

Інна МЕЛЬНИК

магістрант

Наукові керівники:

к.т.н., доцент Ігор ГАРАСИМЧУК

к.т.н., доцент Павло ПОТАПСЬКИЙ

Подільський державний

аграрно-технічний університет

м. Кам'янець-Подільський

ПРОЦЕСИ ТЕМОВОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ ЯК СПОСІБ ОТРИМАННЯ БІОВОДНЮ

Ферментативне виробництво водню — це ферментативне перетворення органічного субстрату в біоводень, що здійснюється групою бактерій за допомогою мультиферментативних систем в 3 етапи, що нагадують анаеробне збродження. Темнова ферментація не потребує світлової енергії, тому можливе неперервне виробництво водню з органічних сполук — вдень і вночі [1].

Темнове бродіння - це тип (перша частина) анаеробного процесу травлення, де цукри або гліцерин перетворюються на водень, вуглекислий газ та леткі жирні кислоти (масляну або оцтову) і залишаються, тобто не починають процес метаногенезу. Інгібування метаногенезу часто протікає шляхом впливу стресового фактору на бактерії, наприклад: теплового удару (кипіння або заморожування), різкої зміни рН, мікрохвиль, обробку ультразвуком, скручування або хімічних агентів.

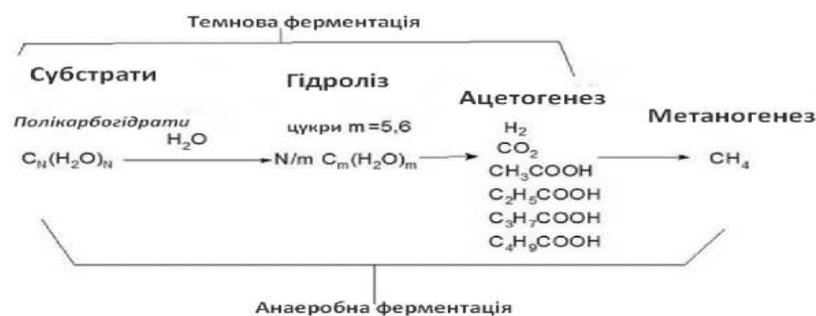
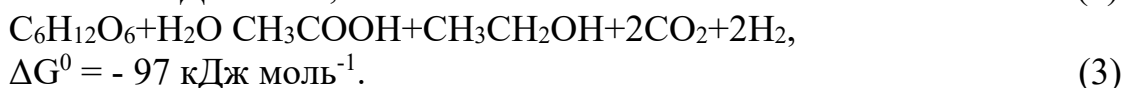
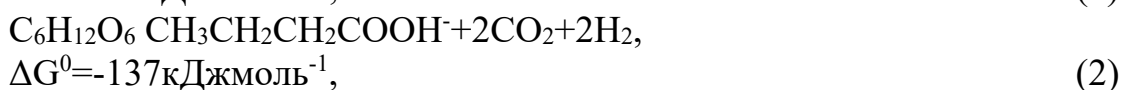
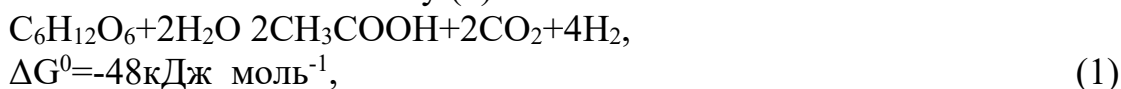


Рисунок. Схема процесу метаногенезу

Процес темного бродіння з гексоз протікає по одному з термодинамічно можливих шляхів: ацетатного еквіваленту (1), бутиратного еквіваленту (2) або ацетат-етанолового еквіваленту (3).



Ацетатний шлях має найвищий теоретичний вихід водню: 4 моль H_2 з 1 моль гексози. Найефективніший спосіб - це ацетатний шлях (1), але найпоширенішим є бутиратне бродіння (2).

У випадку пентоз реакція протікає відповідно до рівняння:



Хоча рівняння (1-4) відображають шляхи бродіння, починаючи з простих цукрів, у природі вони трапляються досить рідко. Отже, прості органічні сполуки потрібно отримувати із складних шляхом гідролізу (під час різних процесів попередньої обробки).

Одним із відповідних (складних) джерел простих цукрів є лігноцелюлоза, основна складова рослин. Інший, спочатку попередньо оброблений, лігноцелюлозний матеріал можна отримати з посліду рослиноїдних тварин [2].

В якості основних субстратів можуть використовуватися різні органічні сполуки - такі як вуглеводи, цукри, білки і жири, комплексні органічні субстрати, наприклад, стічні води (СВ), багаті органічними речовинами: СВ харчової промисловості, СВ комунальних підприємств, відходи, які містять целюлозу та лігнінцелюлозу, СВ тваринних ферм, цукровмісні СВ, а також СВ, які містять залишки олій та гліцеролу [3].

Вихід водню під час темного бродіння значною мірою залежить від парціального тиску продукту. При високих значеннях парціального тиску водню метаболізм зміщується у бік виробництва більш відновлених продуктів - таких як лактат або аланін, тим самим знижуючи вихід H_2 [4].

Серед воденьпродукуючих мікроорганізмів виділяють облигатні анаероби: *C. Butyricum*, *C. acetobutyricum* і *C. beijerinckii*, *C. Thermolacticum*, *C. tyrobutyricum*, *C. thermocellum* і *C. Paraputrificum*, *Clostridium tyrobutyricum*, *paraputrificum*, *C. saccharoperbutylaceticum*, метилотрофи, метаногенні бактерії, археї, факультативні анаероби: *E. coli*, *Ent-erobacter* (*E. aerogenes* і *E. cloacae*), *Citrobacter*, *Klebsiella* і навіть аероби (*Alcaligenes*, *Bacillus*) [3].

Процес зазвичай протікає в мезофільному діапазоні (33 °С – 40 °С), однак останні повідомлення про більш високе виробництво метану та можливі більш цінні побічні продукти (наприклад, молочна кислота) викликали інтерес до збільшення теплового діапазону температур (55 °С – 60 °С). Оптимальний рН для виробництва водню при темній ферментації коливається залежно від субстрату в межах 5,0-6,0, тоді як для виробництва метану він знаходиться в межах 7,0-9,0. Також, було встановлено, що під час бродіння субстратів з вищим вмістом лігніну (понад 10%), завдяки збільшенню рН, метаногени стимулюються до вищого виробництва метану (а виробництво нітрогену зменшується).

Аерація (або мікроаерація) – це техніка додавання повітря, що застосовується в багатьох біологічних процесах, таких як компостування, фотоферментація, мікробний електроліз і навіть анаеробне ферментування. Додавання 2-8% кисню полегшує виробництво водню в процесі ферментації. Встановлено, що додавання кисню в невеликих кількостях використовується в анаеробному травленні для інгібування утворення сірководню в реакторах.

Оптимальна швидкість мікроаерації залежить від субстрату та типу реактора. Мікроаерація також покращує швидкість гідролізу та збільшує ступінь перетворення гідролізату. Таким чином, варто дослідити, який процес, метаногенез або гідрогенез (обидва анаеробні), є більш чутливим до присутності кисню, що може полегшити контроль цих процесів під час темної ферментації [5].

Процес темного бродіння вирізняється своїми перевагами. Бактерії – зброджувачі мають високий потенціал до утворення водню. Крім того, процес не вимагає світла і може проходити безперервно, протягом тривалого часу. В результаті окрім водню утворюються і проміжні метаболіти – оцтова кислота, що також знаходять широке застосування. Для процесу можуть бути використані різні субстрати. Ферментативне виділення водню є вигідним, у порівнянні з фотохімічним виділенням водню мікроорганізмами. Але у міру збільшення парціального тиску водню, його кількість зменшується і відбувається зрушення в бік отримання проміжних продуктів, таких як молочна кислота, етиловий спирт, ацетон, бутанол і ін. Іншим недоліком є виділення CO₂, який повинен бути видалений з отриманої газової суміші [3].

Список використаних джерел

1. Рибчинський Л. М. Екологічні аспекти водневої енергетики: кваліфікац. робота магістра / Л. М. Рибчинський; наук. керів. О. А. Бургаз. – Одеса: ОДЕУ, 2017. – 63 с.
2. Solowski G. Production of hydrogen and methane from lignocellulose waste by fermentation. A review of chemical pretreatment for enhancing the efficiency of the digestion process. / G. Solowski, I. Konkol, A. Cenian // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Volume 267, 121721. – p. 2-15.- <https://doi.org/10.1016Zj.jclepro.2020.121721>
3. Шуліпа Є. О., Черниш Є. Ю. Процеси темної ферментації для утилізації відходів з отриманням корисних біосировинних продуктів // Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві». – Суми: СумДУ. – 2020. – С. 246-247.
4. Щурська К. О. Способи продукування біоводню. Проблеми біології та біотехнології / К. О. Щурська, Є. В. Кузьмінський // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2011. – Вип. 3. – С. 105-114.
5. Solowski G. Methane and hydrogen production from cotton waste by dark fermentation under anaerobic and micro-aerobic conditions / G. Solowski, I. Konkol, A. Cenian // Biomass and Bioenergy. – 2020. – № 138. – P. 1-2.