

УДК 628.544; 628.385

BIOLOGICAL UTILIZATION OF BEET PULP WITH THE USE OF METHANE FERMENTATION

N. Bubliencko, O. Semenova*National University of Food Technologies***Key words:**

sugar beet pulp,
biogas,
biofertilizer,
plant stimulation

Article history:

Received 31.08.2021

Received in revised form
04.11.2021

Accepted 11.11.2021

Corresponding author:

3110nb@gmail.com

ABSTRACT

The sugar industry is characterized by the formation of waste, one of the largest in volume is sugar beet pulp. Processing of pulp by classical technologies has disadvantages, so it is rational to use biological methods to obtain biogas and fertilizers.

Methane fermentation allows to compensate the costs of the environmental project through the use of biogas. Of practical interest is also anaerobic biomass enriched with biologically active substances that can be used as fertilizer.

Therefore, it is important to study the stimulating effect of biocomponents of anaerobic activated sludge on plants.

The aim of the work is to study the methane fermentation of pulp for biofuels and plant growth stimulants.

Main tasks: analysis of traditional methods of pulp utilization, research of methane fermentation of pulp in periodic mode, determination of energy potential of pulp, study of stimulating effect of anaerobic biomass on pea grain development *Pisum sativum*.

As a result of research it was found that beet pulp is subjected to methane fermentation in the periodic thermophilic regime ($45 \pm 1^\circ\text{C}$). The loading dose of beet pulp was 10 % of the total mass of the culture fluid. Duration of methane fermentation of beet pulp — 24 days. The efficiency of dry matter biotransformation of beet pulp at the end of fermentation was 83,7%.

The intensity of gas formation was high, as evidenced by the yield of biogas in the amount of $370 \text{ dm}^3/\text{kg}$ of dry matter of beet pulp, loaded into a methane tank. The formed biogas was characterized by a fairly high content of combustible methane gas (up to 65...67%). Such biogas is quite acceptable for use as an alternative fuel.

Treatment of pea grain with bioactive solution led to accelerated growth of seedlings (by 23...32%), roots (by 22...28%), increased germination energy compared to the control experiment by 23,2%.

The obtained results testify to the prospects of using fermented biomass solutions to stimulate the growth and development of cereals.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-7

БІОЛОГІЧНА УТИЛІЗАЦІЯ БУРЯКОВОГО ЖОМУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАНОВОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ

Н. О. Бублієнко, канд. техн. наук

О. І. Семенова, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

*Для цукрової промисловості характерним є утворення значної кількості різноманітних за складом і властивостями відходів, з яких одним із найбільших за обсягами є жом цукрового буряка. У статті проаналізовано традиційні способи утилізації бурякового жому, досліджено метанове бродіння бурякового жому в періодичному режимі, визначено енергопотенціал цього субстрату, стимулювальну активність збродженої анаеробної біомаси на розвиток зерен гороху посівного *Pisum sativum*. Отримані результати свідчать про перспективність використання розчинів збродженої біомаси для стимулювання росту і розвитку зерна посівних культур.*
Ключові слова: жом цукрового буряка, біогаз, біодобриво, стимуляція рослин.

Постановка проблеми. Підприємства харчової промисловості, особливо це стосується цукрової, спиртової, пивоварної, олійножирової тощо галузей, є потужним джерелом утворення відходів і вторинних матеріальних ресурсів. Такі виробництва використовують величезну кількість сировини у сотні і тисячі тонн на добу, а вихід кінцевого продукту, зазвичай, не перевищує 5...25% від маси початкової сировини. Відповідно, значна частина сировини перетворюється у відходи. Так, при виробництві цукру з буряка цукрового вихід жому становить близько 80% від маси початкової сировини [1]. Отже, наприклад, завод потужністю 3 000 т буряка на добу за сезон матиме близько 300 тис. т жому.

Обсяги утвореного жому в Україні протягом останніх років коливаються залежно від економічних, соціальних, виробничих тощо факторів. Так, у 2010 р. утворилось 10 999,2 тис. т, 2015 р. — 8 264,8, 2017 р. — 11 905,6, 2018 р. — 11 174,4 тис. т [2].

Хімічний склад свіжого бурякового жому, %, (у перерахунку на сухі речовини): целюлоза — 45...47, пектинові речовини — до 50, білки — 2, цукри — 0,6...0,7, мінеральні речовини — близько 1; наявні органічні кислоти тощо. Вміст води у жомі зменшують, віджимаючи його, кількість сухих речовин при цьому досягає 18...24 до 28% [3].

Через значну вологість і вміст органічних компонентів у жомі активно розвиваються мікроорганізми, що зумовлює швидке псування, ускладнює транспортування та подальшу переробку.

Частина свіжого жому, зазвичай, використовують у тваринництві як корм, але лише протягом кількох днів, доки в жомі не розпочались процеси псування. Більшу частину зберігають у жомових ямах, де в анаеробних умовах відбувається гетероферментативне молочнокисле бродіння з утворенням кислого жому. Останній теж використовують як кормову добавку.

Порушення процесів зберігання жому в жомосховищах не лише призводить до втрат корисних компонентів, але й несприятливо впливає на навколишнє середовище, оскільки є причиною утворення неприємних запахів, що поширюються на значні території, джерелом забруднення ґрунтових вод, ґрунтів тощо.

Сушіння жому є енергозатратним (для отримання 1 кормової одиниці витрачають майже 1 кг умовного палива), супроводжується частковим руйнуванням поживних речовин (білків, вітамінів тощо), тому не може бути універсальним способом утилізації [3].

Сушений жом має низький вміст протеїну, фосфору і вітамінів. Для його збагачення використовують мелясу, карбамід, згущену післяспиртову або післядріжджову барду. Але зменшення поголів'я худоби останніми роками відповідно зменшило попит на кормові добавки такого походження.

Можливе також використання жому для отримання пектину, який має вищу комплексоутворювальну здатність порівняно з пектинами іншого походження, тобто активно зв'язує і виводить з організму важкі метали і радіонукліди. Однак суттєві енерговитрати, невідповідність якості жому потребам виробництва пектину, недосконалі технічні рішення не сприяли поширенню цієї технології в нашій країні [1; 4].

Нині в Україні для біоутилізації відходів та очищення концентрованих стічних вод (із показником хімічного споживання кисню (ХСК) понад 2 000 мг O_2 /дм³) активно застосовують екологічно виправдані й економічно доцільні технології, основою яких є анаеробний (безкисневий) процес метанового бродіння.

За даними Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП), станом на 2020 р. в Україні побудована 51 біогазова станція, загальна потужність яких майже 97 МВт. Про темпи розвитку біогазової галузі країни свідчить те, що у 2013 р. біогазових установок на сільськогосподарській сировині, що працювали за «зеленим тарифом», було лише дві з встановленою потужністю 6,9 МВт [5; 6].

Енергією, отриманою на біогазовому комплексі, можна забезпечувати виробничі потреби підприємства або ж продавати державі за «зеленим тарифом». Станом на липень 2020 р. біогаз займає 3% у структурі виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [6].

Серед підприємств, де впроваджені біогазові комплекси, є цукрозаводи, сукупні потужності яких перевищують 5 МВт. Це Теофіпольський цукровий завод, Глобинський цукровий завод, Селищанський цукровий завод тощо [6].

Активне використання такої технології переробки відходів і концентрованих стоків зумовлено передусім можливістю отримання значних кількостей біогазу, основним компонентом якого є горючий газ метан. Співвідношення між основними компонентами біогазу (метан:вуглекислий газ) коливається від 50:50 до 80:20. Вміст метану залежить від умов метаногенезу, типу субстрату, який зброджують та деяких інших факторів [7; 8].

Завдяки високому вмісту метану біогаз використовують як альтернативне джерело енергії, спалюючи його в котлоагрегатах для отримання теплової енергії, або отримують електричну енергію в когенераційних установках. Останнє є ефективнішим порівняно з іншими способами використання біогазу, особливо враховуючи можливість продажу такої електроенергії за «зеленим тарифом» [9].

Перспективним є також використання збродженої біомаси після метантенку як цінного добрива з високим вмістом біоактивних компонентів. Застосування його сприятиме покращенню структури та складу ґрунтів. Важливим також є те, що така біомаса є безпечною і може бути використана як добриво без додаткового оброблення через вибір саме термофільного режиму метанового бродіння.

Мета статті: дослідження метанової ферментації бурякового жому, що є джерелом альтернативного біопалива та збродженої анаеробної біомаси як стимулятора росту і розвитку сільськогосподарських рослин.

Матеріали і методи. Метанове зброджування бурякового жому проводили в лабораторній установці, яка складалась із метантенку, загальним об'ємом 4 дм³, і газгольдера водяного типу для накопичення та зберігання біогазу. Температурний

режим бродіння — термофільний, тобто в термостаті, в якому був розміщений метантенк, дотримувалась температура $45 \pm 1^\circ\text{C}$. Така температура надає можливість забезпечити високу швидкість процесу метаногенерації і водночас не є занадто енергозатратною, порівняно із вищими температурними показниками метанового бродіння. Режим культивування — періодичний.

Утворений у метантенку біогаз через гумову трубку надходив у газгольдер. Об'єм біогазу визначали за об'ємом води, яка була витіснена біогазом у приймальну колбу. Вміст метану CH_4 в біогазі вимірювали, пропускаючи газ із газгольдера через водний розчин гідроксиду натрію (концентрація 10%).

Величину показника рН контролювали з використанням портативного рН-метра лабораторного рН-305.

Для дослідження стимулювального впливу збродженої біомаси після метантенка на проростання зерна використовували розчин із суміші цієї біомаси і водо-провідної води. Визначали висоту проростків, довжину корінців; розраховували показник енергії пророщування зерна. Показники процесів визначали за стандартними методиками [10; 11].

Результати досліджень. На кафедрі екологічної безпеки та охорони праці Національного університету харчових технологій проводяться дослідження з використання процесу метанової ферментації для утилізації рослинних відходів, у тому числі бурякового жому цукрових заводів.

Буряковий жом із жомосховища завантажували в метантенк, розміщений у термостаті. Бродіння відбувалось у періодичному режимі при $45 \pm 1^\circ\text{C}$. Для бродіння використали анаеробний активний мул із Юзефо-Миколаївської біогазової станції (Вінницька область). Доза завантаження бурякового жому становила 10% від загального об'єму культуральної маси.

У процесі метанового бродіння відбувається поступове розкладання компонентів жому анаеробними мікроорганізмами, що складають основу анаеробного активного мулу. Зважаючи на складність компонентів жому для біотрансформації мікроорганізмами мулу, процес є досить тривалим у часі.

Хід метанового бродіння контролювали за такими показниками: вміст сухих речовин (СР) жому, величина показника рН культуральної рідини, вихід біогазу, вміст метану в ньому. Результати, отримані в процесі дослідження, відображені на рис. 1.

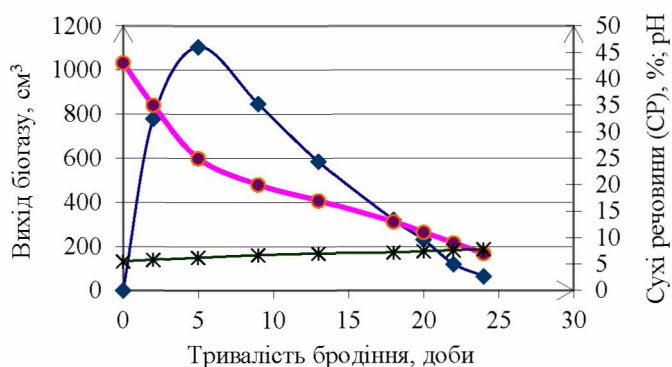


Рис. 1. Вихід біогазу та зміна концентрації сухих речовин бурякового жому і рН культуральної рідини при метановому бродінні

Тривалість метанового бродіння бурякового жому — 24 доби, що пояснюється особливостями складу збродженого субстрату, зокрема високим вмістом складних для біотрансформації органічних компонентів, передусім целюлози, геміцелюлози, пектинових речовин тощо.

Ефективність біотрансформації сухих речовин бурякового жому наприкінці збродження становила 83,7%. Величина показника рН біомаси зросла від 5,5 до 7,8, тобто «закисання» субстрату в метантенку не відбувалось, а отже, процес бродіння відбувався без відхилень.

Інтенсивність газогенерації була високою, про що свідчить вихід біогазу в кількості 370 дм³/кг сухих речовин бурякового жому, завантаженого в метантенк. Для утвореного біогазу характерним був досить високий вміст горючого газу метану (до 65...67%). Такий біогаз цілком допустимий до використання як альтернативне паливо для забезпечення теплових потреб метантенку або для виробництва електричної енергії.

Через 17...18 діб інтенсивність метаногенезу суттєво падає через те, що вже відбулась біотрансформація більшості сухих речовин бурякового жому. Подальше продовження бродіння стає економічно недоцільним через низький вихід біогазу і великі енерговитрати на підтримання температурного режиму в метантенку.

У біомасі з метантенку визначені досить високі концентрації біологічно активних речовин, перш за все вітамінів групи В. Вміст цианкобаламіну (вітаміну В12) становив 15...17 мкг/г сухих речовин. Також ця біомаса багата на азотні, фосфорні, калійні тощо компоненти, що робить її особливо цінною при стимулюванні росту і розвитку рослин. Важливим є те, що при термофільному режимі в анаеробних умовах біомаса звільнена від гельмінтів, термочутливих патогенних мікроорганізмів, а насіння бур'янів втратило здатність до проростання. Тому така зброджена анаеробна біомаса є ефективною добавкою як добриво для сільськогосподарських рослин, а також стимулятором їх росту і розвитку.

Насіння овочевих культур відрізняється біологічною різноманітністю, і тому для них, зазвичай, характерні різні періоди проростання, сили росту і реакції на несприятливі умови вирощування. Через це рослини розвиваються нерівномірно, що призводить до зниження врожайності.

На сучасному етапі розвитку овочівництва якості насіння для посадки надають особливого значення, тому використовують різні способи його передпосівної обробки, які мають на меті підвищення інтенсивності проростання рослин, стимулювання росту і розвитку рослин, урівноваження різноманітності рослин за силою росту і здатністю до проростання, посилення здатності протистояти несприятливим факторам навколишнього середовища.

Способи передпосівної обробки насіння поділяють на три типи: механічні, фізичні та хімічні. Традиційні способи, зазвичай, мають недоліки через досить значну енерго- чи ресурсовитратність, значну тривалість процесу обробки, застосування хімічних складових або фізичних факторів, які можуть негативно вплинути на показники якості і безпеки рослин. Тому були проведені дослідження із застосування збродженої біомаси з метантенку як стимулятора росту зерен гороху посівного *Pisum sativum*.

Для обробки насіння зерен гороху посівного використовували біологічно активний розчин, отриманий розведенням збродженої біомаси (10 см³ водопровідної води на 2 см³ збродженої біомаси). Зерна гороху посівного замочували в отриманому роз-

чині 40 хв (співвідношення кількості зерна до біоактивного розчину 100:1). Паралельно проводили контрольне дослідження, для цього замочували зерно гороху посівного у водопровідній воді за аналогічних умов.

Оброблене зерно гороху поміщали на рівномірно розподілений шар піску в чашках Петрі, попередньо прокип'ячених протягом 40 хв і продезінфікованих спиртом етиловим. Попередня обробка піску передбачала кількаразове промивання дистильованою водою, підсушування в сушильній шафі і просіювання для видалення небажаних домішок.

У чашки Петрі клали по 25 зернин гороху посівного і пророщували за температури 20°C, щоденно їх зволожуючи. Через дві доби від початку обробки щоденно вимірювали висоту проростків зернин і довжину корінців. Отримані результати наведені, відповідно, на рис. 2 та 3.

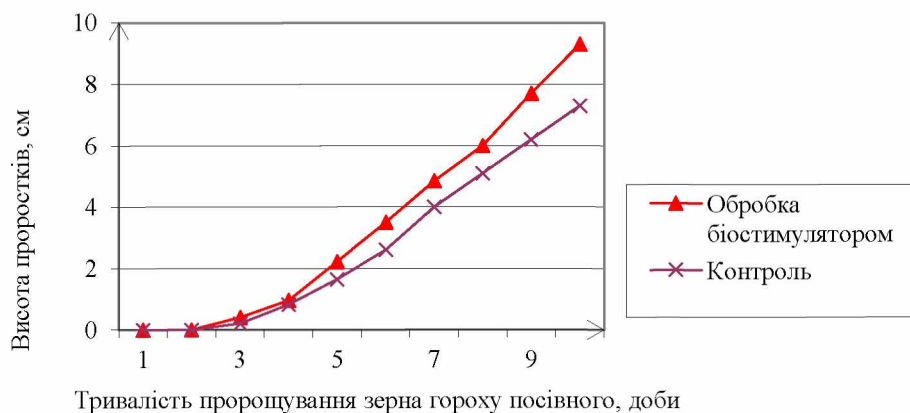


Рис. 2. Висота проростків зерна гороху посівного при попередній обробці біостимулятором і без нього (контроль)

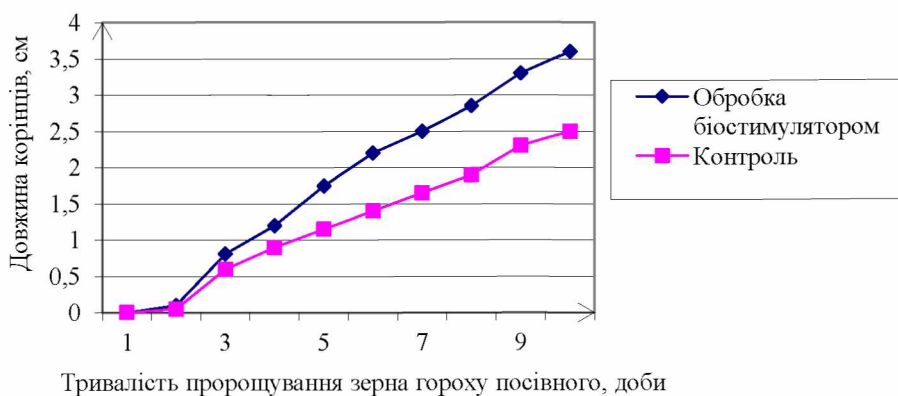


Рис. 3. Довжини корінців зерна гороху посівного при попередній обробці біостимулятором і без нього (контроль)

Була поражена кількість пророслих зернин гороху посівного через 72 год від початку процесу пророщування. За отриманими даними розрахована енергія пророщування (тобто дружність появи нормальних проростків насіння після трьох днів пророщування і виражена у відсотках) [12]. Для нативного зерна (необробленого біостимулятором, а лише замоченого у водопровідній воді) цей показник досягнув 73%, для зерна, обробленого біостимулятором — 95%.

Оброблення зерна гороху посівного біоактивним розчином зумовило прискорений ріст проростків (на 23...32%), корінців (на 22...28%), енергія проростання збільшилась на 23,2% порівняно з контрольним дослідом. Отримані результати свідчать про перспективність використання розчинів збродженої біомаси для стимулювання росту і розвитку зерна посівних культур.

Висновки. Отже, метанова ферментація відходу цукрової промисловості — бурякового жому, комплексно вирішує питання його утилізації, адже надає можливість ліквідувати цей багатотонажний відхід, одночасно забезпечуючи значний вихід біогазу (370 дм³ з 1 кг сухих речовин бурякового жому) з високим вмістом метану (65...67%), який використовують для виробництва теплової або електричної енергії.

Також утворюється зброджена анаеробна біомаса, яка є цінним добривом і стимулятором росту та розвитку сільськогосподарських культур, адже суттєво покращує параметри проростання зерна (доведено збільшення енергії проростання на 23,2%).

ЛІТЕРАТУРА

1. Мартинюк А. С., Пастух Г. С. Актуальні напрями утилізації відходів цукрового виробництва // Екологічні науки. — 2019. — № 2(25). — С. 187—190. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-31>.
2. Аналіз діяльності підприємства «Ukrainian Sugar Company» (Розробка технологій утилізації відходів цукропереробного заводу). — URL: https://www.onaft.edu.ua/download/konfi/2020/all-ukrainian_student_scientific_works_tep/Production_wastes.pdf (дата звернення 30.06.2021).
3. Перспективи використання побічних продуктів цукрового виробництва / О. Восцька, І. Чернега, О. Цюндик [та ін.] // Зернові продукти і комбікорми. — 2018. — Т. 18, № 1. — С. 37—43. URL: <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/gpmf/article/view/892>.
4. Сучасні напрямки утилізації бурякового жому. — URL: <https://m.diamantsugar.com.ua/ua/articles/sychasn-napryamki-vikoristannya-ta-utylizats-byryakovogo-zhomy> (дата звернення 30.06.2021).
5. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Новини. URL: <http://saee.gov.ua/uk/news/2270> (дата звернення 30.06.2021).
6. Agravery: аграрне інформаційне агентство. Топ-6 виробників біогазу в Україні. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/nazvano-top-6-virobnikiv-biogazu-v-ukraini> (дата звернення 30.06.2021).
7. Effect of silage maize plant density and plant parts on biogas production and composition / P. Fuksa, J. Hakla, P. Michal [et al.] // Biomass and Bioenergy. — 2020. — Vol. 142. — P. 105—112. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105770>.
8. Effect of temperature on sncreasing biogas production from sugar industrial wastewater treatment by UASB process in pilot scale / L. Artsupho, P. Jutakradsada, A. Laungphairojana [et al.] // Energy Procedia. — 2016. — Vol. 100. — P. 30—33. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.143>.
9. Hengeveld E. Biogas infrastructures from farm to regional scale, prospects of biogas transport grids / E. Hengeveld, J. Bekkering, W. Gemert // Biomass and Bioenergy. — 2016. — Vol. 86. — P. 43—52. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.01.005>.
10. Муравьев А. Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. — Санкт-Петербург: Крисмас, 2010. — 248 с.
11. Семенова О. І., Бублієнко Н. О. Природоохоронні технології та обладнання: лабораторний практикум. — К.: НУХТ, 2019. — 55 с. URL: <http://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDownloadForm?docid=379672>.

12. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ 4138 — 2002. — [Чинний від 28 грудня 2002 р.] — Київ: Держспоживстандарт України, 2003. — 148 с.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАНОВОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ

Н. А. Бублиенко, Е. И. Семенова

Национальный университет пищевых технологий

*Для сахарной промышленности характерно образование большого количества разнообразных по составу и свойствам отходов, из которых одним из крупнейших по объемам является жом сахарной свеклы. В статье приведены анализ традиционных способов утилизации свекловичного жома, исследования метанового брожения свекловичного жома в периодическом режиме, определение энергетического потенциала данного субстрата, исследования стимулирующей активности сброженной анаэробной биомассы на развитие зерен гороха посевного *Pisum sativum*. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования растворов сброженной биомассы для стимулирования роста и развития зерен посевных культур.*

Ключевые слова: жом сахарной свеклы, биогаз, биоудобрение, стимуляция растений.