

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ РІДКОЇ ГНОЇВКИ СВИНЕЙ ІЗ СОНЯШНИКОВИМ ЛУШПИННЯМ

Костюк О.О., Дем'яненко І.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, kostiuk.oleksandr@lil.kpi.ua

Abstract

A theoretical analysis of the efficiency of co-anaerobic digestion of pig slurry and sunflower husks was conducted. It was shown that the addition of husks optimizes the C:N ratio and increases methane yield, confirming the feasibility of using such a mixture for biogas production.

Keywords: *pig slurry, sunflower husks, anaerobic digestion, biogas*

Вступ. Однією з найбільш актуальних екологічних проблем сільського господарства є ефективна утилізація органічних відходів, зокрема рідкої гноївки свиней та соняшникового лушпиння. Накопичення цих відходів без належної переробки призводить до поширення патогенної мікрофлори, створення неприємного запаху, займання додаткових площ на полігонах, розвитку явища парникового ефекту.

За оцінками, поголів'я свиней в Україні становить близько 5 млн голів. На багатьох фермах, особливо на застарілих об'єктах, досі використовується гідрозмивна система видалення гною, через що утворюється рідка гноївка з високим рівнем вологості (96-97%). Висока вологість у поєднанні з високим вмістом азоту, фосфору і калію дає змогу легко транспортувати гній і використовувати його як рослинне добриво. Проте таке добриво втрачає значну кількість поживних речовин через випаровування [1].

Разом з цим в Україні щорічно збирається понад 10 млн тонн соняшнику, з насіння якого отримують цінний харчовий і технічний продукт – олію. Під час переробки утворюється значна кількість побічного продукту – соняшникового лушпиння. Його обсяг оцінюється приблизно в 2 млн тонн на рік [2]. Проводили численні дослідження можливості отримання з лушпиння біовугілля як ефективного сорбенту антибіотиків і важких металів з навколишнього середовища, а також як добавки до ґрунтів для покращення їх водоутримувальних властивостей [3, 4].

Проте, найчастіше лушпиння використовується саме як необроблене або гранульоване паливо для котлів, що пояснюється його високою теплотою згоряння і доволі низькою зольністю. Отже, використовується до 60% лушпиння, але інша частка все ще потребує утилізації [2].

Перспективним напрямом, який одночасно зможе утилізувати соняшникове лушпиння і рідку гноївку, є сумісне анаеробне зброджування. Воно дасть змогу не тільки знизити навантаження на навколишнє середовище, а й отримати ефективне відновлювальне джерело енергії – біогаз, а залишки збродженої сировини можна використати як якісне добриво. Такий вибір компонентів обумовлений їх взаємодоповнюваністю: лушпиння є багатим

джерелом карбону, яке підвищує вміст сухих речовин в гноївці, а гноївка є основним джерелом азоту і мікроелементів.

Метою роботи є аналіз ефективності сумісного зброджування рідкої гноївки свиней і соняшникового лушпиння на основі даних [5].

Матеріали та методи. Проводили аналітичний огляд літературних джерел за темою дослідження. Інформація про елементний склад, вологість, вміст сухих органічних речовин (COP) в сировині була взята з бази даних Phyllis2 [5]. Теоретичний біохімічний метановий потенціал (ТВМР, см³ CH₄/г COP) розраховували за модифікованою формулою Бойля [6]:

$$ТВМР = \frac{22,4 \cdot \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{8} - \frac{c}{4} - \frac{3d}{8} - \frac{e}{4} \right)}{12 \cdot a + b + 16 \cdot c + 14 \cdot d + 32 \cdot e} \cdot 1000,$$

де a, b, c, d, e – кількість моль карбону, гідрогену, кисню, нітрогену і сульфору в сировині, відповідно.

Оптимальне співвідношення гноївки до лушпиння в суміші розраховували за формулою:

$$C:N = \frac{CP_{с.л.} \cdot C_{с.л.} + CP_{г.} \cdot C_{г.}}{CP_{с.л.} \cdot N_{с.л.} + CP_{г.} \cdot N_{г.}},$$

де $CP_{с.л.}, CP_{г.}$ – маса сухої речовини в лушпинні та гноївці, відповідно, г;

$C_{с.л.}, C_{г.}$ – вміст карбону в лушпинні та гноївці, відповідно, %;

$N_{с.л.}, N_{г.}$ – вміст нітрогену в лушпинні та гноївці, відповідно, %.

Результати та обговорення. Одним із найбільш важливих параметрів сировини для ефективного перебігу анаеробного зброджування є співвідношення карбону до нітрогену (C:N), яке має становити від 20:1 до 25:1. Аналіз елементного складу рідкої гноївки свиней та соняшникового лушпиння показав суттєві відмінності: для гноївки характерне низьке співвідношення C:N (13,5:1), а для лушпиння – надто високе (57:1).

Тому розраховали, що для досягнення співвідношення C:N $\approx$ 25:1 необхідно змішати рідку гноївку з лушпинням у співвідношенні 12:1 за масою, відповідно. Порівняння характеристик цих субстратів представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Параметри сировини, розраховані за даними [5].

Сировина	C:N	COP, % у свіжій масі	CP, % у свіжій масі	ТВМР, см ³ CH ₄ /г COP	Питомий вихід метану, м ³ CH ₄ /т свіжої маси
Рідка гноївка свиней	13,5:1	2	3	568,2	13,4
Соняшникове лушпиння	57:1	88	91	423,9	46,8
Суміш (12:1)	25:1	8	10	509,6	41,8

Незважаючи на те, що ТВМР лише гноївки (568,2 см³ CH₄/г COP) вищий за ТВМР лише лушпиння (423,9 см³ CH₄/г COP), через низький вміст COP (2%) і високу вологість (96–97%) питомий вихід метану з гноївки залишається досить низьким (13,4 м³ CH₄/т свіжої маси). Додавання лушпиння як косубстрату

підвищує СОР суміші до 8%, а ТВМР – до 509,6 см³ СН₄/г СОР, що дає змогу збільшити теоретичний питомий вихід метану майже в 3,1 рази до 41,8 м³ СН₄/т свіжої маси.

Необхідно врахувати особливості лігноцелюлозної сировини. Саме по собі соняшникове лушпиння бродить дуже довго через обмежену доступність поживних речовин, тому його дійсний вихід метану є значно нижчим за розрахунковий. У суміші лушпиння з гноївкою створюються більш сприятливі умови для швидшого росту та активності гідролітичних мікроорганізмів родів *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Micrococcus* та інших, які розщеплюють складні полімери лушпиння, роблячи їх більш доступними для подальших етапів метаногенезу [7].

Необхідно також зазначити, що розрахунок ТВМР за модифікованою формулою Бойля є спрощеним: в ньому передбачається ідеальна температура та перемішування, повне перетворення всієї органічної речовини виключно в газові продукти (СН₄, СО₂, Н₂С, NH₃) без нарощування біомаси. В реальних умовах показники виходу метану можуть виявитися на 10-20% нижчими за розрахункові [6].

Висновки. Було проаналізовано ефективність сумісного анаеробного зброджування рідкої гноївки свиней із соняшниковим лушпинням. Такий метод утилізації відходів дає змогу зменшити вплив на навколишнє середовище, а також отримати додаткове джерело енергії. Сумісне зброджування є доцільним завдяки оптимізації співвідношення С:N, підвищенню вмісту сухих органічних речовин і, як наслідок, збільшенню теоретичного виходу метану більше ніж в 3 рази.

Список використаної літератури:

1. Українське свинарство в умовах воєнного стану. Проблеми та перспективи / О. Юрченко та ін. *Таврійський науковий вісник*. 2024. Т. 2, вип. 139. С. 256–267. (Сільськогосподарські науки). ISSN 2226-0099. URL: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.32>
2. Аналітична записка / Г. Г. Гелетука та ін. Київ : Біоенергетична асоціація України, 2020. Т. 25 : Перспективи енергетичного використання побічної продукції від вирощування соняшнику. 35 с. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/10/uabio-position-paper-25-ua.pdf>
3. Nguyen TB, Nguyen TK, Chen CW, Chen WH, Bui XT, Lam SS, Dong CD. NiCo₂O₄-loaded sunflower husk-derived biochar as efficient peroxymonosulfate activator for tetracycline removal in water. *Bioresour Technol*. 2023 Aug;382:129182. Epub 2023 May 18. PMID: 37210031. URL: [10.1016/j.biortech.2023.129182](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129182)
4. Gluba Ł, Rafalska-Przysucha A, Szewczak K, Łukowski M, Szlązak R, Vitková J, Kobyłecki R, Bis Z, Wichliński M, Zarzycki R, Kacprzak A, Usowicz B. Effect of Fine Size-Fractionated Sunflower Husk Biochar on Water Retention Properties of Arable Sandy Soil. *Materials* (Basel). 2021 Mar 10;14(6):1335. PMID: 33801976; PMCID: PMC7999494. URL: [10.3390/ma14061335](https://doi.org/10.3390/ma14061335)
5. Phyllis2. Database for the physico-chemical composition of (treated) lignocellulosic biomass, micro- and macroalgae, various feedstocks for biogas production and biochar. URL: <https://phyllis.nl>
6. Achinas S., Euverink G. J. W. Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural waste. *Resource-Efficient Technologies*. 2016. Т. 2, вип. 3. С. 143–147. URL: <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.08.001>
7. Щурська К. О., Кузьмінський Є. В. Біоенергетика : підручник для студентів спеціальності 162 "Біотехнології та біоінженерія". Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 304 с.