Liu, G. (2024). Metagenomics Analysis of the Impact of Protein-Degrading Functional Microbial Agents on Composting of Chicken Manure from Cereal Hulls. *Agronomy, 14*, 1675. https://doi.org/10.3390/agronomy14081675

18. Cao, R., Huang, Y., Li, R., Li, K., Ren, Z., & Wu, J. (2024). Regulation of nitrogen transformation and microbial community by inoculation during livestock manure composting. *Environ. Microbiol. Rep., 16*(2), e13256. https://doi.org/10.1111/1758-2229.13256

19. Wan, L., Wang, X., Cong, C., Li, J., Xu, Y., Li, X. … & Wang, L. (2020). Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw. *Bioresour. Technol., 301.* 122730. https://doi.org/110.1016/j.biortech.2019.122730

20. Qiao, C., Penton, C. R., Liu, C., Shen, Z., Ou, Y., Liu, Z. … & Shen, Q. (2019). Key extracellular enzymes triggered high-efficiency composting associated with bacterial community succession. *Bioresour. Technol., 288,* 121576. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121576

21. Volkohon, V. V., Dimova, S. B., Miahka, M. V., Derkach, S. M., Lutsenko, N. V., Shtanko, N. P., & Tsentylo, L. V. (2016). Biokompostuvannia ptashynoho poslidu asotsiatsiieiu hrybiv Trichoderma harzianum 128 [Biocomposting of bird droppings by association of funges Trichoderma harzianum 128]. *Visnyk ahrarnoi nauky — Bulletin of Agricultural Science, 11,* 13–18. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201611-02 [in Ukrainian].

22. Obaton, M. (1971). Utilization de mutants spontanes resistans aux antibiotiques pour k'etude ecoloque des Rhizobium [Use of spontaneous antibiotic-resistant mutants for the ecological study of Rhizobium]. *C. r. held Seans*.

Acad. — C. r. held Seans. *Acad Sci.,* 2630–2633 [in French].

23. Gerhardt, P. (Ed.) (1981). *Manual of Methods for General Bacteriology*. American Society for Microbiology. Washington DC.

24. Volkohon, V. V. (Ed.) (2010). *Eksperymentalna gruntova mikrobiolohiia: monohrafiia* [Experimental soil microbiology: monograph]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].

25. Horodnii, M. M. (Ed.) (2005). *Ahrokhimichnyi analiz* [Agrochemical analysis]. Kyiv: Aristei [in Ukrainian].

26. Drahovoz, I. V., Leonova, N. O., Zhukova, D. A., & Avdieieva, L. V. (2013). Fitostymuliuvalna aktyvnist ekzometabolitiv shtama-antahonista Bacillus amyloliquefaciens IMV V-7404 [Phytostimulatory activity of exometabolites of the antagonist strain Bacillus amyloliquefaciens IMV V-7404]. *Mikrobiolohiia i biotekhnolohiia — Mycrobiology and biotechnology, 3,* 84–93. https://doi.org/10.18524/2307-4663.2013.3(23).48943 [in Ukrainian].

27. Boichuk, O. B., & Zaitseva, L. M. (1977). Zastosuvannia testu korotkykh vidrizkiv pshenychnykh koleoptyliv dlia vyznachennia auksyniv [Application of the wheat coleoptile short section test for auxin determination]. *Ukr. botan. zhurn. — Ukrainian Botanical Journal, 34*(6), 632–636 [in Ukrainian].

28. Protsko, R. F., & Varshavska, V. B. (1977). Vyznachennia tsytokinineiv na etyolovanykh simiadoliakh Cucumis L. [Determination of cytokinins on etiolated cotyledons of Cucumis L.]. *Ukr. botan. zhurn. — Ukrainian Botanical Journal, 34*(6)*,* 644 [in Ukrainian].

29. Kefeli, V. I., Yanina, L. I., & Zhloba, N. M. (1977). Vyznachennia hibereliniv u biotesti na hipokotyliakh Lactuca sativa L. [Determination of gibberellins in a bioassay on hypocotyls of Lactuca sativa L.]. *Ukr. botan. zhurn. — Ukrainian Botanical Journal, 34*(6), 638–639 [in Ukrainian].

30. Dimova, S. B., Shevchenko, L. A., Volkohon, V. V., Bondar, I. M., & Zemska, I. A. (2023). Selektsiia tseliulozoruinivnykh bakterii rodu Bacillus ta doslidzhennia yikhnoi sumisnosti z mikromitsetom Trichoderma harzianum PD3 [Selection of cellulose-degrading bacteria of the genus Bacillus and research of their compatibility with the micromycete Trichoderma harzianum PD3]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia — Agricultural microbiology*, *37*, 23–33. https://doi.org/10.35868/1997-3004.37.23-33 [in Ukrainian].

31. Goyal, S., Dhull, S. K., & Kapoor, K. K. (2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresour. Technol., 96,* 1584–1591. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.12.012

32. Steiner, C., Das, K. C., Melear, N. & Lakly, D. (2010). Reducing Nitrogen Loss during Poultry Litter Composting Using Biochar. *J. Environ. Qual., 39,* 1236–1242. https://doi.org/10.2134/jeq2009.0337

33. Dimova, S. B. (2014). Fitohormony — produkty zhyttiediialnosti mikroorhanizmiv. Metody vyznachennia [Phytohormones — products of vital activity of microorganisms. Methods of determination]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia — Agricultural microbiology, 18*, 159–185. https://doi.org/10.35868/1997-3004.18.159-185 [in Ukrainian].

34. Andreiuk, K. I., Iutynska, H. O., Antypchuk, A. F., Valahurova, O. V., Kozyrytska, V. Ye. (2001). *Funktsionuvannia mikrobnykh tsenoziv gruntu v umovakh antropohennoho navantazhennia* [Functioning of soil microbial coenoses under anthropogenic load]. Kyiv: Oberehy [in Ukrainian].

Received 15.08.2024