

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОГО МІЖВИДОВОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОНІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДЕГРАДАЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ ПІД ЧАС АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Анотація

У роботі розглянуто вплив технології прямого міжвидового перенесення електронів (DIET) на ефективність деградації органічних забруднювачів під час анаеробного збродження. Технологія DIET забезпечує безпосередню передачу електронів між різними видами мікроорганізмів, що бере участь у процесі збродження, і сприяє підвищенню швидкості та ефективності біологічної деградації органічних речовин. Дослідження показують, що використання прямого міжвидового перенесення електронів може призвести до значного зниження часу, необхідного для переробки органічних відходів, а також до зменшення утворення токсичних побічних продуктів. Виявлено, що впровадження прямого міжвидового перенесення електронів у процеси анаеробного збродження має потенціал для підвищення екологічної безпеки та ефективності управління відходами.

Ключові слова: технологія прямого міжвидового перенесення електронів, анаеробне збродження, органічні забруднювачі, дигестат.

Abstract

The paper considers the impact of Direct Interspecies Electron Transfer technology on the efficiency of organic pollutant degradation during anaerobic digestion. Direct Interspecies Electron Transfer technology provides direct transfer of electrons between different types of microorganisms involved in the fermentation process and contributes to an increase in the speed and efficiency of biological degradation of organic substances. Studies show that the use of Direct Interspecies Electron Transfer can lead to a significant reduction in the time required to process organic waste, as well as to a reduction in the formation of toxic by-products. It has been found that the introduction of Direct Interspecies Electron Transfer into anaerobic digestion processes has the potential to improve environmental safety and waste management efficiency.

Keywords: Direct Interspecies Electron Transfer technology, anaerobic digestion, organic pollutants, digestate.

Проблема забруднення довкілля органічними речовинами є однією з найгостріших у сучасному світі. Анаеробне збродження є ефективним методом утилізації органічних відходів та виробництва біогазу. Однак, наявність у відходах різноманітних органічних забруднювачів може негативно впливати на ефективність цього процесу. У зв'язку з цим все більше уваги та значущості набувають відновлювані джерела енергії, використання яких відповідає принципам раціонального природокористування та захисту навколишнього середовища.

В основному застосування добрив варто підтримувати для замикання кругообігу поживних речовин і вуглецю, а також для зниження використання неорганічних добрив, які часто вимагають транспортування на значні відстані. Виробництво неорганічних добрив потребує значної кількості енергії, яка здебільшого генерується з викопного палива, що призводить до значних викидів парникових газів. Дефіцит фосфору, який є обмеженим ресурсом, може невдовзі відчутися на нашому суспільстві, а рівень урану та кадмію в неорганічних фосфорних добривах вже наближається до критичного. У світлі зростання цін на неорганічні добрива, виробництво органічних альтернатив стає актуальним та потенційно вигідним [1]. Використання дигестату як добрива приносить користь не тільки довкіллю, але й має економічні переваги. Наприклад, це допомагає уникнути високих витрат на утилізацію відходів, які можуть виникнути під час обробки рідкого дигестату на очисних станціях.

Якість вироблених добрив завжди залежить від якості сировини, що використовується. Тому при проектуванні установки необхідно ретельно обирати вихідну сировину, щоб забезпечити виробництво високоякісних добрив, які можуть приносити додатковий дохід завдяки вмісту поживних речовин та гумусу.

Анаеробне зброджування є одним з найбільш ефективних біологічних методів утилізації органічних відходів, що сприяє зниженню їх шкідливого впливу на навколишнє середовище та одночасно дозволяє отримувати енергію у вигляді біогазу [2]. Проте, незважаючи на значні переваги цього процесу, ефективність деградації органічних забруднювачів може бути обмеженою через низку факторів, серед яких одним із ключових є повільний обмін електронами між різними видами мікроорганізмів. У цьому випадку технологія прямого міжвидового перенесення електронів відкриває нові можливості для підвищення ефективності анаеробного зброджування.

Основний принцип цієї технології полягає в тому, що носії електронів створюють додаткові шляхи передачі електронів від органічних сполук до мікроорганізмів. Це призводить до прискорення процесів біодеградації та зменшення концентрації забруднювачів у дигестаті. Механізм міжвидового перенесення електронів включає кілька ключових процесів: (а) етапи анаеробного дихання; (б) прямого міжвидового перенесення електронів, який підтримується H_2 або форміатом; (в) пряме міжвидове перенесення електронів, опосередковане електропровідними пілі або цитохромами; (г) використання провідних матеріалів з великими частинками для компенсації відсутності прямого міжвидового перенесення електронів, де домінують електропровідні пілі; (д) використання провідних матеріалів з дрібними частинками для компенсації дефіциту прямого міжвидового перенесення електронів, де головну роль відіграють цитохроми [3].

Технологія прямого міжвидового перенесення електронів значно підвищує ефективність анаеробного зброджування, сприяючи прискоренню процесів деградації складних органічних сполук, що, у свою чергу, скорочує загальний час зброджування. Вона також дозволяє мікроорганізмам розкладати більш широкий спектр органічних речовин, включаючи ті, які зазвичай важко піддаються біодеградації. Завдяки більш повному розкладанню органіки, спостерігається збільшення об'єму виробленого біогазу, що підвищує енергетичну ефективність процесу. Крім того, застосування прямого міжвидового перенесення електронів сприяє зниженню концентрації шкідливих речовин у дигестаті, роблячи його більш безпечним для використання, наприклад, як добриво [4].

Також застосування додаткових технологій у процесі анаеробного зброджування органічних субстратів у біореакторах довело свою перспективність для інтенсифікації деградації забруднювачів. Основний принцип цього підходу полягає у введенні різних електропровідних матеріалів, які сприяють посиленню прямого перенесення електронів. Найбільш ефективними в цьому процесі є електропровідні матеріали на основі вуглецю (біовугілля, активоване вугілля, оксид графену) та заліза (магнетит, оксид заліза-цеоліт). Ці матеріали також здатні стимулювати активність ферментів та впливати на мікробіологічні процеси під час анаеробного зброджування, підвищуючи ефективність видалення складних органічних сполук [5].

Отже, технологія прямого міжвидового перенесення електронів відкриває нові перспективи для ефективного вирішення проблеми забруднення довкілля органічними речовинами. Застосування цієї технології забезпечує більш ефективне та швидке розкладання складних органічних сполук, покращуючи виробництво біогазу та зменшуючи енергетичні втрати. Завдяки технології прямого міжвидового перенесення електронів можна досягти стабільніших мікробних взаємодій і підвищити продуктивність процесу, що робить його перспективним для використання в системах очищення стічних вод і переробки відходів. Однак, для широкого впровадження цієї технології необхідні подальші глибокі дослідження та розробки, зокрема щодо можливості застосування біочару з дигестату як провідного матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тат'яненко В. Використання дигестату в якості органічного добрива. *Міжнародна конференція ТДАТ. 2024*. URL: http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/tatjanenko_24.pdf
2. Скляр Р.В. Напрями застосування дигестату, що утворюється в процесі анаеробного зброджування. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: IX Міжнародна науково-*

технічна конференція, смт Глеваха Київської області – м. Київ, Україна, 5-24 жовтня 2020 року: матеріали конференції. Глеваха-Київ. 2020. С. 145-147. URL: <http://animal-conf.inf.ua/tezy.conf.9.pdf>

3. Valentin, M.T., Luo, G., Zhang, S. et al. Direct interspecies electron transfer mechanisms of a biochar-amended anaerobic digestion: a review. *Biotechnol Biofuels* 16, 146 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13068-023-02391-3>.

4. Wang, Z., Hu, Y., Wang, S., Wu, G., & Zhan, X. (2023). A critical review on dry anaerobic digestion of organic waste: Characteristics, operational conditions, and improvement strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 176, 113208. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113208>.

5. Lu, X., Wang, H., Ma, F., Zhao, G., & Wang, S. (2018). Improved process performance of the acidification phase in a two-stage anaerobic digestion of complex organic waste: Effects of an iron oxide-zeolite additive. *Bioresource Technology*, 262, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.052>

Парамонов Андрій Васильович – аспірант групи А-25/ТС, факультет технічних систем та енергоефективних технологій, Сумський державний університет, м. Суми, e-mail: a.paramonov@ecolog.sumdu.edu.ua

Аблєєва Ірина Юрїївна – доцент, заступник завідувача кафедри екології та природозахисних технологій з наукової та міжнародної діяльності, Сумський державний університет, м. Суми.

Науковий керівник: **Аблєєва Ірина Юрїївна** – доцент, заступник завідувача кафедри екології та природозахисних технологій з наукової та міжнародної діяльності, Сумський державний університет, м. Суми.

Paramonov Andrii V. – Postgraduate Student, Sumy State University, Sumy, e-mail: a.paramonov@ecolog.sumdu.edu.ua

Abliieva Iryna Y. – Associate Professor, deputy Head of the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies for Scientific and International Activities, Sumy State University, Sumy.

Supervisor: **Abliieva Iryna Y.** – Associate Professor, deputy Head of the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies for Scientific and International Activities, Sumy State University, Sumy.