

УДК 664.1, 579.2

**БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕРОБКИ БУРЯКОВОГО ЖОМУ
НА БІОЕТАНОЛ**

Кузнєцова І. В., с.н.с., д.с.-г.н.,
завідувачка відділу технології цукру, цукропродуктів та інгредієнтів,
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Хомічак В. Л., с.н.с.
відділу технологій продуктів бродіння,
<https://orcid.org/0009-0002-0593-9757>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-10>

Предмет. Лігніноцелюозна та цукровмісна сировина. Дослідження способів використання біопотенціалу бурякового жому як лігніноцелюлозовмісної сировини для виробництва біоетанолу. **Мета.** Аналіз наукових даних щодо використання біопотенціалу бурякового жому для виробництва біопалива. **Методи.** Аналітичний. **Результати.** У біотехнології біомаса та сахароза зазвичай переробляються за допомогою одного з трьох методів: анаеробного дигерування, ферментації або ферментативних реакцій. Отже, буряковий жом є гарною сировиною для виробництва як біогазу (що містить переважно CH_4 , CO_2 та N_2 , H_2S , NH_3) так і водню, біоетанолу, біобутанолу та молочної кислоти. Біотехнологічні процеси включають підготовку сировини, яка ґрунтується на механічних, фізико-хімічних, ферментативних або хімічних процесах з метою отримання суміші вуглеводів як мікробіологічного середовища. Впровадження біотехнологій з перетворення жому бурякового як лігніноцелюлозовмісної сировини в біоетанол є альтернативою вуглецевмісному паливу для транспортних засобів. Вихід біоетанолу з жому бурякового становить 0,1 г/г сухої маси. Правильна підготовка сировини та науково обґрунтоване застосування біотехнологічних процесів сприятиме усуненню основної проблеми цукрових заводів – сезонності виробництва. Крім того, одним з продуктів біотрансформації м'яси також буде отримання зрізженого оксиду вуглецю та м'ясної барди. Ферментативний гідроліз є екологічно чистим і водночас високоякісним. Це сприяло впровадженню мікробного оцукрення сировини, яка полягає у виробництві ферментів, що руйнують лігніноцелюлозу. При мікробіологічному гідролізі часто використовуються штами цвілі, які вивільняють моносахариди з полісахаридного субстрату. Значні переваги використання мікроорганізмів у біохімічних процесах надаються високій селективності ферментів та м'яким умовам протікання реакції, що сприятиме виробництву конкурентоспроможних продуктів з високим виходом. **Сфера застосування результатів.** Цукробурякова галузь.

Ключові слова: буряковий жом, м'яса, біоетанол, ферментативний гідроліз, штами мікроорганізмів

BIOTECHNOLOGICAL ASPECTS OF PROCESSING BEET PULP INTO BIOETHANOL

Inha Kuznietsova, D-r of Sc., Engineering, Senior Researcher,
Head of Department of Sugar Technology, Sugar Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Volodymyr Khomichak, Senior Researcher
of Department of Technologies of Fermentation Products.
<https://orcid.org/0009-0002-0593-9757>

Institute of Food Resources NAAN, Kyiv, Ukraine

Subject. Linoleic and sugar-containing raw materials. Research on methods of using the biopotential of beet pulp as a lignin-cellulose-containing raw material for the production of bioethanol. **Methods.** Analytical. **Results.** In biotechnology, biomass and usually sucrose processed using one of three methods: anaerobic digestion, fermentation, or enzymatic reactions. So, beet pulp is a good raw material for the production of both biogas (containing mainly CH_4 , CO_2 and N_2 , H_2S , NH_3) and hydrogen, bioethanol, biobutanol and lactic acid. Biotechnological processes include the preparation of raw materials, which based on mechanical, physicochemical, enzymatic or chemical processes in order to obtain a mixture of sugars as a microbiological environment. The introduction of biotechnologies for the

transformation of beet pulp as a lignin-cellulose-containing raw material into bioethanol is an alternative to carbon-containing fuel for vehicles. The yield of bioethanol from beet pulp is 0.1 g/g of dry weight. Correct preparation of raw materials and scientifically based application of biotechnological processes will contribute to the elimination of the main problem of sugar factories – seasonality of production. In addition, one of the products of biotransformation of molasses will also be liquefied carbon monoxide and molasses bard. Enzymatic hydrolysis is environmentally friendly and at the same time high-cost. This contributed to the introduction of microbial saccharification of raw materials, which consists in the production of enzymes that destroy lignin cellulose. Microbiological hydrolysis often uses mold strains that release monosaccharides from the polysaccharide substrate. Significant advantages of using microorganisms in biochemical processes provided by high selectivity of enzymes and mild reaction conditions, which will contribute to the production of competitive products with high yield. **Scope of results.** Sugar beet industry.

Key words: beet pulp, molasses, bioethanol, enzymatic hydrolysis, strain of microorganisms.

Постановка проблеми. Біоетанол – це біологічне паливо, яке має високе октанове число і зазвичай використовується в транспортному секторі (етил третин-бутиловий етер (ЕТБЕ)). Паливний біоетанол, на відміну від харчового спирту, можна одержувати з целюлози та рослинних відходів сільського господарства. Однак, технологія паливного біоетанолу вимагає додаткового зневоднення продукту, оскільки внаслідок присутності 4% води в дистиляті відбуватиметься розшарування спирто-бензинової суміші.

Виробництво біоетанолу зростає і перевищило 47 млрд. л, з яких в Бразилії отримують 38% і в США – 36%. У США біоетанол виробляють із кукурудзи, у Бразилії – із цукрової тростини. Незважаючи на те, що американський уряд надав виробникам податковий кредит (не субсидії) до \$0,51 за галон етанолу, бразильський продукт є дешевшим через низьку заробітну плату збирачів цукрової тростини. Найбільшими виробниками біоетанолу в США є компанії Archer Daniels Midland і Cargill. За даними Асоціації поновлюваних видів палива (RFA), близько ста американських заводів із виробництва спирту виробляють більше 17 млрд. л/рік. У RFA розраховують, що 18 додаткових заводів, споруджуваних у США, додадуть близько 3,4 млрд л до річного виробництва [1, 2].

Метилтретинний бутиловий етер (МТБЕ), який використовується для збільшення октанового числа, був заборонений в США і Канаді. ЕТБЕ (від 45% біоетанол і 55% ізобутіл) наразі використовуватися в багатьох країнах замість МТБЕ [7] як домішка у бензин в кількості 5%, 10% і 85%. В кількості 85% біоетанол може використовуватись в специфічних двигунах [8]. У Законі України від 23.02.06 № 3502-IV біоетанолом названо «спирт етиловий зневоднений, вироблений із біологічно поновлюваної сировини»

Середня собівартість виробництва біоетанолу "мокрим" способом у Німеччині, за даними Institut fur Weltwirtschaft Kiel (ФРН), становила в середньому для країн ЄС €0,85/л [3] (в Україні, за даними Інституту біоенергетичних культур і цукрового буряка - €0,67/л) (табл. 1).

Таблиця 1

Собівартість 1-го літру біоетанолу

Країна	Витрати на сировину, \$ дол. США	Витрати на виробництво, \$ дол. США
Цукрова тростина (Бразилія)	0,22	0,05
Кукурудза (США)	0,33	0,20
Пшениця (ЄС)	0,53	0,21
Пшениця (Україна)	0,66	0,26
Цукровий буряк (ЄС)	0,59	0,21

Джерело: FQ Light

Буряковий жом – вторинний продукт, що отримують при переробці буряків цукрових і найчастіше використовується як корм для тварин. Задля використання повного поживного потенціалу жому було розроблено біопереробну концепцію реструктуризації традиційної галузі виробництва буряків цукрових, яка включає отримання таких продуктів як пектин, фенольні сполуки та збагачений цукром гідролізат для виробництва бурштинової кислоти. Крім того, в концепції було запропоновано застосовувати нові методи отримання речовин, що ґрунтуються на підвищенні технологічної, економічної та екологічної ефективності [1, 2].

Щорічне виробництво бурякового жому в Європі становить близько 7–8 млн. тонн пресованого і близько 2–3 млн. тонн висушеного продукту [2]. Біоресурсний потенціал жому використовується на переробних підприємствах країн Європи та є одним із чинників, що зменшує викиди парникових газів та інших речовин від спалювання викопного палива. Впровадження біотехнологій з перетворення жому бурякового як лігніноцелюлозовмісної сировини в біоетанол є альтернативою вуглецевмісному паливу для транспортних засобів. Вихід біоетанолу з жому бурякового становить 0,1 г/г сухої маси [3–5]. Так, у м. Стшеліні (Польща) розташований біогазовий завод, який працює цілий рік виключно на буряковому жомі. Цукрові заводи Сербії переходять на технології другого покоління [6].

Таким чином, впровадження сучасних біотехнологічних рішень для переробки сировини другого покоління є еколого- і ресурсоощадним рішенням для цукробурякового виробництва у сучасних умовах енергобезпеки.

Об'єкт досліджень: дослідження способів використання біопотенціалу бурякового жому як лігніноцелюлозовмісної сировини для виробництва біоетанолу.

Предмет досліджень: лініно-целозна та цукровмісна сировина.

Метою роботи є аналіз наукових даних щодо використання біопотенціалу бурякового жому у виробництві біопалива.

Результати та обговорення. У біотехнології біомаса та сахароза зазвичай переробляються за допомогою одного з трьох методів: анаеробного дигерування, ферментації або ферментативних реакцій. Отже, буяковий жом є гарною сировиною для виробництва як біогазу (що містить переважно CH_4 , CO_2 та N_2 , H_2S , NH_3) так і водню, біоетанолу, біобутанолу та молочної кислоти. Біотехнологічні процеси включають підготовку сировини, яка ґрунтується на механічних, фізико-хімічних, ферментативних або хімічних процесах з метою отримання суміші вуглеводів як мікробіологічного середовища. Перетворення сахарози також можливе безпосередньо без попередньої обробки, оскільки її отримують на цукровому заводі як чисту речовину, придатну для прямого перетворення прямої конверсії, прямого використання в біотехнологічних процесах.

Незважаючи на значний потенціал, використання сахарози як сировини в біотехнологічних процесах є економічно недоцільним. Задля зниження собівартості, замість кристалічної сахарози можна використовувати проміжні продукти виробництва білого цукру, такі як сатураційний сік або сироп цукрових буряків. Однак їх використання в біотехнологічних процесах вимагає попереднього очищення від нецукрів за допомогою озонування або адсорбції на активному вуглецю.

Сухі речовини бурякового жому (до 85%) складаються з целюлози (20–30%), геміцелюлози (20–30%), лігнінів (1–2%) і пектинів (35–60%) [9, 10]. Ферментативний або кислотний гідроліз жому приводить до утворення суміші моносахаридів, що складаються з глюкози, фруктози, ксилози, манози, галактози та арабінози, а також галактуронової кислоти [3]. Блок-схема застосування вторинних продуктів цукрового виробництва у виробництві біоетанолу представлено на рисунку 1. Різні види полімерів, що містяться в побічних продуктах бурякоцукрового виробництва, таких як буяковий жом та меляса, у різних кількостях пов'язані один з одним. Розділення таких типів полімерів може бути

досягнуто за допомогою попередньої обробки для вивільнення їхньої цукрової складової. Отже, застосування лігніноцелюлозної сировини (жому) та вуглеводвмісної сировини (меляси) забезпечує стабільне виробництво ряду продуктів для енергетичного ринку.



Рис. 1. Використання вуглеводів, отриманих із біомаси

Лігнін не може легко перероблятися біохімічним чином, тому лігноцелюлозна сировина, що використовується для виробництва біоетанолу, вимагає попередньої обробки, такої як термічний, кислотний або ферментативний гідроліз. Правильна підготовка сировини та науково обґрунтоване застосування біотехнологічних процесів сприятиме усуненню основної проблеми цукрових заводів – сезонності виробництва. Крім того, одним з продуктів біотрансформації меляси також буде отримання зрідженого оксиду вуглецю та мелясної барди. Попередня обробка жому необхідна для вивільнення целюлози, геміцелюлози та лігніну з їхньої складної природної форми для подальшого ферментативного гідролізу. Попередню обробку можна проводити різними способами (рис. 1), однак первинне перетворення біомаси на цукри, що входять до її складу, є основним обмеженням.

Відомі різні способи фізико-хімічного оброблення сировини, які застосовуються на практиці для меляси та бурякового жому, що полягають в: паровому вибуху, опроміненні гамма-променями, обробці кислотою та лугом, обробці перекисом водню, застосуванні різних іонних розчинників тощо. Обробка слабкою кислотою, такою як соляна (HCl) або сірчана (H₂SO₄,) використовується для ефективного гідролізу геміцелюлозних фракцій після хімічної або ферментативної обробки для деполімеризації отриманих твердих фракцій. Для ферментативної обробки використовуються різні класи гідролітичних ферментів, які зазвичай виробляються різними нитчастими грибами. Три ферменти мають комбіновану дію на різні субстрати, що приймають участь в отриманні глюкози шляхом розщеплення целюлози, яка включає енд-β-1,4-глюканази, β-глюкозидази (β-D-глюкозидні глюконідролази) та екзо-целобіогідролази. Застосування розчину сірчаної кислоти є важливим елементом технології через перетворення геміцелюлози в зброджуваний мономер цукру та підвищує доступність целюлози для гідролізу, що каталізується екзо- та ендоглюканазами. Більш ефективним способом вважається оброблення лугом для солюбілізації (розчинення) лігніну. Водночас при обробці лугом не повністю розщеплюється геміцелюлоз через проведення процесу при відносно низькій

температурі та тиску. Оброблення вапном є більш вигідною технологією, оскільки її можна використовувати для попередньої обробки жому. Лігноцелюозна біомаса також може розкладатися за допомогою біологічної обробки або при використанні певних груп грибів (білої, бурої та м'якої гнилі). Біологічна попередня обробка, спричинена грибами білої гнилі, може використовуватися для розкладання лігніну, і вона виглядає багатообіцяючою, оскільки даний метод попередньої обробки потребує менше енергії, відповідно завдає мінімальної шкоди навколишньому середовищу.

Залежно від попиту та заданих властивостей продукту бродіння, для ферментації вуглеводів підбирають певні штами бактерій або дріжджів. Зокрема, для отримання біоетанолу застосовують дріжджі такого виду як *Saccharomyces carlsbergensis* або інших мікроорганізмів шляхом ферментації без необхідності попередньої обробки цукру. Під час ферментативного гідролізу вуглеводи розщеплюються на прості цукри, які потім ферментуються та виробляють етанол. Для цього також застосовують анаеробні бактерії, здатні перетворювати глюкозу, фруктозу та сахарозу в етанол, наприклад *Zymomonas mobilis*. Отриманий етанол може виявляти пригнічувальну дію на мікроорганізми.

Пентози також ферментують в біоетанол такими штамами як *Scheffersomyces stipitis* [11–14]. Комбіновані ферментації, що проводяться дріжджами *S. cerevisiae* і *Scheffersomyces stipitis* зазвичай використовуються в біоконверсії лігіноцелюозної сировини. Ці штами використовуються одночасно або додають послідовно в середовище, що містить суміш гексоз і пентоз, щоб перетворити доступні вуглеводи [15–18]. Відомим також є спосіб застосування під час мікробного гідролізу штаму *Trichoderma viride*, а також ферментації з використанням дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* і *Scheffersomyces stipites* [19, 20].

Значні переваги використання мікроорганізмів у біохімічних процесах обумовлені високою селективністю ферментів та м'яким умовам протікання реакції, що сприятиме виробництву конкурентоспроможних продуктів з високим виходом. Тому дослідження повинні зосереджуватися на підвищенні ефективності початкової стадії розкладання, зменшенні витрат на використання ферментів та покращенні їх повторного використання, а також важливо мінімізувати витрати на попередню обробку, гідроліз та ферментацію, забезпечити безперервну роботу всього процесу.

Висновки. Використання бурякового жому і меляси для виробництва біоетанолу дозволяє зменшити кількість відходів, залишаючи біоресурси в замкненому циклі виробництва. Біотехнологічні прийоми отримання біоетанолу з жому бурякового забезпечать розроблення екологічної технології, що сприятиме збільшенню виробничої ритмічності роботи цукрового заводу. Разом з тим, для розроблення такої біотехнології слід: удосконалити спосіб попереднього оброблення сировини, ретельно підібрати ферменти та штами мікроорганізмів для ефективного зброджування.

Бібліографія

1. CEFS Statistics 2021/22. <https://cefs.org/wp-content/uploads/2023/04/European-Sugar-Statistics-Reportfor-the-marketing-year-2021-22-1.pdf>. (дата звернення 24.12.2023).
2. FAO. Sugar Beet White Sugar Agribusiness Handbook. 2009. <https://www.fao.org/3/ae377e/ae377e.pdf>. (дата звернення 24.12.2023).
3. Bioethanol–European Biomass Industry Association. 2023. <https://www.Eubia.Org/Cms/Wiki-Biomass/Biofuels/Bioethanol>. (дата звернення 24.12.2023).
4. Bušić A., Mardetko N., Kundas S., Morzak G., Belskaya H., Ivancic Šantek M., Komes D., Novak S., Šantek B. Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review. Food Technol. Biotechnol. 2018. Vol. 56. P. 289–311. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>.
5. Prasad S., Singh A., Joshi H. C. Ethanol as an Alternative Fuel from Agricultural, Industrial and Urban Residues. Resour. Conserv. Recycl. 2007. Vol. 50, P. 1–39.
6. ErkanIcoz et al. Review: Research on ethanol production and use from sugar beet in Turkey, Biomass and Bioenergy, 2009. Vol. 33, p. 1–7.

7. Steven Cosyn, et al. Sugar beet: A complement to sugar cane for sugar and ethanol production in tropical and subtropical areas, *International Sugar Journal*, 2011. Vol.113, p. 653–658.
8. Barlog P., et al. Sugar beet response to balanced nitrogen fertilization with phosphorus and potassium, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2013. Vol.19 (№ 6) p.1311–1318.
9. Yu C., Ahmadi S., Shen S., Wu D., Xiao H., Ding T., Liu D., Ye X., Chen S. Structure and Fermentation Characteristics of Five Polysaccharides Sequentially Extracted from Sugar Beet Pulp by Different Methods. *Food Hydrocoll.* 2022. Vol. 126. P. 107–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107462>.
10. Lin Y., Tanaka S. Ethanol Fermentation from Biomass Resources: Current State and Prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2006. Vol. 69, P. 627–642.
11. Bai F.W., Anderson W.A., Moo-Young M. Ethanol Fermentation Technologies from Sugar and Starch Feedstocks. *Biotechnol. Adv.* 2008. Vol. 26, P. 89–105.
12. Liang M., Damiani A., He Q. P., Wang J. Elucidating Xylose Metabolism of *Scheffersomyces stipitis* for Lignocellulosic Ethanol Production. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2014. Vol. 2, P. 38–48.
13. Berłowska J., Cieciora-Włoch W., Kalinowska H., Kregiel D., Borowski S., Pawlikowska E., Binczarski M., Witonska I. Enzymatic Conversion of Sugar Beet Pulp: A Comparison of Simultaneous Saccharification and Fermentation and Separate Hydrolysis and Fermentation for Lactic Acid Production. *Food Technol. Biotechnol.* 2018. Vol. 56, P. 188–196. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.02.18.5390>.
14. Ferrari M. D., Neirotti E., Alborno C., Saucedo E. Ethanol Production from Eucalyptus Wood Hemicellulose Hydrolysate by *Pichia stipitis*. *Biotechnol. Bioeng.* 1992. Vol. 40, P. 753–759.
15. Karagoz P., Ozkan M. Ethanol Production from Wheat Straw by *Saccharomyces cerevisiae* and *Scheffersomyces stipitis* Co-Culture in Batch and Continuous System. *Bioresour. Technol.* 2014. Vol. 158, P. 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.022>
16. Ruchala J., Kurylenko O. O., Dmytruk K. V., Sibirny A. A. Construction of Advanced Producers of First- and Second-Generation Ethanol in *Saccharomyces cerevisiae* and Selected Species of Non-Conventional Yeasts (*Scheffersomyces stipitis*, *Ogataea polymorpha*). *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 2020. Vol. 47. P. 109–132. <https://doi.org/10.1007/s10295-019-02242-x>.
17. Unrean P., Khajeeram S. Model-Based Optimization of *Scheffersomyces stipitis* and *Saccharomyces cerevisiae* Coculture for Efficient Lignocellulosic Ethanol Production. *Bioresour. Bioprocess.* 2015. Vol. 2. P. 41. <https://doi.org/10.1186/S40643-015-0069-1>
18. Sun L., Wu B., Zhang Z., Yan J., Liu P., Song C., Shabbir S., Zhu Q., Yang S., Peng N., et al. Cellulosic Ethanol Production by Consortia of *Scheffersomyces stipitis* and Engineered *Zymomonas mobilis*. *Biotechnol. Biofuels.* 2021. Vol. 14. P. 221. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-02069-8>.
19. Thanapimmetha A., Vuttibunchon K., Saisriyoot M., Srinophakun P. Chemical and Microbial Hydrolysis of Sweet Sorghum Bagasse for Ethanol Production. In *Proceedings of the World Renewable Energy Congress–Sweden, Linköping, Sweden, 8–13 May 2011*; p. 389–396. https://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://ep.liu.se/ecp/057/vol1/052/ecp57vol1_052.pdf.
20. Patelski A. M., Dziekonska-Kubczak U., Balcerek M., Pielech-Przybylska K., Dziugan P., Berłowska J. The ethanol production from sugar beet pulp supported by microbial hydrolysis with *Trichoderma viride*. *Energies.* 2024. Vol. 17. <https://doi.org/10.3390/en17040809>.

References

1. CEFS Statistics 2021/22. <https://cefs.org/wp-content/uploads/2023/04/European-Sugar-Statistics-Report-for-the-marketing-year-2021-22-1.pdf> 24.12.2023. (date of access 24.12 2023).
2. FAO. Sugar Beet White Sugar Agribusiness Handbook. 2009. <https://www.fao.org/3/ae377e/ae377e.pdf> (date of access 24.12 2023).
3. Bioethanol–European Biomass Industry Association. 2023. <https://www.Eubia.Org/Cms/Wiki-Biomass/Biofuels/Bioethanol/> (date of access 24.12 2023).
4. Bušić, A.; Mardetko, N.; Kundas, S.; Morzak, G.; Belskaya, H.; Ivancic Šantek, M.; Komes, D.; Novak, S.; Šantek, B. (2018). Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review. *Food Technol. Biotechnol.* Vol. 56. P. 289–311. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>.
5. Prasad, S.; Singh, A.; Joshi, H. C. (2007). Ethanol as an Alternative Fuel from Agricultural, Industrial and Urban Residues. *Resour. Conserv. Recycl.* Vol. 50, P. 1–39.
6. Erkanlıcoz et al. (2009). Review: Research on ethanol production and use from sugar beet in Turkey, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 33, p. 1–7.

7. Steven Cosyn, et al. (2011). Sugar beet: A complement to sugar cane for sugar and ethanol production in tropical and subtropical areas, *International Sugar Journal*, Vol. 113, p. 653–658.
8. Barlog, P., et al. (2013). Sugar beet response to balanced nitrogen fertilization with phosphorus and potassium, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, Vol. 19 (№ 6). p. 1311–1318.
9. Yu, C., Ahmadi, S., Shen, S., Wu, D., Xiao, H., Ding, T., Liu, D., Ye, X., Chen, S. (2022). Structure and Fermentation Characteristics of Five Polysaccharides Sequentially Extracted from Sugar Beet Pulp by Different Methods. *Food Hydrocoll.* Vol. 126. P. 107–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107462>.
10. Lin, Y., Tanaka, S. (2006). Ethanol Fermentation from Biomass Resources: Current State and Prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* Vol. 69, P. 627–642.
11. Bai, F.W., Anderson, W. A., Moo-Young, M. (2008). Ethanol Fermentation Technologies from Sugar and Starch Feedstocks. *Biotechnol. Adv.* Vol. 26, P. 89–105.
12. Liang, M., Damiani, A., He, Q. P., Wang, J. (2014). Elucidating Xylose Metabolism of *Scheffersomyces Stipitis* for Lignocellulosic Ethanol Production. *ACS Sustain. Chem. Eng.* Vol. 2, P. 38–48.
13. Berłowska, J., Cieciora-Włoch, W., Kalinowska, H., Kregiel, D., Borowski, S., Pawlikowska, E., Binczarski, M., Witonska, I. (2018). Enzymatic Conversion of Sugar Beet Pulp: A Comparison of Simultaneous Saccharification and Fermentation and Separate Hydrolysis and Fermentation for Lactic Acid Production. *Food Technol. Biotechnol.* Vol. 56, P. 188–196. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.02.18.5390>.
14. Ferrari, M. D., Neirotti, E., Alborno, C., Saucedo, E. (1992). Ethanol Production from Eucalyptus Wood Hemicellulose Hydrolysate by *Pichia Stipitis*. *Biotechnol. Bioeng.* Vol. 40, P. 753–759.
15. Karagoz, P., Ozkan, M. (2014). Ethanol Production from Wheat Straw by *Saccharomyces Cerevisiae* and *Scheffersomyces Stipitis* Co-Culture in Batch and Continuous System. *Bioresour. Technol.* Vol. 158, P. 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.022>.
16. Ruchala, J., Kurylenko, O. O., Dmytruk, K. V., Sibirny, A. A. (2020). Construction of Advanced Producers of First- and Second-Generation Ethanol in *Saccharomyces Cerevisiae* and Selected Species of Non-Conventional Yeasts (*Scheffersomyces Stipitis*, *Ogataea Polymorpha*). *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* Vol. 47. P. 109–132. <https://doi.org/10.1007/s10295-019-02242-x>.
17. Unrean, P., Khajeeram, S. (2015). Model-Based Optimization of *Scheffersomyces Stipitis* and *Saccharomyces cerevisiae* Coculture for Efficient Lignocellulosic Ethanol Production. *Bioresour. Bioprocess.* Vol. 2. P. 41. <https://doi.org/10.1186/S40643-015-0069-1>.
18. Sun, L., Wu, B., Zhang, Z., Yan, J., Liu, P., Song, C., Shabbir, S., Zhu, Q., Yang, S., Peng, N., et al. (2021). Cellulosic Ethanol Production by Consortia of *Scheffersomyces Stipitis* and Engineered *Zymomonas Mobilis*. *Biotechnol. Biofuels.* Vol. 14. P. 221. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-02069-8>.
19. Thanapimmetha, A., Vuttibunchon, K., Saisriyoot, M., Srinophakun, P. Chemical and Microbial Hydrolysis of Sweet Sorghum Bagasse for Ethanol Production. In *Proceedings of the World Renewable Energy Congress–Sweden*, Linköping, Sweden, 8–13 May 2011. p. 389–396. https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ep.liu.se/ecp/057/vol1/052/ecp57vol1_052.pdf
20. Patelski, A. M., Dziekonska-Kubczak, U., Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K., Dziugan, P., Berłowska, J. (2024). The ethanol production from sugar beet pulp supported by microbial hydrolysis with *Trichoderma viride*. *Energies.* Vol. 17. <https://doi.org/10.3390/en17040809>.