

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР «ІМЕСГ» НААН**



***ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***VI Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди  
112-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора,  
члена-кореспондента ВАСГНІЛ,  
віце-президента УАСГН  
КРАМАРОВА  
Володимира Савовича  
(1906-1987)***

**«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»**

***21-22 лютого 2019 року  
м. Київ***

УДК 662.763

## **ВИКОРИСТАННЯ КИСЛОМОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ В ЯКОСТІ КОСУБСТРАТУ ПРИ МЕТАНОВОМУ ЗБРОДЖУВАННІ ГНОЮ ВРХ**

**В. М. НОЛЩУК**, кандидат технічних наук, доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Останнім часом значна увага приділяється використанню відходів для виробництва біоналив. Одним із таких відходів є молочна сироватка. Всього в світі налічують понад 15 000 видів молочної сироватки. На практиці справу мають звичайно з двома категоріями молочних сироваток – солодкою і кислою. Сироватка, яка є побічним продуктом виробництва твердих, напівтвердих, м'яких сирів і сичужного казеїну, називається солодкою (підсирною) і має рН 5,9-6,6. При виробництві сиру кисломолочного утворюється кисла сироватка з рН 4,6-5,2; при виробництві осадженого неорганічними кислотами казеїну – кисла сироватка з рН 4,3-4,6 [1]. Підсирна сироватка поділяється на солону, яка містить до 1,5% хлористого натрію, і несолону, яка взагалі не містить хлористого натрію. Кисла сироватка також не містить солей натрію. Підсирна несолонна сироватка містить до 5,6% сухих речовин, із яких до 4,0% становить лактоза, решта – білки і жири. Підсирна солонна сироватка містить до 7,0% сухих речовин при вмісті лактози до 4,0%. Кисла сироватка (кисломолочна і казеїнова) містить до 5,5% сухих речовин при вмісті лактози до 3,5% [2].

Щорічно в світі виробляється 140 млн. т молочної сироватки, однак значна її частина при цьому не перероблюється [3]. Близько 78% отриманої сироватки зливається в каналізацію [4]. Разом із тим, скидання молочної сироватки в каналізацію може завдати непоправної шкоди довкіллю, адже її забруднююча здатність перевищує аналогічний показник для побутових стічних вод в 500-1000 разів [1]. Тому допоки не організовано переробки всієї

отримуваної сироватки в харчові або інші продукти, необхідно забезпечувати її утилізацію і не допускати потрапляння в довкілля. Одним із способів утилізації сироватки є використання її в якості косубстрату для метанового зброджування тваринницьких відходів.

Із аналізу попередніх досліджень [5] - [10] випливає, що вихід біогазу при зброджуванні сироватки як монособстрату, так і добавки до інших субстратів, збільшується. Разом із тим, величина виходу біогазу при зброджуванні сироватки для різних досліджень суттєво відрізняється. Крім того, вміст сироватки в субстраті 75-85% викликає зниження рН субстрату до 3,3 з наступним інгібуванням процесу бродіння. Для уточнення проаналізованих результатів попередніх досліджень та розробки математичної моделі виходу біогазу при зброджуванні субстрату на основі гною ВРХ з додаванням сироватки як косубстрату були проведені експериментальні дослідження зброджування гною ВРХ із заміною 20%, 40%, 60% і 80% води сироваткою. Дослідження проводились в періодичному режимі в реакторі корисним об'ємом 30 л. Температура бродіння становила 35°C.

Встановлено, що бродіння при всіх досліджуваних співвідношеннях сироватки і води (крім 80% вмісті сироватки) відбувається майже однаково, а загальний вихід біогазу дуже близький. Так, на 19 добу бродіння субстрату, що складається із гною ВРХ, сироватки і води, за температури бродіння 35°C, накопичений вихід біогазу становить 302,8 л/кг сухої органічної сировини (СОР) при 20% вмісті сироватки в субстраті, 300,6 л/кг СОР при 40% вмісті сироватки в субстраті і 299,2 л/кг СОР при 60% вмісті сироватки в субстраті. При цьому накопичений вихід біогазу із субстрату, що складається із чистого гною ВРХ без додавання сироватки (при температурі бродіння 40°C), значно менший і становить 206,5 л/кг СОР на 18 добу бродіння. При зброджуванні субстрату із 80% вмістом сироватки дуже швидко відбувалось інгібування процесу із повним припиненням метанового бродіння, яке неможливо було відновити без заміни маточної культури бактерій. За результатами проведених досліджень можна рекомендувати для періодичної системи завантаження зброджування субстрату на основі гною ВРХ при вмісті сироватки не більше 60% від маси субстрату. При цьому вихід біогазу збільшується на 30% на одиницю сухих органічних речовин порівняно із зброджування лише гною ВРХ. Додавання 80% сироватки до субстрату веде до швидкого інгібування процесу та припинення бродіння. Діапазон від 60% до 80% вмісту сироватки в субстраті потребує додаткових досліджень.

Коефіцієнт перерахунку виходу біогазу з розмірності л/(год·кг СОР) в розмірність л/(год·кг) при 20% заміни води сироваткою в субстраті (6,1% СОР в субстраті) становить 16,441 кг/кг СОР, при 40% заміни води сироваткою в субстраті (6,7% СОР в субстраті) – 14,86 кг/кг СОР, при 60% заміни води сироваткою в субстраті (7,4% СОР в субстраті) – 13,557 кг/кг СОР, при 80% заміни води сироваткою в субстраті (8,0% СОР в субстраті) – 12,463 кг/кг СОР.

В першу добу бродіння отриманий біогаз не горить, після чого вміст метану в біогазу збільшується і теплота згорання знаходиться в межах 13-15

МДж/м<sup>3</sup>. При 80% заміні води сироваткою в субстраті горіння біогазу не відбувається протягом всього часу проведення дослідів.

У разі реалізації нового методичного підходу до зброджування гною великої рогатої худоби з додаванням кисломолочної сироватки, добовий вихід біогазу з ферми на 1000 голів ВРХ збільшується до 11,4 тис. м<sup>3</sup>, а термін окупності біогазової установки при використанні "зеленого" тарифу скоротиться до 7,7 року.

### Список літературних джерел

1. Ткаченко Н.А., Некрасов П.О., Вікуль С.І. Оптимізація рецептурного складу напою оздоровчого призначення на основі сироватки. *Восточно-Европейский журнал передових технологий*. Vol. 1. №10(79). 2016. С. 49-57. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59695.
2. ГОСТ 53438-2009: Сыроватка молочная. Технические условия. Действителен от 2011-01-01. Москва: Стандартинформ. 2010. 12 с.
3. Головка М.П., Пенкіна Н.М., Колесник В.В. Порівняльна характеристика хімічного складу та антиоксидантної активності різних видів молочної сироватки та перспективи її використання у напоях. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13. Т.7. С. 134-139.
4. Мусійчук О. Перспективи використання продуктів переробки молочної сироватки. *Товари і ринки*. 2008. №1. С. 78-83.
5. Vivekanand V., Mulat D.G., Eijsink V.G.H., Horn S.J. Synergistic effects of anaerobic co-digestion of whey, manure and fish ensilage. *Bioresource Technology*. 2018. Vol. 249. P. 35-41. doi: 10.1016/j.biortech.2017.09.169.
6. Hegde S., Hegde S., Win S.S., Trabold T.A. Stabilizing the Anaerobic Digestion of Food Waste for Biomethane Production. 11th ASME International Conference on Energy Sustainability, Charlotte, NC. *Proceedings of the Asme International Conference on Energy Sustainability*, 2017. Article number: UNSP V001T02A002.
7. Brown N., Guttler J., Shilton A. Overcoming the challenges of full scale anaerobic co-digestion of casein whey. *Renewable Energy*. 2016. Vol. 96. Part A. P. 425-432. doi: 10.1016/j.renene.2016.04.044.
8. Escalante H., Castro L., Amaya M.P., Jaimes L., Jaimes-Estevez J. Synergistic effects of anaerobic co-digestion of whey, manure and fish ensilage. *Waste Management*. 2018. Vol. 71. P. 711-718. doi: 10.1016/j.wasman.2017.09.026.
9. Vasmara C., Marchetti R. Biogas Production From Biodegradable Bioplastics. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2016. Vol. 15. Iss. 9. P. 2041-2048.
10. Calhan R., Kaya D., Coban V. Determination of Optimum Conditions for Co-Digestion of Cattle Manure With Chicken Wastes and Cheese Whey. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science-Ijees*. 2016. Vol. 6. Iss. 3. P. 375-380.