

УДК 631.879.42:544.02

ТРАНСФОРМАЦІЯ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ КОМПОСТІВ У ПРОЦЕСІ БІОКОНВЕРСІЇ ЗА ДАНИМИ ІЧ-СПЕКТРОСКОПІЇ¹

В.А. Гетманенко, М.А. Папірний

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»
(*vg.issar@gmail.com*)

Наведено та детально проаналізовано інфрачервоні спектри компостів, вироблених на основі осадів стічних вод з різними наповнювачами (солома, листя, тирса) за аеробних та анаеробних умов. З аналізу параметрів спектрів виявлено структурні особливості гумусоподібних речовин компостованих матеріалів порівняно з непереробленими. Досліджено особливості трансформації органічної речовини осадів стічних вод у процесі біоконверсії залежно від наповнювача та умов аерації. Так, виявлено, що органічна речовина компостів з листям має більш розвинену ароматичну частину порівняно з варіантами з соломою і тирсою. Встановлено, що переробка в умовах дефіциту кисню сприяє утворенню більш структурно збалансованих гумусоподібних речовин у компостах порівняно з аеробною технологією.

Ключові слова: інфрачервона спектроскопія; органічні речовини; компости.

Вступ. Трансформація органічних сполук у процесі біоконверсії являє собою складний процес, за якого одночасно відбувається мінералізація, з утворенням простих хімічних сполук, та гуміфікація. Вироблення високоякісного органічного добрива потребує впровадження таких технологічних операцій, що забезпечать дотримання оптимального співвідношення між цими процесами. Більшість дослідників в основу комплексного меліоративного впливу органічних добрив на ґрунт покладає наявність у їх складі гумусоподібних речовин високої реакційної здатності та стійкості до розкладання [1]. Збалансованість властивостей гумусових сполук залежить від їх структурної організації. Використання інфрачервоної (ІЧ) спектроскопії дозволяє отримати інформацію щодо структурного складу органічних сполук (ароматичних та аліфатичних компонентів, функціональних груп) та відобразити особливості їх біохімічних перетворень. Величезна перевага методу полягає також у можливості дослідження як власне гумусових речовин, так і нативних матеріалів, у тому числі, компостів [2].

Мета роботи: дослідити особливості трансформації органічної речовини осадів стічних вод після біоконверсії залежно від наповнювача та умов аерації за даними ІЧ-спектроскопії.

Об'єкти і методи досліджень. Для оцінки глибини біохімічних перетворень органічної речовини у процесі біоконверсії було проаналізовано ІЧ-спектри компостів на основі осадів стічних вод (ОСВ), вироблених з різними наповнювачами (солома, листя, тирса) за аеробних та анаеробних умов. Готували компости в модельних умовах, за вихідного відношення вуглецю до азоту 25 та вологості 65 %. Зрілість компостів оцінювали візуально та контролем токсичності за методом біотестування на насінні крес-салату (*Lepidium sativum* L.).

Інструментальні дослідження виконували на спектрометрі: Agilent Technologies Cary 630 з Фурь'є перетворенням за допомогою приставки Diffuse Reflectance (спектри дифузного відбиття). Для інтерпретації даних спектрів використовували показник характеристичних мінімумів (максимуми поглинання за певної довжини хвилі). Інтенсивність поглинання характеристичних спектрів визначали за коефіцієнтом поглинання К:

¹ Науковий керівник роботи – доктор с.-г. наук Є.В. Скрильник

$$K = (A / R) * B,$$

де А – інтенсивність поглинання визначеної довжини хвилі (см^{-1});

R – роздільна здатність за довжини хвилі 4 см^{-1} ;

B – масштаб фонового сканування ($B = 50$).

Результати та їх обговорення. У всіх досліджуваних ІЧ-спектрах спостерігаються характерні для гумусових речовин смуги поглинання (рис. 1-3). Так, виявлено присутність карбоксильних і карбонільних груп ($1720\text{-}1700 \text{ см}^{-1}$), ефірного кисню (1650 см^{-1}), CH-CH_2 -груп (2930 см^{-1} , 2860 см^{-1}), ненасичених та ароматичних C=C зв'язків (1600 см^{-1}). В області $3500\text{-}3300 \text{ см}^{-1}$ проявляються валентні коливання гідроксильних груп.

Виявлено, що у процесі біоконверсії гумусоподібні речовини осадів стічних вод зазнають трансформації: зменшується інтенсивність поглинання частини аліфатичних структур і зростає інтенсивність смуг поглинання, що характеризують основні структурні компоненти ГК – ароматичне ядро (1625 см^{-1}) і карбоксильні групи ($1730\text{-}1240 \text{ см}^{-1}$).

Для всіх спектрів характерно інтенсивне поглинання в області 3400 см^{-1} і 3200 см^{-1} , що, на думку дослідників [2], обумовлено присутністю $-\text{OH}$ і $-\text{C=NH}$ груп і міжмолекулярними водневими зв'язками. Поглинання в області $2920\text{-}2370 \text{ см}^{-1}$ вказує на участь аліфатичних $-\text{CH}$ угруповань.

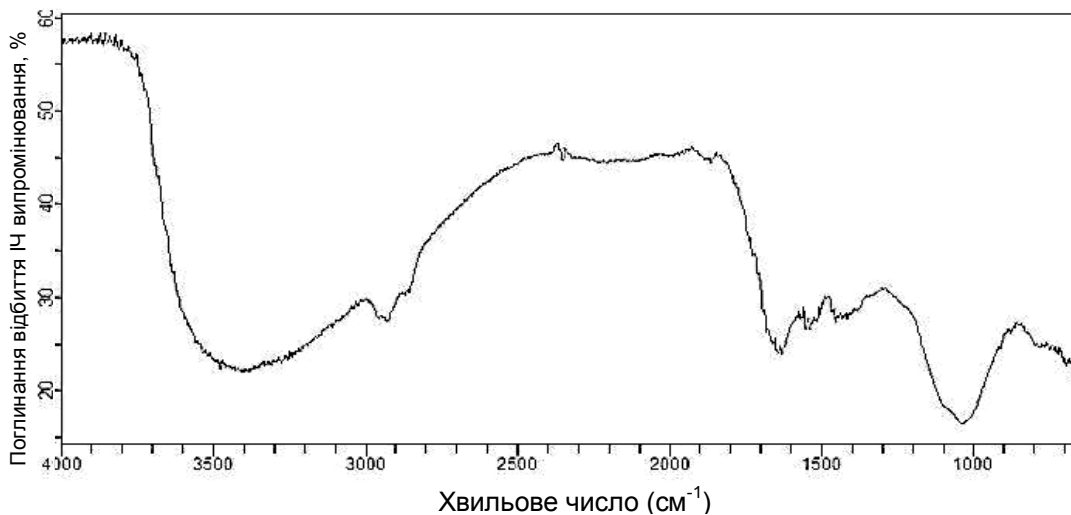


Рис. 1. ІЧ-спектр неперероблених ОСВ

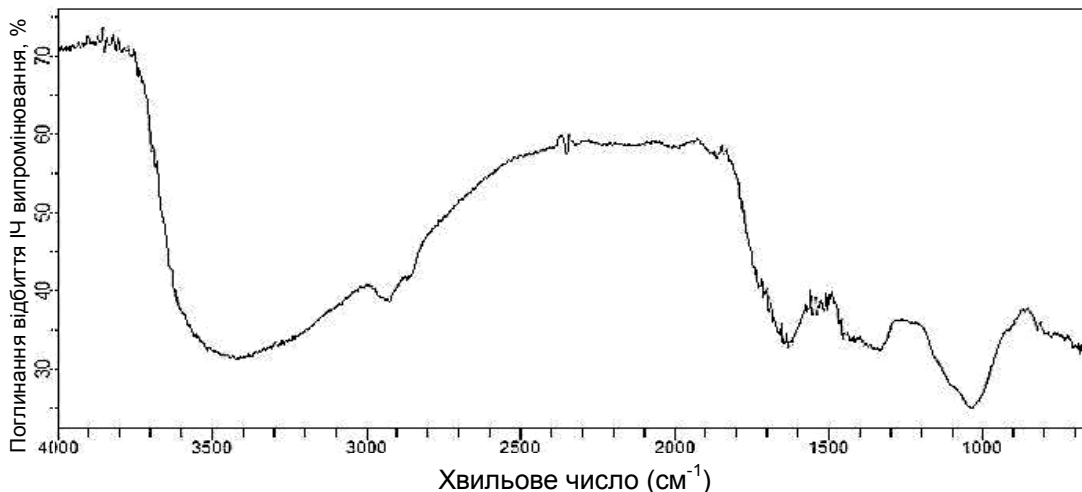


Рис. 2. ІЧ-спектр аеробно-переробленого компосту з листям

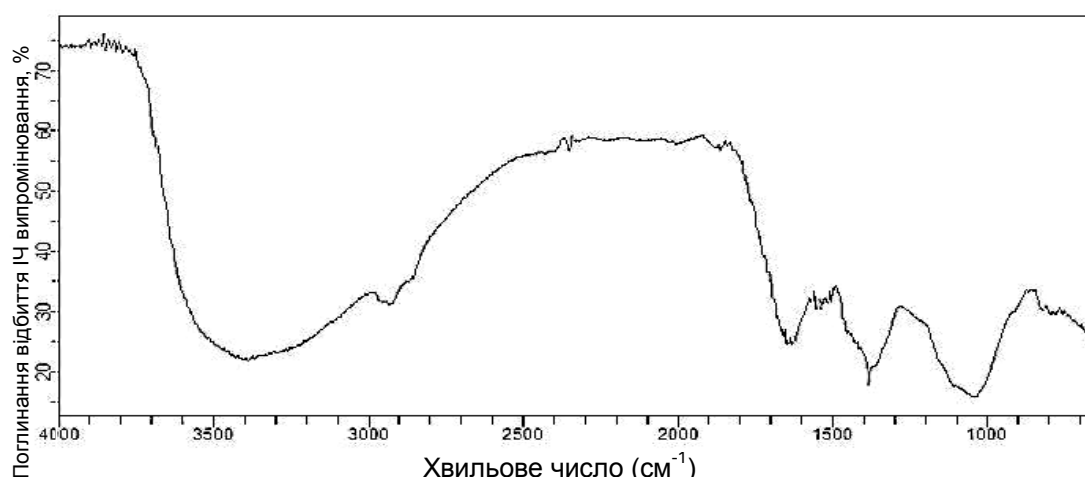


Рис. 3. ІЧ-спектр анаеробно-переробленого компосту з листям

Ароматична природа гумусоподібних речовин виявляється за максимумом поглинання за довжини хвилі 1600 см^{-1} , що викликано валентними коливаннями сполучених вуглецевих зв'язків. Карбоксильні функціональні групи в полісахаридних компонентах визначаються хвильовими числами 1030 см^{-1} . В цілому, гумусоподібні речовини компостів є більш зрілими сполуками, з більш різноманітною азотистою частиною, порівняно з непереробленими ОСВ.

Судячи з інтенсивності смуг поглинання домінують ароматичні структури, але при цьому помітну роль відіграють і різні аліфатичні компоненти, що містять кисень- і азотугруповання.

Участь структурних елементів у будові макромолекули гумінової кислоти визначається за показниками відношення коефіцієнтів поглинання характеристичних спектрів [3]. Величини коефіцієнтів поглинання та їх співвідношення свідчать про менш досконалу структуру гумусоподібних речовин аеробно-перероблених компостів (табл. 1).

1. Характеристика ІЧ-спектрів компостів на основі ОСВ

Зразок	K_{2950}^1	K_{1710}^2	K_{1620}^3	K_{2950}/K_{1710}	K_{2950}/K_{1620}	K_{1710}/K_{1620}
Контроль (ОСВ)	0,140	0,195	0,125	0,718	1,120	1,560
Аеробно-перероблені компости						
ОСВ + солома	0,195	0,205	0,170	1,147	0,950	1,205
ОСВ + листя	0,215	0,225	0,200	0,956	1,075	1,125
ОСВ + тирса	0,196	0,200	0,170	0,980	1,153	1,176
Анаеробно-перероблені компости						
ОСВ + солома	0,155	0,145	0,110	1,060	1,409	1,310
ОСВ + листя	0,210	0,225	0,205	0,933	1,024	1,090
ОСВ + тирса	0,200	0,215	0,195	0,930	1,020	1,103

Примітки. ¹ – К за довжиною хвилі 2950 см^{-1} свідчить про ступінь аліфатичності;

² – К за довжиною хвилі 1710 см^{-1} свідчить про ступінь карбоксильності;

³ – К за довжиною хвилі 1620 см^{-1} свідчить про ступінь ароматичності

Компости з соломою і тирсою характеризуються подібними значеннями коефіцієнтів поглинання структурних компонентів, особливо аліфатичних структур і кислотних функціональних груп (COOH-групи). Своєю чергою, гумусоподібні речовини компостів з листям мають більш розвинену ароматичну частину, порівняно з варіантами біоконверсії ОСВ разом з соломою і тирсою, про що свідчить підвищення коефіцієнтів поглинання за довжини хвилі 1620 см^{-1} . Цікава особливість спостерігається у характеристичних спектрах поглинання анаеробно-перероблених компостів з соломою та тирсою. Так, отримані дані свідчать про більш високу ароматичність гумусоподібних речовин компостів, вироблених в умовах дефіциту кисню.

Висновки. Органічна речовина компостів є гетерогенною полідисперсною системою; вона містить стабільні гумусоподібні речовини, що обумовлює їх цінність для потенційного гумусонакопичення у ґрунтах. Встановлено, що у процесі біоконверсії утворилися більш структурно збалансовані, у хімічному розумінні, гумусоподібні речовини. Найкращі характеристики таких речовин спостерігали за компостування ОСВ разом з листям. Виявлено, що компостування в аеробних умовах сприяє накопиченню сполук аліфатичної природи у готовому продукті. Найбільш досконала структура гумусоподібних речовин характерна для анаеробно-перероблених компостів.

Подяка. Висловлюємо щиру вдячність співробітнику факультету органічної хімії ХНУ ім. В.Н. Каразіна Наталії Чечиній за проведення зйомки ІЧ-спектрів.

Список використаної літератури

1. Скрильник Є.В. Удосконалення методів екстрагування гумусових речовин з органічних добрив / Є.В. Скрильник О.О. Бацула, К.С. Карпач // Вісник ХДАУ. – Серія „Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство”. – 2000. – № 1. – С. 48–53.
2. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.
3. *Comparative study on humic substances isolated in thermal groundwaters from deep aquifers below 700 m* / A. Kovács, Cs. Gáspár, P. Sajgó [and other] // *Geochemical journal*. – 2012. – №1. – P. 211-225
4. Hsu J.H. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of pig manure / J.H. Hsu, S.-L. Lo // *Environmental Pollution*. – 1999. – № 104. – P. 189-196.
5. Никовская Г.Н. Биотехнология утилизации осадков муниципальных сточных вод / Г.Н. Никовская, К.В. Калиниченко // *Biotechnologia Acta*. – 2014. – № 3. – С. 21-32.
6. Chen Y. Formation and properties of humic substance originating from composts / Y. Chen, B. Chefetz, Y. Nadar // *The Science of Composting*. – Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1996. – P. 382-393.
7. *Organic matter transformation during composting of municipal solid waste* / Y. Chen, B. Chefetz, F. Adani [and other] // *The Role of Humic Substances in The Environmental Protection.*, Wrocław : PTSH, 1998. – P. 795-804.
8. Белл Р. Дж. Введение в Фурье – спектроскопию / Р. Дж. Белл. – М.: Мир, 1975. – 382 с.
9. Орлов Д.С. Инфракрасные спектры поглощения гуминовых кислот / Д.С. Орлов, Щ.Н. Розанова, С.Г. Матюхина // *Почвоведение*. – 1962. – №1. – С. 17-21.
10. Степанов И.С. О расшифровке инфракрасных спектров почв / И.С. Степанов // *Почвоведение*. – 1974. – № 6. – С. 76-88.
11. Stevenson F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions / F.J. Stevenson. – New York: Wiley, 1994. – 512 p.
12. Нестерова О.В. Характеристика гуминовых кислот буроземов юга Сихотэ-Алиня по данным элементного анализа и ИК-спектрометрии (на примере Уссурийского заповедника) / О.В. Нестерова, В.А. Семаль // *Вестник КрасГАУ*. – 2009. – № 10. – С. 29-35

Стаття надійшла до редколегії 18.05.2015

ORGANIC MATTER TRANSFORMATION OF COMPOSTS DURING BIOCONVERSION ACCORDING TO IR-SPECTROSCOPY

Viktoriia Hetmanenko, Maksim Papirny

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky»
(vg.issar@gmail.com)

The purpose of our research was to investigate features of organic matter transformation of compost during aerobic and anaerobic bioconversion according to IR-spectroscopy. IR-spectra of products of compliant bioconversion of sewage sludge (SS) with various materials (straw, leaves, sawdust) were analyzed. Instrumental research was conducted by spectrometer Agilent Technologies Cary 630 with Diffuse Reflectance adaptor. IR spectra of composts are characterized by typical for humic substances absorption spectra. According to absorption spectra intensity aromatic structures are prevail in compost organic matter, but various aliphatic components have significant part. During bioconversion more structurally balanced humus compounds were formed. Best properties were observed for compliant bioconversion of SS with leaves. Aerobic composting conduce accumulation of aliphatic compounds in composts. The most perfect structure of humic substances was observed in anaerobic-processed composts.

Key words: *infrared spectroscopy; humic substances; compost.*