

УДК 634.0.813:677.017.632:661.185

Н.Б. МІГІНА, І.М. ЗУБАРЕВА

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПІДБІР ПОЖИВНИХ СЕРЕДОВИЩ, ШТАМІВ ПРОДУЦЕНТІВ  
ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ З ПОДАЛЬШИМ ПРОЦЕСОМ  
ВЕРМІКУЛЬТИВУВАННЯ

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ

Досліджено технологію одержання альтернативного виду енергії на основі біомаси активного мулу – відходу системи біологічного очищення стічних вод з подальшим використанням відходів поживного середовища після метаногенезу у вермікультуванні.

Значні сучасні темпи розвитку продуктивних сил в більшості країн світу привели до різкого зростання споживання всіх видів енергії, тому у низці країн стала відчуватися гостра нестача традиційних видів палива, в першу чергу, таких універсальних і зручних, як нафта і газ. Внаслідок цього посилилася тенденція до використання так званих відповідних альтернативних джерел енергії – сонячної, вітрової, геотермальної в біомасу. Проте достатня кількість біомаси сама по собі – не є рішенням проблеми енергоресурсів. Необхідні такі методи її переробки, які створили б умови для отримання корисних для людини продуктів і, в першу чергу, енергоносіїв. Одна з ефективних можливостей використання біомаси з подальшою біоконверсією її в біогаз є актуальною.

Мікробіологія процесу метанового бродіння охоплює практично всі фізіологічні групи мікроорганізмів, які мають змогу розвиватися при відсутності кисню, відокремлюючи патогенні, для яких дані умови не є сприятливі. Серед значної кількості мікроорганізмів, які беруть участь в процесі метанового бродіння, виділяють лише одну вузькоспеціалізовану групу бактерій, що утворюють метан. У зв'язку з цим метанове бродіння розглядається як двостадійний процес: при бродінні середовищ різного хімічного складу різноманітні гетеротрофні мікроорганізми розкладають органічні речовини, перетворюючи їх в нижчі жирні кислоти, CO<sub>2</sub> та інші продукти анаеробного обміну, а метанотворюючі бактерії потім конвертують ці продукти в метан. Відповідно цьому така зміна процесів обумовлена не тільки відсутністю здатності звичайних гетеротрофних мікроорганізмів до утворення метану, але і тим, що метанотворюючі бактерії, в свою

чергу, не спроможні засвоювати органічні речовини – білки, жири, вуглеводи. Таким чином, метанотворюючі бактерії існують за рахунок кінцевих продуктів обміну, які не можуть піддаватись подальшому окисненню, тобто вже не мають енергетичної та конструктивної цінності для інших мікроорганізмів в анаеробних умовах.

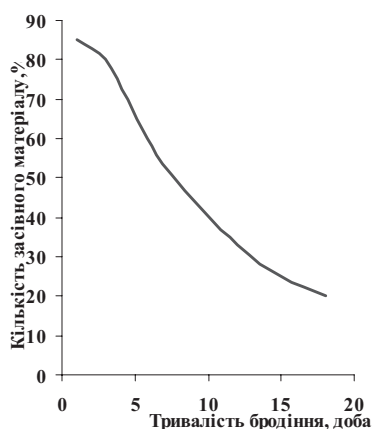
Надлишковий активний мул є відходом системи біологічного очищення промислових і господарсько-побутових стічних вод. Підсушений осад з карт мула згрібається бульдозером для утилізації. Активний мул – складна екологічна система, організми якої перебувають на різних трофічних рівнях. Він є аморфним пастоподібним осадом вогкністю 97%–99%. Отже, одна з ефективних можливостей використання біомаси активного мулу – мікробіологічна анаеробна конверсія її в біогаз. Біохімічний склад вказаного поживного середовища для виконання біометаногенезу наведено в таблиці.

Хімічний склад активного мулу  
(масова частка, % від а.с.р.)

Складова мулу	Вміст, %
Зола	15,58
Кременева кислота	3,95
Окис заліза	1,58
Фосфорний ангідрид (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2,14
Азот органічний	3,61
Сирий жир	2,51
Жирні кислоти	0,39

Встановлено, що біохімічний склад поживного середовища залежить від активності мулу, який використовувався для біометаногенезу. В якості

продуценту використовували змішані культури *Clostridium kluyveri*, *Methanobacterium omelianskii*, а також представники родів *Methanosarcina*, *Methanosaeta*, *Methanomicrobium*. Особливість метанового бродіння відносно інших процесів мікробіологічної промисловості — це його тривалість та складність виконання під впливом чистих або елективних культур. Для високоактивних мікроорганізмів кількість засівного матеріалу не має суттєвого значення. Визначено, що у випадку метанового бродіння зменшення кількості різних мікроорганізмів у змішаній культурі веде до погіршення процесу, тобто до зниження утворення метану до 13–19%. Низька швидкість цього процесу викликає необхідність використання більшої кількості засівного матеріалу, тобто кількість мікроорганізмів, які необхідно внести в середовище, що бродить, для проведення процесу метанового бродіння. В якості засівного матеріалу ми одержали культуральну рідину, після бродіння змішаної культури на основі активного мулу. Інтенсивність процесу залежить від живильної цінності середовища. Використовували 30% засівного матеріалу, але при цьому бродіння починалося повільно. Процес вели безперервним способом: в реактор, який заповнений культуральною рідиною, додавали визначені порції збродженого середовища. Для визначення впливу кількості засівного матеріалу на тривалість метанового бродіння були проведені експерименти, результати яких наведені на рисунку.



Залежність тривалості метанового бродіння від кількості інокулянта

Одержана залежність в ході експериментів характерна для цього конкретного випадку, бо на інших середовищах тривалість бродіння при однаковій кількості засівного матеріалу буде іншою.

Таким чином, при малій кількості засівного матеріалу бродіння відбувається повільніше, тривалість бродіння змінюється не пропорціонально зміні кількості засівного матеріалу. При 80% засівного матеріалу тривалість бродіння 1–2 доби, при 40% засівного матеріалу тривалість бродіння підвищується з 3 до 12 діб.

Подальші лабораторні дослідження дозволили встановити, що для завершення бродіння за одну добу необхідне співвідношення 90:10, тобто в реактор, де відбувається бродіння, треба додавати кожен добу 10% свіжого середовища, видаляючи таку ж кількість культуральної рідини. При цьому весь вміст реактора відновлюється за 10 діб. Таким чином, швидкість потоку дорівнює  $0,0042 \text{ год}^{-1}$ .

Визначено, що в ході тривалого використання змішаної культури для бродіння, кінцевий склад мікрофлори метанового бродіння на субстраті з активного мулу приблизно був однаковий, незалежно від походження засівного матеріалу.

Розраховували коефіцієнти кореляції, коефіцієнти в рівнянні прямої та поліному другого ступеня. Критерієм оптимізації процесу метанового бродіння є кількісна характеристика якості одержаного біогазу, яка визначається вмістом засівного матеріалу в реакторі. Як функція відгуку виступало значення засівного матеріалу ( $y_1$ ). Розрахунок коефіцієнтів рівняння, визначення їх значущості, перевірка адекватності моделі виконано за допомогою програми *STATS GRAPHICS 7.0*. Залежність значення тривалості метанового бродіння від кількості засівного матеріалу адекватно описується рівнянням:  $y=0,1391x^2-6,7291x+995,118$ .

Досліджені основні етапи розробленої біотехнології процесу біометаногенезису з використанням активного мулу. Умови процесу визначали на дослідній лабораторній установці — БГС (біогазова станція). Установа БГС складається з реактору, місткістю до 20 л, який помістили в термостат з автоматичною підтримкою заданого температурного режиму; проміжної ємності — газгольдера; подвійного лужного поглинача кислих газів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ); проміжної ємності з пробовідбірником; газового лічильника для вимірювання кількості нейтральних газів, що утворилися, — головним чином метану. Проміжна ємність з можливістю здійснення наступних операцій: скидання газу в вентиляційну систему; підключення до джерела розрядки (100 мм вод. ст.), поєднування через вогнепергороджувач гранульованого типу до газового пальника.

Процес вивчення біометаногенезису з використанням активного мулу відбувався в термофільній фазі, тривалість процесу 10–12 діб (80% засівного матеріалу). Виконано оптимізацію поточного газохроматографічного аналізу компонентів одержаного біогазу. Біогаз, який утворився в цьому процесі, є неоднорідною газоподібною сумішшю, що складається на 60–70% з метану, на 30–40% з двоокису вуглецю, до 1% сірчистого водню і мінімальних кількостей водню та азоту.

Після одержання біогазу з активного мулу відходи поживного середовища використовувались у вермікультуванні. Перспективною для ефективного одержання кормового білку, на нашу думку, є вермітехнологія, тобто, використання природного біореактора, яким, по суті, є організм

черв'яка. Вказана біотехнологія вбачається нами однією з найефективніших, тому що зазначений процес є максимально наближеним до природного, але значно інтенсифікованим [1–3]. Найбільш поширеними популяціями вермікультури є червоний каліфорнійський черв'як (ЧКЧ) *Eisenia foetida*, великий червоний черв'як (або звичайний дощовий черв'як) *Lumbricus terrestris*, малий червоний черв'як *Lumbricus rubellus*. При обранні сировини треба враховувати що черв'яки поглинають їжу шляхом всмоктування, тому субстрат повинен бути достатньо зволуженим та подрібненим, оскільки ротевий отвір черв'яка не перевищує 1 мм [4].

Одержаний залишок після метаногенезису, як субстрат для культивування *Eisenia foetida*, повинен володіти певною біологічною, хімічною та технологічною доброякісністю. Поживний субстрат є достатньо вологим (70%–80%) матеріалом, тому може бути асимільований вермікультурою без додаткової обробки. Проведені дослідження мікрофлори субстрату доводять, що вказаний поживний субстрат не вміщує патогенні ентеробактерії, ентеровіруси, а також паразитарні популяції родів *Ascaris*, *Ancylostoma*.

Таким чином, використання осаду після метанового бродіння в якості поживного субстрату для культивування *Eisenia foetida* обумовлено умовами метаногенерації, при яких повністю гинуть патогенні мікроорганізми.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мітіна Н.Б., Кулик О.П., Калашніков С.Г. Дослідження технологій створення білкових добавок. 1. Перспективи одержання кормового білку // *Вопр. хімії и хім. технології*. — 2009. — № 2. — С.44-48.
2. *Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве* / Городний Н.М., Мельник И.А., Повхан М.Ф. и др. — К.: Урожай, 1990. — 256 с.
3. *Bonini, V. Nelta „torre” i Lombrichi depuzano* // *Mondo agricolo*. — 1982. — Vol.33. — № 10-11. — P.26-27.
4. *Иванов В.Ф., Колупаев Б.И., Охотников С.И. Использование нетрадиционных субстратов в вермипроизводстве* // *Химия в сельском хозяйстве*. — 1994. — № 4. — С.10.

Надійшла до редакції 7.06.2012