

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ЕКОЛОГІЯ.
АГРОНОМІЧНІ НАУКИ

УДК 579.64:631.46
© 2016

А.І. ГОРОВА,
доктор біологічних наук

Т.В. СКВОРЦОВА,
кандидат біологічних наук

С.М. ЛИСИЦЬКА,
кандидат сільськогосподарських наук

ДВНЗ “Національний гірничий
університет”, Україна
E-mail: heviz@ukr.net

м. Дніпро, проспект Д. Яворницького, 19

ВІДНОВЛЕННЯ
ГУМУСНОГО СТАНУ
ТА ПРИРОДНОЇ РОДЮЧОСТІ
ДЕГРАДОВАНИХ ЧОРНОЗЕМІВ
ЗА ДОПОМОГОЮ
ВЕРМИКОПОСТУ
ЯК ОРГАНІЧНОГО ДОБРИВА

Представлені результати експериментальних досліджень мікробіологічних і агрохімічних властивостей зразків вермикопосту, отриманого на основі курячого посліду, і обґрунтовано доцільність його використання як сучасного органічного добрива з метою поліпшення гумусного стану і підвищення природної родючості деградованих чорноземів України. Вермикопост містить добре збалансований набір макро- і мікроелементів живлення рослин, а також фізіологічно активні речовини – гумати натрію і калію. Елементи живлення знаходяться в обмінній органічній формі, надійно захищені від вимивання, мають пролонговану дію. Внесення вермикопосту в ґрунт за правильної агротехніки сприяє відновленню нормальної ґрунтової мікрофлори, підвищує загальний вміст гумусу в ґрунті, дозволяє уповільнити процес мінералізації рослинних решток в орному горизонті ґрунту. Екологічною перевагою використання вермикопосту є також його гігієнічна безпека.

Ключові слова: вермикопост, біогумус, гуміфікація, мінералізація органічних речовин, гумінові сполуки, деградовані чорноземи, ґрунтова мікрофлора, природна родючість.

Актуальність проблеми. Деградація орних земель в Україні, зокрема зниження запасів ґрунтового гумусу і погіршення якості та родючості ґрунтів, стала результатом діяльності різних промислових підприємств, а також інтенсивних технологій в аграрному виробництві. Серед негативних наслідків є порушення механічних, фізико-хімічних властивостей, балансу мікробіоценозу та зниження кількості біогенних речовин поживного комплексу родючості ґрунтів. Встановлено, що для середньозмитих ґрунтів недобір урожаю становить 30–40 %, а для сильнозмитих – понад 50 % [1].

Біодеградація гумусу орних чорноземів України пов'язана з процесами зменшення кількості рослинних решток у ґрунті та активністю мінералізації в ньому органічних речовин. Враховуючи різний рівень стійкості ґрунтів до процесів антропогенної дії, на практиці передбачають різні нормалізуючі заходи щодо поліпшення їх гумусового стану та родючості. Тому спрямоване відновлення природної гумусної родючості деградованих чорноземів України передбачає пошук нових форм і видів органічних добрив, способів їх внесення, розробку агротехнічних прийомів депонування й зберігання біогенних елемен-

тив гумусу, що дозволить забезпечити підвищення якісних параметрів ґрунтів [2].

Серед агротехнічних засобів найважливішими є застосування органо-мінеральних добрив, наприклад вермикомпостів (продуктів переробки органічних відходів за допомогою дощових черв'яків).

Джерелами для виробництва органічних добрив нового покоління можуть стати будь-які органічні матеріали, вуглецевмісні залишки, відходи тваринництва і птахівництва, комунальні органічні відходи, кора рослин, зрізані гілки, опале листя, лігнін тощо, які у великій кількості накопичуються на звалищах, у відстійниках або спалюються. Ці матеріали, як правило, належать до таких, що важко гідролізуються, або до токсичних речовин, чи до сполук, що швидко мінералізуються у ґрунті. Тому використання їх у первинному вигляді як добрив не може істотно впливати на родючість ґрунтового шару. Проте переробка органічних відходів біотехнологічними методами і внесення їх у ґрунт у вигляді збалансованих органічних добрив – вермикомпостів – може стати ефективним інструментом регулювання гумусного стану земель.

Аналіз основних джерел інформації. Для переробки небезпечних відходів тваринництва і птахівництва ряд авторів пропонують їх біоконверсію метановим бродинням у біогазових установках або компостування у спеціалізованих господарствах [3].

Природний процес компостування, тобто перетворення свіжого гною великої рогатої худоби або курячого посліду на органічне добриво додаванням багатьох видів і форм ґрунтових мікроорганізмів (бактерій, актиноміцетів, грибів-мікроміцетів тощо), є дуже тривалим і не завжди забезпечує необхідні результати [4]. Встановлено, що навіть через три роки в природно трансформованій гнійній масі міститься досить велика кількість високомолекулярних органічних сполук, які непридатні для засвоєння кореневою системою рослин. У ній повністю зберігають життєздатність і схожість насіння бур'янів, гнізда деяких небезпечних шкідників сільськогосподарських культур (наприклад капустянки), що, у свою чергу, призводить до вторинного засмічення посівів бур'янами і

шкідливими фітофагами. Крім того, процес традиційного компостування непридатний для утилізації рідких відходів птахівництва, що мають високу вологість (98 %).

Так, вагомою альтернативою традиційним технологіям компостування органічних відходів є безвідходна їх переробка за допомогою вермикультури (дощового черв'яка "vermes"), або вермикультивування [5]. Інтенсивність руйнування біополімерних речовин, що містяться в органічних відходах, забезпечується морфологічними особливостями та ферментативною активністю травної системи черв'яків. Ґрунтові й рослинні матеріали, які пройшли крізь травну систему черв'яків, зазнають глибоких біохімічних змін, збагачуючись одночасно мікроелементами (кальцієм, фосфором, магнієм), ферментами та іншими сполуками, що беруть участь у створенні біологічно активних речовин – гумінових кислот [5]. За деякими даними застосування вермикомпосту (біогумусу) один раз на три роки до 6 т/га – зберігає родючість, а в кількості 6–10 т/га різко підвищує родючість ґрунтів, відновлює запаси гумусу і природну родючість деградованих ґрунтів [6, 7].

Загальновідома роль ґрунтової мезофауни, зокрема дощових черв'яків, у відтворенні природної ґрунтової родючості, проте процеси гуміфікації, які відбуваються прискореними темпами за вермикомпостування органічних відходів, розкриті ще недостатньо.

Метою роботи було проведення дослідження мікробіологічних, агрохімічних і гумусних властивостей зразків вермикомпосту з курячого посліду і обґрунтування доцільності його використання як перспективного засобу для поліпшення гумусного стану та родючості деградованих чорноземів.

Методи і результати досліджень. Для більш глибокого вивчення складного багаторівневого процесу біотехнологічної переробки органічної речовини сільськогосподарських відходів шляхом вермикомпостування нами були проведені дослідження мікробіологічних і агрохімічних властивостей, а також групового і фракційного складу гумусу зразків вермикомпосту на різних стадіях біоконверсії рідкого курячого посліду.

1. Характеристика мікробних асоціацій, що розвиваються на частинках вермикомпосту в умовах вологої камери

Зразок	Частота зустрічальності клітин мікроорганізмів, % від 60 полів зору світлового мікроскопа		
	міцелій грибів	колонії бактерій	актиноміцети
Шар вермикомпосту: верхній	5,0	31,6	3,3
нижній	8,3	5,0	11,6

Особливості життєдіяльності мікробних ценозів, які містить вермикомпост (біогумус), отриманий з курячого посліду, вивчали на базі кафедри ґрунтознавства Московського державного університету за загальноприйнятими методами [4, 5]. Для досліджень відбирали проби вермикомпосту на різних стадіях дозрівання: зразки нижнього шару – практично повністю дозрілий біогумус та верхнього шару (на ранній стадії вермикомпостування), де зустрічаються залишки органічного субстрату.

Проведені нами мікробіологічні дослідження підтвердили високу мікробіологічну активність біогумусу (табл. 1).

Мікробіологічні дослідження, проведені методом світлопольної мікроскопії, показали, що у верхньому шарі біогумусу переважають неспоронні та спорові бактерії, наявні також коренеподібні бактерії вхідного таксономічного складу. Саме вони володіють значною активністю в перетворенні речовин. У нижньому шарі біогумусу наявні ознаки більш сталої екосистеми: таксономічний склад мікроорганізмів представлено головним чином групами коренеподібних бактерій, актиноміцетів і нокардій.

В оліготрофній асоціації верхнього шару компосту домінують бактерії. Це свідчить про збагачення його легкодоступними органічними речовинами. Для нижніх шарів характерним є підвищена частота зустрічальності актиноміцетів, що слугує показником

перебігу інших процесів, зокрема трансформації менш доступних речовин з утворенням складних гумінових сполук.

Вивчення таксономічного складу бактеріальних колоній проводилося поверхневим культивуванням бактерій на середовищі м'ясо-пептонний агар з розведенням 1:1000, температурою інкубації 37 °С. Дані чисельності різних видів бактерій у верхніх і нижніх шарах компосту наведено в табл. 2. За отриманими даними співвідношення чисельності споривих та коренеподібних бактерій свідчить про різний стан мікробних асоціацій на різних стадіях вермикомпостування. Загальна чисельність мікроорганізмів залишається однаковою (7,62–7,69 млн клітин/г), але співвідношення споривих та коренеподібних бактерій протилежно в різних шарах вермикомпосту.

Дослідження таксономічного складу мікроорганізмів показали, що стан мікробних ценозів у зразках вермикомпосту має відповідність класичному сукцесійному ряду мікробних комплексів – субстратних біотрансформаторів. У верхньому шарі вермикомпосту знаходиться на порядок більше споривих, які, за термінологією С.М. Виноградського, відносяться до зимогенних груп мікроорганізмів, сапротрофів, що беруть активну участь у перетворенні органічних субстратів.

У нижньому шарі вермикомпосту процеси мінералізації субстратів завершуються. За

2. Таксономічні групи бактерій вермикомпосту за поверхневого культивування на м'ясо-пептонному агарі

Зразок	Таксономічний склад, млн клітин/г				Всього
	спорові	<i>Bac. licheniformis</i>	<i>Bac. circulans</i>	коренеподібні бактерії	
Шар вермикомпосту: верхній	6,15	0,15	0,026	1,13	7,62
нижній	0,67	0,026	0,00	7,0	7,69

цих умов спорові бактерії переходять до спокійливого стану анабіозу і не беруть участь у процесі біоконверсії речовин. При цьому в нижній частині вермикомпосту збільшується чисельність коренеподібних бактерій, які, за термінологією С.М. Виноградського, включені до аутохтонних бактерій (тих, що живляться гумусом). Їх чисельність у нижньому шарі вермикомпосту зростає з 1,13 до 7 млн.

Завершення процесів мінералізації в нижньому шарі вермикомпосту доводять також зміни в кількості вида спорових бактерій *Bac.licheniformis*, який відомий як вид, що добре розвивається в лабораторних умовах на сінному отварі.

Активність мікробіологічних процесів у верхньому і нижньому шарах вермикомпосту вивчали з використанням величини коефіцієнта мінералізації (метод Є.Н. Мішустіна) за поверхневого культивування на крохмале-аміачному агаризованому середовищі (табл. 3).

Відомо, що одним із характерніших проявів ферментативної активності мікроорганізмів є розкладання ними крохмалю, тобто амілолітична активність. Коефіцієнт мінералізації за Є.Н. Мішустіним – це відношення чисельності на крохмале-аміачному агарі до чисельності на м'ясо-пептонному за одного розведення суспензії. Відповідно до

стадії сукцесії розкладання мікроорганізмами органічних залишків, амілолітичні процеси властиві тим організмам, чисельність яких підвищена у верхньому шарі вермикомпосту. Високу активність мікробних процесів, які відбуваються у верхньому шарі, показує і величина коефіцієнта мінералізації. У дослідженнях він виявився на порядок вище, ніж у нижньому шарі компосту. Коефіцієнт мінералізації у верхньому шарі становив 1,5, а в нижньому – 0,1.

Дослідження бактерій на середовищі *Eiubі* підтвердили, що вермикомпост містить значну кількість бактерій, причому зберігається закономірність, за якою в нижньому шарі мікробні асоціації представлені коренеподібними бактеріями та актиноміцетами більш різноманітними, ніж у верхньому шарі (табл. 4). Тобто дослідження з використанням різних середовищ культивування підтверджують, що в нижньому шарі компосту процеси мінералізації доступних речовин уповільнюються і дозрівання вермикомпосту переважно відбувається за рахунок бактеріальних процесів гуміфікації, а не мінералізації.

З метою детального вивчення процесу гуміфікації, який протікає за вермикомпостування курячого посліду, проведено аналіз гумусного стану зразків біогумусу за кла-

3. Таксономічні групи мікроорганізмів вермикомпосту за поверхневого культивування на крохмале-аміачному агаризованому середовищі

Зразок	Таксономічний склад, млн клітин/г				Всього
	коренеподібні бактерії	актиноміцети з білим повітряним міцелієм	спороносні бактерії	гриби	
Шар вермикомпосту: верхній	7,83	0,17	поодиначо	поодиначо	8,0
нижній	0,3	0,26	0,39	0,13	1,08

4. Таксономічні групи мікроорганізмів вермикомпосту за культивування на безазотному середовищі *Eiub*

Зразок	Таксономічний склад, млн клітин/г				Всього
	безпігментні коренеподібні бактерії	актиноміцети з міцелієм		родококки	
		білим та сірим повітряним	червоним		
Шар вермикомпосту: верхній	3,10	0,50	0,00	0,00	3,60
нижній	2,08	0,70	0,01	0,01	2,80

5. Фракційний склад гумусу вермикомпосту в повітряно-сухому зразку *

Зразок	С _{заг} , %	С _{водн} , %	С _{ліп} , %	Гумінові кислоти				Фульвокислоти				
				ГК-1	ГК-2	ГК-3	ГК	ФК-1А	ФК-1	ФК-2	ФК-3	ФК
Біогумус-1	5,87	0,032 0,5	0,34 5,8	0,35 6,0	0,77 13,1	1,10 18,7	2,22 37,8	0,20 3,4	0,29 4,9	0,01 6,0	0,68 11,6	1,18 20,1
Біогумус-2	5,36	0,048 0,9	0,39 7,3	0,27 5,0	0,32 6,0	0,93 17,4	1,52 28,4	0,21 3,9	0,18 3,3	0,13 2,4	0,53 9,9	1,05 19,5
Біогумус товарний	6,13	0,043 0,7	0,29 4,7	0,31 5,1	0,42 6,9	1,28 20,9	2,01 32,9	0,22 3,6	0,31 5,1	0,39 6,4	0,57 9,3	1,49 24,4

* Чисельник – вміст вуглецю С, % до маси ґрунту; знаменник – вміст вуглецю С, % до С_{заг}.

сичною схемою І.В. Тюріна і В.В. Пономаєвої [4, 5].

Вермикомпост (біогумус трьох видів як продукт переробки курячого посліду червоним каліфорнійським черв'яком) характеризувався такими показниками, як загальний вміст вуглецю (С_{заг}), вміст водорозчинного вуглецю (С_{водн}) і вміст ліпідного вуглецю (С_{ліп}). Результати, що були отримані за груповим та фракційним складом, наведено в табл. 5.

Аналіз результатів показав, що всі зразки вермикомпосту є високогумусними та характеризуються близьким груповим і фракційним складом. Уміст органічного вуглецю (С_{заг}), визначеного за методом І.В. Тюріна, коливається від 5,36 до 6,13 %.

Гумінові кислоти в вермикомпостних препаратів були представлені фракцією ГК-1 (0,27–0,35 %), що становить 5–6 % від С_{заг}, і фракцією ГК-2, вміст якої зростає в усіх зразках. Цікаво також відзначити, що в зраз-

ках біогумусу спостерігається присутність значної кількості фракції ГК-3, а у фракційному складі фульвокислот переважають фракції ФК-1А, ФК-1 і ФК-3.

Розподіл за фракціями гумінових і фульвокислот у досліджених зразках є аналогічним розподілу цих фракцій в природних ґрунтах.

Про інтенсивність проходження процесів гуміфікації в результаті вермикольтивування свідчить високий вміст негідролізованого залишку (гуміну) в усіх пробах молодого біогумусу (35,8–52,5 %) і наявність ліпідів (4,7–7,3 %).

У період дозрівання вермикомпосту вміст гумінових та фульвокислот у зразках може змінюватися. Найбільш сприятливе співвідношення кількості гуматно-фульватних фракцій спостерігалось в пробах зрілого біогумусу і було близьким до показників природних ґрунтів.

6. Деякі показники агрохімічних властивостей вермикомпосту

Зразок	Вологість, %	pH води	С _{заг} , % на аналізаторі	С _{заг} , % за Тюріним	N _{заг} , %	С _{заг} , %
Біогумус-1	30,59	7,48	7,88	5,87	0,74	2,95
Біогумус-2	36,49	7,12	6,03	5,36	0,52	3,41
Біогумус товарний	39,02	7,35	8,02	6,13	0,6	3,07

7. Вміст деяких біогенних елементів у зразках вермикомпосту

Зразок	P ₂ O ₅ , г/100 г		K ₂ O, г/100 г		Ca ²⁺ , г/100 г		NH ⁴⁺ , мг/100 г
	заг.	рух.	заг.	обм.	заг.	обм.	рух.
Біогумус-1	1,87	1,85	1,01	0,9	2,95	2,41	22,95
Біогумус-2	2,99	2,73	0,82	0,65	3,41	3,24	42,75
Біогумус товарний	2,28	2,07	0,55	0,39	3,07	3,02	37,95

Біогумус будь-якої природи містить всі необхідні для рослини речовини в добре збалансованій і легкозасвоюваній кореневою системою формі. До його складу входить практично весь необхідний для рослин набір макро- і мікроелементів, про що свідчать результати хімічних досліджень, наведені в табл. 6,7.

Елементи живлення рослин у складі біогумусу знаходяться в рухомій органічній формі, надійно захищені від вимивання, слугують надійним джерелом тривалого, пролонгованого засвоєння. Такий ефект забезпечується завдяки вдалому поєднанню мінеральних поживних речовин, гумінових кислот і гуміну.

Висновки

Експериментальні дослідження мікробних груп вермикомпосту при культивуванні їх на різних середовищах підтверджують, що в процесі трансформації біогумусу мінералізація легкозасвоюваних речовин уповільнюється, дозрівання продукту біоконверсії проходить переважно за рахунок бактеріальних процесів гуміфікації, а не мінерального перетворення. Зразки вермикомпосту не містять патогенних неспорівих бактерій та яєць гельмінтів. Внесення біогумусу як органічного добрива до ґрунту сприяє також відновленню нормальної мікрофлори, характерної для цілинних ґрунтів, стимулює процеси їх ефективної гуміфікації.

Мікробіологічна активність у зразках вермикомпосту, в цілому, відповідає перебігу екологічних процесів, які зазвичай спостерігаються в природних підстилках у вертикальному напрямку. Внесення біогумусу як органічного добрива до ґрунту сприятиме відновленню нормальної мікрофлори та біотичного потенціалу ґрунтів агроєкосистем.

Дослідження гумусного стану вермикомпосту з курячого посліду підтверджують, що процеси гуміфікації під час вермикомпостування протікають достатньо інтенсивно з утворенням молодого гумусу. Унаслідок переважання у вермикомпості процесів

гуміфікації над процесами мінералізації органічних речовин, внесення його до ґрунту як органічне добриво позитивно впливатиме на гумусний стан деградованих чорноземів та поліпшення агрономічної структури орного шару через максимальне закріплення гумусових сполук у верхньому шарі ґрунту, а також сприятиме стабілізації і збалансованості його агротехнічних і мікробіологічних показників.

Агрохімічні показники вермикомпосту свідчать про наявність великої кількості органо-мінеральних елементів живлення рослин, які мають легкозасвоювану форму.

Таким чином, враховуючи агрохімічні властивості біогумусу різної природи, можна прогнозувати перспективність його використання як високоефективного, екологічно безпечного органічного добрива.

Своєчасне застосування вермикомпосту разом з проведенням комплексу агрохімічних заходів, що забезпечує максимальну трансформацію внесених органічних добрив у гумусові речовини та їх закріплення в гумусовому профілі, матиме позитивний вплив на гумусний стан виснажених та деградованих ґрунтів, що не завжди забезпечується внесенням традиційних органічних добрив (свіжого підстилкового гною, посліду або торфу).

Бібліографія

1. Охорона ґрунтів: підручник / [М.К. Шикла, О.Ф. Гнатенко Л.Р. Петренко, М.В. Капитик]. – К.: Знання, КОО, 2004. – 398 с.
2. Моніторинг земель: підручник / [О.М. Гаркуша та ін.]. – Миколаїв: Іліон, 2008. – 190 с.
3. Ґрунтознавство: підручник / Назаренко І.І., Польчина С.М., Нікорич В.А. – Чернівці: Книги-XXI, 2004. – 399 с.
4. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М.: Издво МГУ, 1990. – 325 с.
5. Горювая А.И. Гуминовые вещества / Горювая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. – К.: Наукова думка, 1995. – 303 с.
6. Біотехнології в екології: навч. посібник / [Горова А.І., Лисицька С.М., Павличенко А.В., Скворцова Т.В.]. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2012. – 184 с.
7. Гармаш С.М. Дослідження біохімічних властивостей біогумусу та біогумату / С.М. Гармаш // Вопросы химии и химической технологии. – 2004. – № 4. – С. 128–130.
8. Еколого-гігієнічна оцінка мікробіологічних та агрохімічних властивостей вермикомпосту як органічного добрива / А.І. Горова, Т.В. Скворцова, С.М. Лисицька, А.В. Павличенко // Гігієна населених місць. – 2013. – Вип. № 61. – С. 130–138.

Рецензенти – доктор сільськогосподарських наук, професор С.М. Крамарьов;
доктор технічних наук, професор О.Ю. Светкіна