

## Бактерії, які розкладають лігнін у біопаливо

Лігнін є одним із найважливіших природних гетерополімерів, який може замінити нафтові продукти, оскільки він є високовідновлюваним джерелом вуглецю в біосфері. Він складається з трьох різних типів мономерних спиртів, а саме коніферилового спирту, кумарилового спирту та синапілового спирту [1]. Деполімеризація лігніну має вирішальне значення для утилізації лігніну, і цей процес відбувається через природні мікробні системи та ферменти, що розкладають лігнін, які виділяють мікроорганізми. Найефективними є гриби та бактерії, які розкладають лігнін. Серед грибів — це представники білої гнилі *Ascomycetes* і *Basidiomycetes*. Бактерії, які здатні розкладати лігнін, відносяться до філумів *Actinobacteria*, *Firmicutes* і *Proteobacteria*, які виділені з ґрунту, кишківника, стічних вод і деревини [2]. Хоча бактерії менш ефективні порівняно з грибами щодо розкладання лігніну, але адаптація у них до навколишнього середовища є набагато вищою, ніж у грибів. Бактерії ростуть, використовуючи лігнін як субстрат у присутності або за відсутності кисню та виділяють лігнінолітичні ферменти з отриманням ліпідів, фурфуролу, ваніліну, полігідроксибутирату і інших біоматеріалів [2]. Проте участь у даному процесі бактерій, які утворюють біопаливо при деградації лігніну представлено не так широко.

Метою роботи є огляд біорізноманіття бактерій, що розкладають лігнін у біопаливо.

Рідке та газоподібне біопаливо з лігноцелюлозної біомаси можливо отримати в процесі біоконверсії анаеробним угрупованням мікроорганізмів. Метаногенне мікробне угруповання перетворює ароматичні речовини, отримані з лігніну, на метан під час процесу анаеробного зброджування. Анаеробні бактерії каталізують перетворення лігніну на вуглекислий газ і метан в результаті трьох етапів: видалення метоксильної групи, розщеплення ароматичного кільця та утворення метану [3]. Для отримання метану з лігноцелюлозної біомаси (трави каллару, рисового лушпиння і залишків пшениці) використовували мікробний консорціум, який належав до різних філумів: *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Euryarchaeota* та *Chloroflexi* [4].

Із зразків лісового ґрунту виділено факультативний анаероб *Enterobacter lignolyticus*, який у процесі розщеплення лігніну легко розмножувався, використовуючи лужний лігнін як основне джерело вуглецю. З осаду паперової та целюлозної фабрик виділено *Acetoanaerobium* sp., який виробляв ароматичні сполуки, отримані з лігніну, такі як ферулова кислота та синрингова кислота, шляхом окислення крафт-лігніну [5]. Універсальність ферментів і унікальні метаболічні шляхи сприяють застосуванню екстремофільних бактерій для розкладання та утилізації лігніну. Пероксидаза, що виділяється екстремофілом *Thermobifida* sp., деградовані та окислені

арилефірні зв'язки сполуки лігніну [6].

Анаеробні термофільні бактерії *Clostridium thermocellum* значно зменшували зв'язки  $\beta$ -О-4 лігніну та збільшували співвідношення сірінгіла до гваяцилу, використовуючи відповідно тверду деревину. Отримання цінних органічних кислот, вуглеводів, ароматичних речовин продукуються анаеробними термофілами роду *Caldicellulosiruptor* sp., які ефективно деполімеризують рисову соломку за відсутності процесу попередньої обробки. Подібним чином мезофільні бактерії роду *Arthrobacter* sp. деполімеризували лігнін і виробляли альдегіди, ароматичні сполуки, кислоти та спирт наприкінці процесу [7].

Для отримання біодизеля використовують ліпіди, які одержують у процесі біоконверсії лігніну ячмінної соломи *Rhodococcus* sp. YHY01 [8].

Отже, біоконверсія лігноцелюлозної сировини, якими є відходи сільськогосподарського виробництва, деревні відходи від лісового господарства, харчові відходи й інші, мікробними угрупованнями в біопаливо є альтернативною заміною викопного палива для зменшення впливу традиційного палива на навколишнє середовище.

### Список використаних джерел

1. Xu Z., Lei P., Zhai R., et al. Recent advances in lignin valorization with bacterial cultures: microorganisms, metabolic pathways, and bio-products // *Biotechnology for Biofuels*. — 2019. — Vol. 12, article no. 32. <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1376-0>
2. Reshmy R., et al. Microbial valorization of lignin: Prospects and challenges // *Bioresource Technology*. — 2022. — Vol. 344, Part A, 126240. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126240>
3. Muhammad Usman Khan, Birgitte Kiaer Ahring Lignin degradation under anaerobic digestion: Influence of lignin modifications — A review // *Biomass and Bioenergy*. — 2019. — Vol. 128, 105325. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105325>
4. Shehbaz Ali, Mudasar A. Dar, et al. Optimization of biomethane production from lignocellulosic biomass by a developed microbial consortium // *Process Safety and Environmental Protection*. — 2024. — Vol. 184. — P. 1106–1118. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.02.037>
5. Qing Zhang, Jing Zhang, Shuai Zhao, et al. Enhanced Biogas Production by Ligninolytic Strain *Enterobacter hormaechei* KA3 for Anaerobic Digestion of Corn Straw // *Energies*. — 2021. — Vol. 14, 2990 <https://doi.org/10.3390/en14112990>
6. Grgas D., Rukavina M., Bešlo D. The Bacterial Degradation of Lignin — A Review // *Water*. — 2023. — Vol. 15 (7), 1272. <https://doi.org/10.3390/w15071272>
7. Yi Xiong, Yaru Zhao, Kuikui Ni, Yue Shi, Qingfang Xu Characterization of Ligninolytic Bacteria and Analysis of Alkali-Lignin Biodegradation Products // *Polish Journal of Microbiology*. — 2020. — Vol. 69, No. 3. — P. 339–347. <https://doi.org/10.33073/pjm-2020-037>
8. Shashi Kant Bhatia, Ranjit Gurav, Tae-Rim Choi, et al. Bioconversion of barley straw lignin into biodiesel using *Rhodococcus* sp. YHY01 // *Bioresource Technology*. — 2019. — Vol. 289, 121704. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121704>



Co-funded by  
the European Union

Фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені думки та погляди належать лише авторам і не обов'язково передають погляди Європейського Союзу або Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури. Ні Європейський Союз, ні орган, що надає грант, не можуть нести за них відповідальність.