



Науковий вісник Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Scientific Messenger of Lviv National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies

ISSN 2519-268X print
ISSN 2518-1327 online

doi: 10.15421/nvlvet8528
<http://nvlvet.com.ua/>

UDC 502.34: 579.26

Investigation of the temperature regime impact on the course of composting processes of the solid municipal waste's organic component

O. Sagdeeva, G. Krusir, A. Tsykalo

Odessa National Academy of Food Technologies

Article info

Received 19.02.2018
Received in revised form
13.03.2018
Accepted 16.03.2018

Odessa National Academy of Food
Technologies, Kanatna Str., 112,
Odesa, 65039, Ukraine.
Tel. +38-067-173-11-96
E-mail: sagolanis@ukr.net

Sagdeeva, O., Krusir, G., & Tsykalo, A. (2018). Investigation of the temperature regime impact on the course of composting processes of the solid municipal waste's organic component. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. 20(85), 155–161. doi: 10.15421/nvlvet8528

The most environmentally appropriate solutions for management of municipal solid waste recycling are recognized as minimization and prevention of environmental pollution. The international recycling system is focused on minimizing waste by raw materials' sorting and recycling, the rest goes to recycling and composting, combustion and stockpiling. In Ukraine, the problem of waste management remains the most urgent in the field of ecological safety. In fact, hundreds thousands tons of municipal waste today are accumulated annually in landfills and dumps. Taking into account that up to 40% of the municipal solid waste relates to easily degradable organic wastes (food waste, market waste, urban greenhouses, municipal power supply, sewage systems, household waste), the removal of this part of waste from landfills through composting and the conversion of waste into secondary material resource will significantly reduce the environmental burden on actually deployed and potentially planned landfills. Aerobic composting is one of the best available technologies for an integrated waste management system by minimizing anthropogenic environmental impact, complying with the latest domestic and foreign developments, economic and practical acceptance of technology. The purpose of this work is to study the possibility of accelerating the process of composting the municipal solid waste's food component by using microbiological additives for introduction the process as a nature protection technology in landfills. The article presents the results of the study of the microbiological additive's influence on the process of composting the municipal solid waste's food component in order to accelerate it in the mesophilic and thermophilic temperature regimes with controlled parameters. In order to improve the efficiency of the composting process and to compare the processes' characteristics the soil was used as inoculum, and the soil extract was used as a microbiological additive. It was shown that the microbiological complex accelerates the composting process of the municipal solid waste's food component by 3.3 times for the thermophilic regime and by 2.1 times for the mesophilic conditions of composting process, which testifies to the efficiency of its use in the processes of municipal solid waste recycling in order to improve the general level of environmental safety.

Key words: food waste, municipal solid waste, composting, mesophilic and thermophilic regimes, microbiological additive, soil.

Дослідження впливу температурного режиму на перебіг процесів компостування органічного компоненту твердих муніципальних відходів

О.А. Сагдєєва, Г.В. Крусір, А.Л. Цикало

Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна

Найбільш екологічно доцільними рішеннями для управління переробкою твердих муніципальних відходів визнано мінімізацію та запобігання забрудненню довкілля. Міжнародна система переробки орієнтована на мінімізацію відходів за рахунок сортування та вторинного використання сировини, решта потрапляє на переробку й компостування, спалювання та складування залишків. В Україні проблема поводження з відходами залишається найактуальнішою у сфері екологічної безпеки. Фактично сотні тисяч тон муніципальних відходів сьогодні щорічно накопичуються звалищах та полігонах. Оскільки до 40% ТМВ відноситься до органічних відходів, що легко розкладаються (харчові відходи, відходи ринків, міських зелених господарств, муніципальної мережі харчування, каналізаційної системи, відходи домогосподарств), вилучення цієї частини відходів зі звалищ за рахунок компостування та перет-

ворення відходу на вторинний матеріальний ресурс суттєво зменшить екологічне навантаження на фактично розміщені та потенційно заплановані звалища. Аеробне компостування є однією з найкращих найбільш доступних технологій для інтегрованої системи управління відходами за рахунок мінімізації антропогенного впливу на довкілля, відповідності новітнім вітчизняним та зарубіжним розробкам, економічності та практичної прийнятності технології. Метою експериментального дослідження було вивчення можливості прискорення процесу компостування харчової складової твердих муніципальних відходів за рахунок внесення мікробіологічних добавок для впровадження в якості природоохоронної технології на звалищах. У статті представлено результати дослідження впливу мікробіологічної добавки на перебіг процесів компостування харчової складової твердих муніципальних відходів з метою його прискорення в мезофільному і термофільному температурних режимах з керованими параметрами. Для підвищення ефективності процесу компостування та порівняння особливостей перебігу процесів в якості інокуляту використовували ґрунт, в якості мікробіологічної добавки – екстракт з ґрунту. Показано, що мікробіологічний комплекс прискорює процес компостування харчової складової твердих побутових відходів в 3,3 рази за термофільного режиму і в 2,1 рази за мезофільних умов проведення процесу компостування, що свідчить про ефективність його використання в процесах переробки твердих муніципальних відходів з метою підвищення загального рівня екологічної безпеки.

Ключові слова: харчові відходи, тверді муніципальні відходи, компостування, мезофільний та термофільний режими, мікробіологічна добавка, ґрунт

Вступ

Дослідженням впливу звалищ та полігонів твердих муніципальних відходів на компоненти довкілля приділяється велика увага в більшості країн світу. Облаштовані без сучасних інженерно-екологічних вимог, звалища відходів є потужними джерелами забруднення атмосфери, гідросфери та ґрунтів (Dzjad and Svjetajeva, 2015; Worek et al., 2016). Деградація ґрунтового покриву відноситься до числа найбільш гострих проблем сучасного природокористування. З вичерпанням запасів гумусу та біофільних елементів в ґрунтах відбувається різке порушення органічного та мінерального харчування ґрунтової біоти, наростають умови оліготрофності, знижується загальна біологічна активність та родючість ґрунтів, знижується їх стійкість до ерозії, хімічного та бактеріального забруднення. Актуальність даної проблеми посилюється дефіцитом органічних добрив, без внесення яких неможливо розраховувати на відновлення ґрунтової родючості.

Харчові та рослинні відходи в складі твердих муніципальних відходів (до 40%) потребують розробки технологічних заходів щодо зменшення їх обсягів та переробки, як компонента відходів, яка характеризується найбільшим обсягом та здатністю до біохімічних реакцій (Shmarin et al., 2014). Найбільш екологічно доцільним методом переробки такого виду відходів є компостування, яке відноситься до біотехнологічних методів утилізації, базується на природних процесах і тому є безпечним для живих організмів та довкілля (Adani et al., 2004; Jouraiphy, 2005; Yong et al., 2009).

В країнах ЄС та у світі стрімко поширюється органічне виробництво як цілісна система раціонального природокористування, що стає основою застосування сучасних технологій компостування органічної сировини з отриманням якісного продукту переробки. Переробка твердих відходів в компост є сучасним досконалим методом їх знешкодження та подальшого використання. Основними перевагами застосування технологій компостування в обробці відходів є повернення наявних у відходах поживних речовин рослин в екосистеми, скорочення кількості відходів, одночасне корисне використання інших органічних відходів в компості (листя, трава, гній, очисний мул комунальних вод та ін.). Проте, загальна частка відходів, що переробляються компостуванням, залишається не-

ликою через довгий виробничий цикл процесу та, іноді, одержання продукту нестабільної якості. Через це багато досліджень в галузі переробки твердих муніципальних відходів присвячено способам прискорення процесу компостування. Це може бути досягнуто різними шляхами, такими як розробка високоефективних апаратів компостування та зміна біотичних (вермикомпостування, використання спеціалізованих культур та співтовариств мікроорганізмів) або абіотичних (температура, рН та ін.) параметрів перебігу процесу (Kulcu and Yaldiz, 2004; Gacenko, 2014; Shac'kyj and Povoloc'kyj, 2015).

Метою даного дослідження було вивчення можливості прискорення процесу компостування рослинних відходів за рахунок внесення мікробіологічних добавок. Передбачалося, що їх додавання до складу сировинного матеріалу приведе до активації мікробної активності на початкових стадіях процесу.

В ході даного дослідження необхідно було виконати наступні завдання:

- 1) дослідити вплив мікробіологічних добавок на процеси, що відбуваються при компостуванні органічних відходів у мезофільному та термофільному режимах;
- 2) дослідити умови перебігу процесів компостування за основними абіотичними і біотичними показниками – за зміною температури, рН середовища та чисельності мікроорганізмів в суміші, що компостується, витратою Карбону (емісією CO₂) із реактора;
- 3) визначити зрілість компосту за індексом пророщування і співвідношенням вмісту загального Карбону і Нітрогену в суміші, яка компостувалась.

Матеріал і методи досліджень

В якості сировини для компостування використовували суміш харчових (очистки картоплі, кабачків та моркви, листя капусти), сільськогосподарських (бур'ян) і садово-паркових (листяний опад) відходів у ваговому співвідношенні 1:1:1. Листяний опад використовували в якості наповнювача. Сировину подрібнювали до розмірів 10–15 мм, підсушували на повітрі протягом 2 годин і загрузили в реактор. Для підвищення ефективності процесу компостування та порівняння особливостей перебігу процесів використовували в якості мікробіологічної добавки екстракт з ґрунту. Варто зазначити, що за результатами досліджень (Fierer and Jackson, 2006) структура мікробних

комплексів є невід'ємною складовою детальної характеристики ґрунтів, тому доцільно використовувати його мікробні комплекси в якості мікробіологічної добавки для компостування в природних умовах.

Експеримент проводили в трьох стаціонарних реакторах об'ємом 3 дм³ з примусовою аерацією протягом 6 тижнів. Умови проведення експерименту наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Умови проведення експерименту

Номер реактора	Інокулят	Добавка	Температура навколишнього середовища, °С
1	ґрунт	–	18–20
2	ґрунт	мікробіологічна	18–20
3	ґрунт	мікробіологічна	55

В кожний реактор вносили суміш, яка компостується, в кількості 1,2 (2/3 об'єму реактора) з вологістю 72%, яка перемішувалась зі 100 г ґрунту (типовий для регіону чорнозем південний мало гумусний) в якості інокуляту. В реактор 1 (контроль) додавали 100 мл води дистильованої, а в реактори 2 і 3 додавали 100 мл мікробіологічної добавки, яка є водним екстрактом ґрунту, одержаного при інкубації ґрунту з водою за гідромодулем 10 протягом 20 хвилин при перемішуванні.

В якості мікробіологічної добавки для підвищення ефективності процесу компостування використовували екстракт з ґрунту (чорнозему південного), який містить целюлозолітичні мікроорганізми та бактеріальні колонії. До числа найбільш активних целюлозоруйнівних мікроорганізмів відносяться бактерії і мікроміцети, проте домінують роль в розкладанні целюлозомістких відходів при проведенні процесу компостування мають бактерії (Castaldi et al., 2005).

Реактори 1 і 2 були ізольовані від дії температури навколишнього середовища. Реактор 3 помістили в термостат зі встановленою температурою 55 °С з метою термофільного компостування. Компостування продовжувалось протягом 6 тижнів, при цьому суміш, яка компостувалась, кожного дня перемішували та зволожували для підтримання вологості на рівні біля 70–75%. Кожного тижня проводили відбір наважок масою біля 10 г для проведення досліджень.

Контроль параметрів процесу компостування здійснювали за зміною температури, рН та чисельності мікроорганізмів в суміші, що компостується, а також емісії CO₂ із реактора (Netrusov, 2005). Зрілість компосту, який отримували, визначали за індексом пророщування (Neelesh et al., 2011) і співвідношенням вмісту загального Карбону і Нітрогену в суміші, яка компостувалась (Samofalova, 2013).

Температуру всередині суміші, яка компостувалась, вимірювали з допомогою спиртового термометру, який закріплено в кришці реактора, нижній кінець якого знаходився в суміші, яка компостується.

Один раз на тиждень проводили відбір газової фракції із реакторів з допомогою одноразових пластикових шприців на 50 см³. Приєднували шприц до трубки для відводу газів із реактора, потім реактор

струшували для вилучення газів з об'єму суміші, яка компостується, і через 5 хв. відбирали пробу газової суміші в кількості 50 см³. Кількість вуглекислого газу в пробі визначали за допомогою газового хроматографа «Хроматек Кристалл 5000.2».

Наважки проб суміші, що компостується, біля 5 г поміщали в металічні бюкси та висушували до постійної маси для визначення вологості, загального Карбону та загального Нітрогену. Доведені до постійної маси проби подрібнювали в фарфоровій ступці. Просіювали через сито з розміром пор 0,25 мм і потім використовували для визначення загального органічного Карбону за Тюрнімом і загального Нітрогену за Кьельдалем (Samofalova, 2013). Наважки вологих проб масою 5 г поміщали в конічні колби на 250 см³, змішували з 50 см³ дистильованої води, струшували на качалці протягом 1 год, потім фільтрували через складчастий фільтр для визначення рН, чисельності мезофільних і термофільних мікроорганізмів і коефіцієнта всхожості.

рН водної витяжки визначали з допомогою лабораторного рН-метра Hanna 221X. Чисельність мікроорганізмів визначали з допомогою посіву на тверде поживне середовище в чашки Петрі за методом Коха.

Коефіцієнт всхожості визначали за кількістю насіння редису посівного, що проросло, із десяти і довжинами проростків в водних витяжках із компостів порівняно з контролем (дистильована вода).

Контроль якості готового продукту визначали за співвідношенням C/N та вмістом в сухій речовині загального Нітрогену.

Результати та їх обговорення

У літературі досить повно представлена інформація про біохімічні, мікробіологічні і інші аспекти процесу компостування органічних відходів, що утворюються в сільському і комунальному господарстві, харчовій промисловості та ін. Тому в подальшому необхідно було оцінити, чи впливає інокуляція компостних сумішей біологічними добавками на процес компостування ТПВ. В цілому, завершеність процесу компостування характеризується двома поняттями - «стабільність» і «зрілість» компосту, які, незважаючи на свої концептуальні відмінності, одночасно використовуються для визначення ступеню розкладання органічних речовин під час процесу компостування. Були обрані параметри, що дозволяють оцінити як інтенсивність розкладання органічних речовин (температура, вміст органічних речовин, розчинного органічного Карбону і амонійного Нітрогену), так і його стабільність (респіраторна активність і целюлозолітична активність, чисельність бактерій і мікроміцетів) і зрілість (рН, фітотоксичність).

Результати досліджень зміни рН суміші, яка компостується, представлено на рис. 1.

Початкове значення рН сировини було слабкокислим, близьким до нейтрального (6,3). Після початку компостування значення рН в мезофільному режимі в реакторі 2 до другого тижня знижувалося до 5,1, на п'ятому тижні піднімалося до 8,1, потім знижувалося до 7,6. Це можна пояснити утворенням органічних кислот в процесі ферментації, а потім їх нейтралізації

єю. За термофільних умов в реакторі 3 після першого тижня компостування рН середовища стало слабколужним (8,3), що можна пояснити виділенням четвертинних амонієвих основ та солей, а потім поступово знижувалося, стабілізувалося на значенні 7,1.

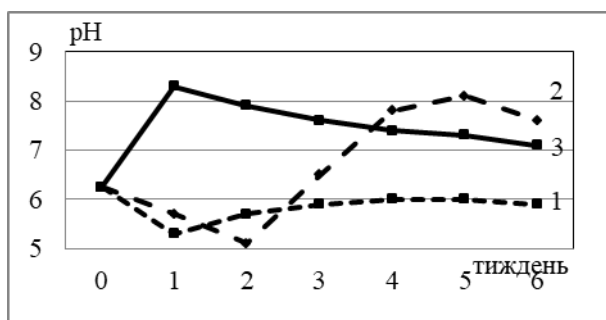


Рис. 1. Зміна рН суміші, яка компостується, в реакторі з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1)

Таким чином, в реакторах з мікробіологічною добавкою при мезофільному компостуванні на початковій стадії компостування рН відхилялося в бік слабкокислих, при термофільному – в бік слабколужних значень. Значення рН, які спостерігаються в реакторах 2 і 3 наприкінці процесу компостування, є оптимальними для вирощування рослин та відповідають вимогам, що висуваються до зрілого компосту. Стабілізація і навіть деяке зниження рівня рН, яке відмічено на останньому тижні, скоріше за все є результатом утворення гумусоподібних речовин, про що опосередковано свідчить стабілізація вмісту органічної речовини та розчинного органічного Карбону в цей період.

Результати контролю чисельності колоній мікроорганізмів цілком відповідають уявленням про криві зростання культури в періодичних умовах (рис. 2, 3).

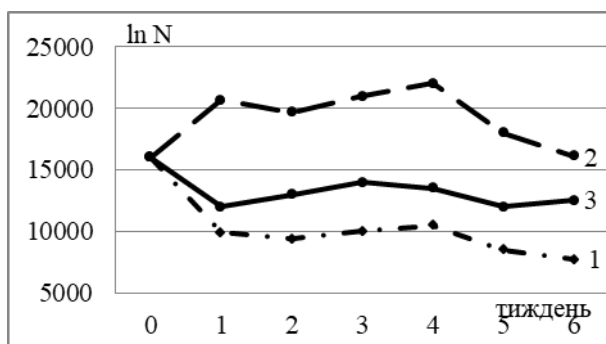


Рис. 2. Зміна чисельності колоній мезофільних мікроорганізмів в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), ln N

Швидкість деструкції органічної речовини безпосередньо залежить від чисельності мікроорганізмів та складу мікробних колоній суміші, що компостується. В реакторі 2 спостерігалось прискорене зростання мезофільної мікрофлори, тому що температура в них була на рівні 23–25 °С. В реакторі 3 термофіли дося-

гали значно більшої чисельності, тому що температурні умови були більш придатними для їх росту (55 °С).

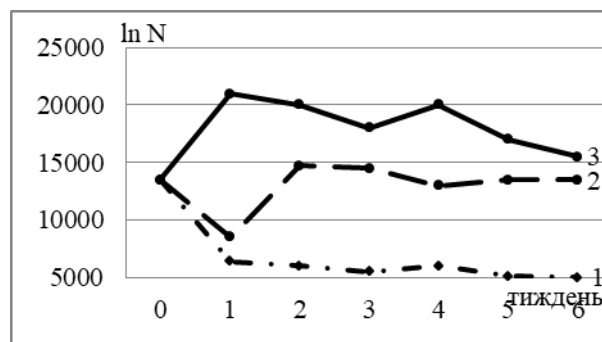


Рис. 3. Зміна чисельності колоній термофільних мікроорганізмів в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), ln N

Таким чином, додавання біодобавки на основі екстракту ґрунту підвищує чисельність мікрофлори в зразках компосту в 2–3 рази порівняно з контролем. Оскільки за деструкцію органічної частини суміші, що компостується, відповідають бактеріальні колонії, то їх збільшення в різних режимах компостування очікувано буде активувати утворення компосту.

Про активність мікроорганізмів можна судити за інтенсивністю їх дихання (споживання кисню або виділення вуглекислого газу). Представлені на рис. 4 залежності зміни концентрації CO₂ в просторі реактора від часу показово демонструють зміни активності співтовариства мікроорганізмів в процесі компостування.

Активність мікроорганізмів значно вище в реакторі, що знаходиться в термофільних умовах (реактор 3). В реакторах 2 і 3 пік активності припадає на період з другого по третій тижень. Піки респіраторної активності співпадають зі збільшенням швидкості деструкції органічної речовини.

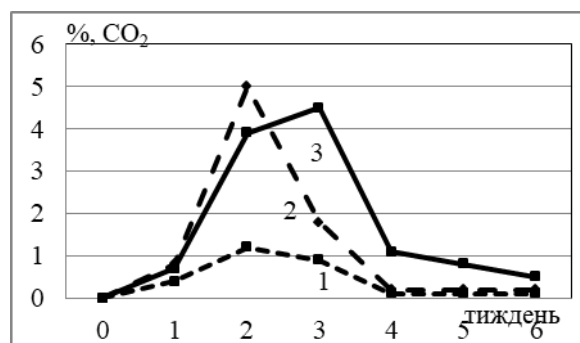


Рис. 4. Зміна емісії CO₂ із реакторів протягом процесу компостування суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), % CO₂

В перші тижні компостування мікроорганізми активно розкладають легкодоступні сполуки, що призводить до збільшення продукції CO₂. Саме в цей період спостерігається висока швидкість мінералізації

органічної речовини та максимальне зниження вмісту розчинного органічного Карбону (рис. 5).

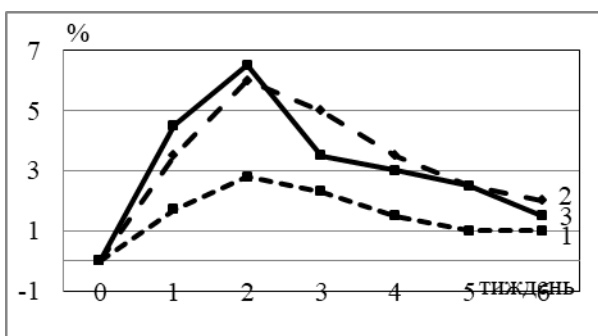


Рис. 5. Зміна швидкості втрат загального Карбону в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимі (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), %/тиждень

Оскільки піки активності в мезофільних та термофільних умовах не співпадають, можна припустити, що в термофільних умовах на третьому тижні бактеріальні колонії починають більш активно розкладати складні органічні сполуки. На завершальному етапі зниження та стабілізація рівня активності свідчить про те, що всі доступні речовини в суміші, що компостується, мінералізовані мікроорганізмами. Таким чином, введення мікробіологічної добавки стимулює підвищення активності співтовариства мікроорганізмів на початкових стадіях компостування – на протязі трьох тижнів, що свідчить про те, що саме в ці терміни активно відбувається деструкція органічної частини суміші, що компостується.

Характер залежності зміни кількості загального Карбону від часу компостування, представлений на рис. 5, приблизно однаковий для всіх трьох реакторів: в перші 4 тижні мінералізується більша кількість органічної речовини (близько 7%), потім Карбон споживається незначно (3–4%). Максимальні швидкості споживання органічних речовин у всіх реакторах спостерігалися після другого тижня, причому внесення мікробіологічної добавки збільшує швидкість розкладання Карбону вдвічі, що підтверджує роль ґрунтової мікрофлори в деструкції органічної частини суміші, що компостується, в обох температурних режимах.

Сумарні втрати загального Карбону (рис. 6) були дещо значніші в реакторах 2 та 3 (21–22%), ніж в реакторі 1 (близько 12%). Таким чином, загальні втрати і швидкість втрат загального Карбону більш виражені при використанні мікробіологічної добавки як в термофільному, так і в мезофільному режимах, що свідчить про більшу ефективність процесу компостування, на яку, очевидно, впливають бактеріальні колонії біодобавки – відповідно термофільні та мезофільні.

Зміна вмісту загального Нітрогену характеризує динаміку мінералізації Нітрогенвмістних речовин. Як видно з рис. 7, початковий вміст Нітрогену в реакторах різний: найбільша його кількість спостерігається в реакторах 3 і 2 (2 та 1,5 г/кг), що можна пояснити присутністю бактеріальних колоній (можливо, буль-

бочкових бактерій), проти 0,5 г/кг Нітрогену в контрольному реакторі без додавання мікробіологічної добавки. Характер зміни вмісту загального Нітрогену в суміші, що компостується, практично ідентичний для всіх реакторів (рис. 7).

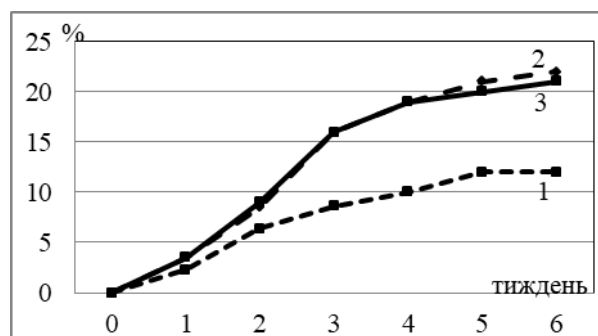


Рис. 6. Зміна швидкості втрат загального Карбону в суміші, яка компостується, в реакторах з мінеральною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимі (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), %/тиждень

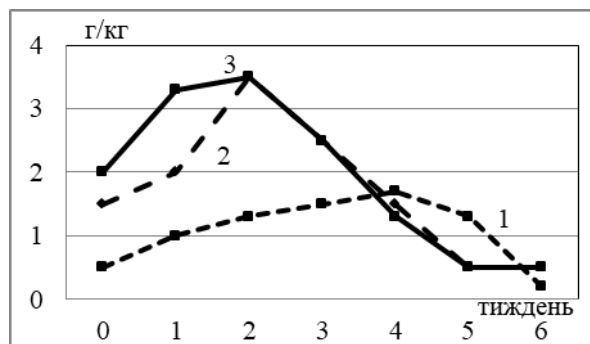


Рис. 7. Зміна швидкості втрат загального Нітрогену в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимі (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), г/кг в тиждень

Максимальні швидкості втрати Нітрогену у всіх реакторах спостерігалися після другого тижня, причому в реакторах 2 і 3 вони були більше (3,5 г/кг в тиждень), ніж в реакторі 1. Подібні зміни вмісту загального Нітрогену на початку компостування пов'язані з активним розкладанням Нітрогенвмістних сполук та свідчать про присутність нестабільних речовин. В подальшому в усіх варіантах дослідження спостерігалось зниження рівня загального Нітрогену, яке до кінця шостого тижня склало 0,2–0,5 г/кг. В цілому, наприкінці компостування всі досліджувані зразки продемонстрували вміст загального Нітрогену нижче рівня, який висувається до зрілих (Tognetti et al., 2007). Проте необхідно зазначити, що рівень Нітрогену в зрілих компостах змінюється в достатньо широкому діапазоні та залежить від часу компостування та складу вихідних компонентів. В нашому варіанті суміш, що компостується, не містила речовин, які характеризуються високим вмістом Нітрогену (гній, осади стічних вод, бобові культури рослин та ін.), що пояснює знижену кількість Нітрогену в готових компостах.

Сумарні втрати Нітрогену (рис. 8) в реакторах 2 та 3 виявилися найбільшими (близько 13 г/кг сухої маси,

яка компостується). В контрольному реакторі втрати Нітрогену були меншими (8 г/кг сухої маси, яка компостується). Таким чином, втрати Нітрогену дещо збільшуються при термофільному компостуванні, проте і в термофільному, і в мезофільному режимах в разі внесення мікробіологічної добавки деструкція органічної речовини майже в 2 рази більша, ніж в контрольному зразку.

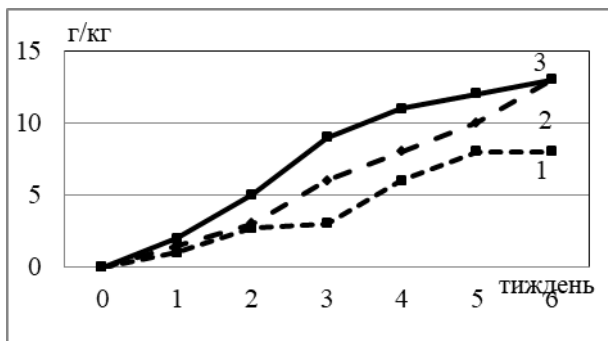


Рис. 8. Зміна швидкості інтегральних втрат загального Нітрогену в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), г/кг в тиждень

Зрілість компосту оцінюється за масовим співвідношенням в ньому загального Карбону і загального Нітрогену (C/N). Згідно з міжнародними стандартами якісний компост повинен мати C/N нижче 25. На рис. 9 наведено залежність зміни C/N від тривалості компостування. Відношення C/N досягає мінімальних величин після другого тижня компостування і далі істотно не змінюється. Кінцеве співвідношення C/N у всіх одержаних компостах менше, ніж 25, що свідчить про скорочення дозрівання компосту при внесенні мікробіологічної добавки приблизно вдвічі, враховуючи швидкість його зміни.

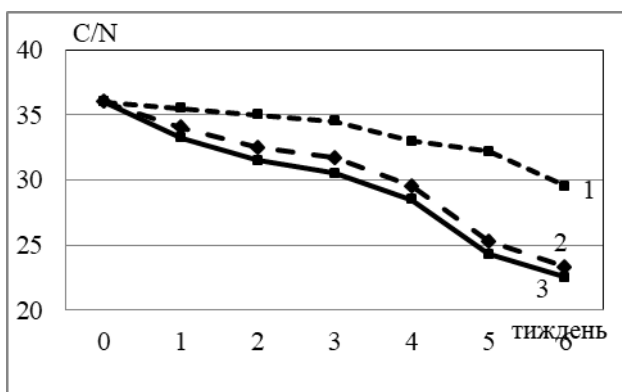


Рис. 9. Зміни відношення загального Карбону до загального Нітрогену в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком, г/кг в тиждень

Аналіз експериментального дослідження свідчить про те, що інтенсивність деструкції органічної частини суміші побутових відходів, що компостується, залежить від бактеріальних колоній, одержаних з екстракту ґрунту, та збільшується вдвічі як в мезофільних, так і в термофільних умовах. Активність термофільних мікроорганізмів дещо вища, проте, враховуючі енергетичні витрати на підігрівання суміші, що компостується, можна рекомендувати компостування в мезофільному режимі з додаванням біодобавки як ресурсозберігаючий засіб компостування органічних відходів.

Результати дослідження свідчать про те, що індекс пророщування насіння редису поступово знижується зі збільшенням тривалості компостування (рис. 10). Компост з індексом пророщування менше, ніж 80% вважається фітотоксичним, більше, ніж 80% – зрілим. Після 6 тижнів компостування компости в реакторах 2 і 3 характеризуються індексом пророщування більше, ніж 100%, що свідчить про те, що компости не тільки вільні від фітотоксинів, але і мають стимулюючу дію на пророщування.

Експериментальні дані дослідження дозволяють зробити висновок, що дозрівання компосту в термофільних умовах завершується швидше, ніж в мезофільних, а тривалість дозрівання компосту при внесенні мікробіологічної добавки прискорюється в 3,3 рази за термофільних умов та в 2,1 рази – за мезофільних.

Експериментальні дані дослідження дозволяють зробити висновок, що дозрівання компосту в термофільних умовах завершується швидше, ніж в мезофільних, а тривалість дозрівання компосту при внесенні мікробіологічної добавки прискорюється в 3,3 рази за термофільних умов та в 2,1 рази – за мезофільних.

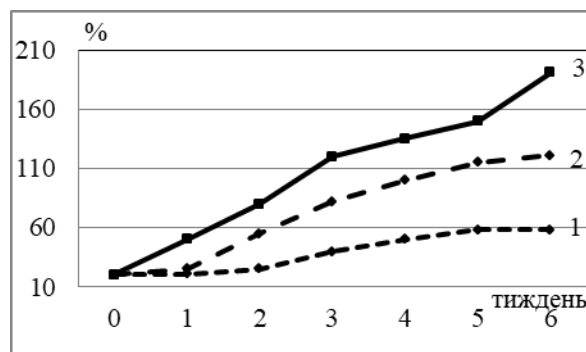


Рис. 10. Зміни індексу пророщування в процесі компостування в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), %

Таким чином, температурний режим впливає на зрілість компосту на стадії пророщування та оцінки фітотоксичності компосту, проте не на інтенсивність деструкції органічної речовини, оскільки в мезофільному режимі руйнуючу роль бере на себе мезофільна мікрофлора приблизно в однаковому ступені як в термофільному – термофільна мікрофлора.

Висновки

Таким чином, результати проведених досліджень дозволяють зробити висновок про доцільність компостування рослинних відходів з мікробіологічною добавкою як у випадку термофільного, так і у випадку мезофільного компостування. Період дозрівання компосту при використанні мікробіологічної добавки становить 6 тижнів. Показано, що бактеріальний комплекс прискорює процес компостування органічної складової твердих побутових відходів в 3,3 рази за термофільного режиму та в 2,1 рази за мезофільних умов проведення процесу компостування, що свідчить

про ефективність його використання в процесах переробки твердих побутових відходів з метою підвищення загального рівня екологічної безпеки.

Перспективою подальших досліджень є визначення еколого-економічної доцільності впровадження системи компостування органічної частини твердих муніципальних відходів з додаванням мікробіологічних добавок на типовому для України звалищі твердих муніципальних відходів в м. Одеса.

References

- Gworek, B., Dmuchowski, W., Koda, E., Marecka, M., Baczewska, A., Brągoszewska, P., Siczka, A., & Osiński, P. (2016). Impact of the Municipal Solid Waste Łubna Landfill on Environmental Pollution by Heavy Metals. *Water*, 8 (10), 470. doi: 10.3390/w8100470.
- Dzjad, O.V., & Cvjetajeva, K.V. (2015). Resajkling municypal'nyh vidhodiv u promyslovo rozvynenyh kraj'nah svitu: porivnjal'nyj aspekt, *Visnyk Dnipropetrovs'kogo universytetu*. 7, 3–12. doi: 10.15421/181501 (in Ukrainian).
- Shmarin, S.L., Alekseevec, I.L., Filozof, R.S., Remez, N.S., & Denafas, G. (2014) Soderzhanie biorazlagamyh komponentov v sostave tverdyh bytovykh othodov v Ukraine, *Ekologija i promyshlennost'*, 1, 79–83 (in Russian).
- Adani, F., Tambone, F., & Gotti, A. (2004). Biostabilization of municipal solid waste. *Waste Management*. 24(8), 775–783. doi: 10.1016/j.wasman.2004.03.007.
- Jouraihy, A. (2005). Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation composting of sewage sludge and green plant waste. *International biodegradation and biodegradation*. 56, 101–108. doi: 10.1016/j.ibiod.2005.06.002.
- Yong, X., Guang-Ming, Z., & Zhao-Hui, Y. (2009). Continuous thermophilic composting (CTC) for rapid biodegradation and maturation of organic municipal solid waste. *Bioresource Technology*. 100(20), 4807–4813. doi: 10.1016/j.biortech.2009.05.013.
- Kulcu, R., & Yaldiz, O. (2004). Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. *Bioresource Technology*. 93, 49–57. doi: 10.1016/j.biortech.2003.10.007.
- Gacenko, M.V. (2014). Kompostuvannja organichnoi' rechovyny. *Mikrobiologichni aspekty. Sil's'kogospodars'ka mikrobiologija*. 19(1), 11–20. http://nbuv.gov.ua/UJRN/smik_2014_19_3 (in Ukrainian).
- Shac'kyj, V.V., & Povoloc'kyj, A.A. (2015). Osnovni vymogy do procesu ta biotekhnichnoi' systemy kompostuvannja organichnoi' syrovyny. *Visnyk Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka*. 157, 140–146. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtsug_2015_157_26 (in Ukrainian).
- Fierer, N., & Jackson, R.B. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *PNAS*. 103(3), 626–631. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16407148>.
- Castaldi, P., Alberti, G., Merella, R., & Melis, P. (2005). Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Management*. 25(2), 209–213. doi: 10.1016/j.wasman.2004.12.011.
- Netrusov, A.I. (2005). *Praktikum po mikrobiologii: uchebnoe posobie dlja studentov vysshih uchebnykh zavedenij*. Akademija, Moscow, Russia (in Russian).
- Neelesh, K., Arvind Arya, M., Asif, S., Hirdesh, K., & Asad A. (2011). Physiological and Biochemical Changes During Seed Deterioration in Aged Seeds of Rice (*Oryza sativa* L.). *American Journal of Plant Physiology*. 6(1), 28–35. doi: 10.3923/ajpp.2011.28.35.
- Samofalova, I.A. (2013). *Laboratorno-prakticheskie zanjatija po himicheskomu analizu pochv: uchebnoe posobie*. FGBOU VPO, Perm', Russia (in Russian).
- Tognetti, C., Mazzarino, M., & Laos, F. (2007). Improving the quality of municipal organic waste compost. *Bioresource Technology*. 98, 1067–1076. doi: 10.1016/j.biortech.2006.04.025.