

БІОКОНВЕРСІЯ ТВЕРДИХ ТА РІДКИХ АГРОВІДХОДІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ БІОДОБРІВ

Скляр Р.В., кандидат технічних наук

Скляр О.Г., кандидат технічних наук

Болтянський Б.В., кандидат технічних наук

Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

Сучасне сільське господарство генерує значні обсяги органічних відходів, серед яких домінують твердий гній, напіврідкі гнойові стоки, залишки рослинництва, птишиний послід та стічні води агропромислових підприємств. Неефективне поводження з такими відходами призводить до деградації ґрунтів, забруднення водойм та атмосферних викидів парникових газів - насамперед метану і оксидів азоту. Біоконверсія відходів є перспективним напрямом, але оптимальні технологічні схеми, ефективність мікробіологічних процесів, стабільність добрив та їх вплив на ґрунти потребують комплексного наукового аналізу [1, 2].

Біоконверсія передбачає використання мікроорганізмів для трансформації органічних речовин у стабільні, біологічно активні продукти, які можуть застосовуватися як високоефективні добрива. Найпоширенішими технологіями є компостування, анаеробне зброджування, вермікультура та біохімічні процеси ферментації субстратів [2]. Кожна з цих технологій має свої переваги, особливості та сфери застосування, що дозволяє обирати оптимальний метод залежно від типу відходів, їхньої структури та кінцевого призначення добрива.

Компостування є одним із найдавніших методів переробки органічних відходів, який базується на аеробній діяльності мікроорганізмів. У процесі компостування відбувається підвищення температури до 55–70 °С, що забезпечує знезараження патогенів, насіння бур'янів та стабілізацію органічної маси [2]. Компости, отримані зі змішаних агровідходів, характеризуються високим вмістом гумінових і фульвокислот, що позитивно впливає на структуру ґрунту та його водоутримувальну здатність. Однак тривалість процесу - від кількох тижнів до кількох місяців - і залежність ефективності від достатньої аерації можуть обмежувати застосування методу у великих господарствах.

Анаеробне зброджування є більш технологічно досконалим процесом, який дозволяє одночасно отримувати біогаз та рідку/тверду фракцію добрив. Під час ферментації органічна маса трансформується у стабільні мінералізовані сполуки, що легко засвоюються рослинами [3]. Дигестат - продукт анаеробного зброджування - є цінним добривом, яке містить амонійний азот, калій, фосфор і мікроелементи в доступній формі. У порівнянні з сирим гноєм, дигестат має нижчий вміст патогенів, зменшену фітотоксичність та значно менший запах. Додатковою перевагою є можливість подальшої концентрації поживних речовин через сепарацію та сушіння.

Вермікомпостування базується на діяльності дощових черв'яків, які перетравлюють органічні залишки, формуючи гранульований продукт високої біологічної активності. Вермікомпост поліпшує агрегатну структуру ґрунтів, стимулює розвиток кореневої системи та забезпечує тривале вивільнення поживних речовин [4]. Завдяки високому вмісту ферментів, фітогормонів і корисної мікробіоти вермікомпост відносять до біологічних добрив преміум-класу, хоча його виробництво потребує більш делікатного контролю температури та вологості.

Біоконверсія рідких агровідходів - зокрема гнойових стоків та пташиних відходів - включає їх стабілізацію під дією мікробних консорціумів, що знижують вміст аміаку, сірководню та органічних кислот. Сучасні технології біоремедіації дозволяють створювати рідкі біодобрива на основі ферментованих субстратів, збагачені корисними бактеріями, амінокислотами та біологічно активними речовинами. Такі добрива широко застосовуються у системах крапельного зрошення та листового живлення.

Комплексні технологічні лінії, що поєднують кілька видів біоконверсії - наприклад, анаеробне зброджування, сепарацію та компостування твердих залишків - дозволяють максимально ефективно переробляти всі види агровідходів у високоефективні добрива [4]. Такі системи мінімізують викиди парникових газів, знижують екологічне навантаження та підвищують економічну ефективність аграрного виробництва.

Різні методи біоконверсії - компостування, анаеробне зброджування, вермікультура та мікробна ферментація - відрізняються механізмом мікробіологічних процесів, енергетичними потребами, вимогами до сировини й якістю отриманих продуктів (табл.). Аналіз показує, що ефективність кожної технології значною мірою залежить від структури агровідходів, їх вологості, вмісту органічної речовини, співвідношення вуглецю до азоту (C:N), а також від рухливості й доступності поживних елементів для мікробних консорціумів.

Таблиця.

Аналіз основних технологій біоконверсії агровідходів

Показник / Технологія	Компостування	Анаеробне зброджування	Вермікомпостування	Мікробна ферментація
Тип процесу	Аеробний	Анаеробний	Аеробно-аноксичний	Аеробно-факультативний
Тривалість циклу	30–120 днів	20–40 днів	40–90 днів	1–7 днів
Основний продукт	Компост	Дигестат + біогаз	Вермікомпост	Рідкі біодобрива
Збереження азоту	Низьке (20–40%)	Високе (<10%)	Середнє (15–25%)	Дуже високе (<5%)
Якість добрива	Гумусне, довготривалої дії	Найвища біодоступність NPK	Преміальний гумус	Біостимулятор

Показник / Технологія	Компостування	Анаеробне зброджування	Вермікомпостування	Мікробна ферментація
Переваги	-низькі інвестиційні та експлуатаційні витрати; -можливість переробки різнорідних відходів; -формування гумусових речовин і покращення структури ґрунту	-подвійний продукт: біодобриво + біогаз; -високе збереження азоту у формі NH_4^+ ; -високий ступінь знезараження патогенів	-отримання добрива преміум-класу з високою біологічною активністю; -поліпшення мікрофлори та структури ґрунту; -майже повна відсутність запахів	-дуже швидке отримання продукту (1–7 днів); -ефективне використання рідких агровідходів; -формування біологічно активних добрив і стимуляторів
Недоліки	-тривалий цикл; -значні втрати азоту через амоніфікацію; -залежність від умов аерації та вологості	-високі капітальні витрати на ферментери та інфраструктуру; -потреба у точному контролі технологічних параметрів; -можливість інгібування при невдалому субстратному складі	-технологія чутлива до температури та вологості; -непридатність до переробки свіжого або токсичного матеріалу; -низький рівень масштабованості	-низький вміст макроелементів порівняно з дигестатом; -необхідність контролю чистоти процесу; -короткий строк зберігання продукції

Порівняльний аналіз показує, що найбільш універсальною і економічно вигідною технологією є анаеробне зброджування, оскільки воно забезпечує подвійний ефект - енергію та добрива. Компостування залишається базовою технологією для малих і середніх господарств, але характеризується значними втратами азоту. Вермікомпостування формує найвищу якість добрив, однак потребує специфічних умов та не підходить для великих обсягів сировини. Мікробна ферментація є найшвидшою технологією, але її ефективність залежить від якісної підготовки субстрату та точного контролю параметрів. Практична інтеграція кількох технологій (зброджування → сепарація → компостування/вермікультура) забезпечує найвищу комплексну ефективність і відповідає європейській моделі циркулярного агровиробництва.

Література:

1. Скляр О. Г., Скляр Р. В., Комар А. С. Теоретичні аспекти моделювання машинної технології утилізації органічних відходів. *Праці ТДАТУ: наукове фахове видання*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 1. С. 104–114. DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-104-115.

2. Комар А. С. Огляд методів дослідження та оптимізації машинних технологій утилізації відходів тваринництва. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 2. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-2-9>
3. Болтянський Б.В. Аспекти вдосконалення технології виробництва біогазу. *Праці ТДАТУ*. 2024. Вип. 24, т. 1. С. 89-100. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-6>.
4. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Біоконверсні технології прискореної переробки відходів тваринництва в екологічно безпечні добрива. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2. No 3. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-3.