

Section: Biology and Microbiology

МІКРОВОДОРСТІ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ ПРОДУЦЕНТ БІЛКА

Фроленко Наталія

здобувачка вищої освіти бакалаврського рівня

Юлевич Олена

к.т.н., доцент

Кафедра біотехнології та біоінженерії

Миколаївський національний аграрний університет, Україна

З огляду на зростання попиту на білок і необхідність зменшення негативного впливу на довкілля, мікрородорості привертають все більшу увагу дослідників. Традиційне виробництво білкової сировини потребує значних площ, великої кількості води та супроводжується високими викидами парникових газів, тоді як мікрородорості здатні забезпечувати високу продуктивність за мінімального використання ресурсів. І хоча вони достатньо добре вивчені об'єкти та активно використовуються у різних галузях, переважна більшість видів залишається недостатньо дослідженою, а їх промислове застосування обмежується технологічними труднощами та високою собівартістю виробництва.

Мікрородорості – це одноклітинні організми, здатні за допомогою фотосинтезу перетворювати сонячну енергію на хімічну, використовуючи CO₂ як джерело вуглецю. Вони вирізняються більш ефективним засвоєнням світлової енергії порівняно з наземними рослинами [1].

Амінокислотний профіль багатьох видів близький до еталонного, рекомендованого міжнародними організаціями. Особливо це стосується представників родів *Arthrospira*, *Dunaliella* та *Galdieria*.

Вміст протеїну та амінокислот значною мірою визначаються як видом, так і умовами культивування. Загалом частка сирого білка може коливатися в межах 30–80% сухої маси: наприклад, *Chlorella vulgaris* містить близько 51–58%, *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* – 60–71%, *Tetraselmis chui* – 31–46%, *Nannochloropsis oceanica* – 35–44%, *Dunaliella salina* – до 80%, а *Galdieria sulphuraria* – близько 62%. Таким чином, за вмістом білка мікрородорості часто перевищують традиційні продукти, такі як молочні порошки, соя, м'ясо чи риба. Але пряме використання біомаси як одноклітинного білка обмежується її засвоюваністю [2].

Різноманіття мікрородоростей надзвичайно велике – оцінюється від десятків тисяч до мільйонів видів, хоча у практиці найчастіше використовують лише кілька, зокрема *Chlorella vulgaris* та *Arthrospira platensis*, завдяки їх доступності та добре вивченим властивостям.

Спіруліна (*Arthrospira platensis*) є ниткоподібною ціанобактерією, що розвивається переважно у лужних водоймах із рН близько 9,5–11. Найкращими

умовами для її росту є теплі солонуваті води тропічних регіонів. Її біологічна цінність зумовлена багатим складом: вона містить у значній кількості білок (до 60–70%), незамінні амінокислоти (лейцин, ізолейцин, валін, метіонін, лізин), поліненасичені жирні кислоти, вітаміни групи В, провітамін А, залізо, а також антиоксидантні пігменти, такі як каротиноїди та фікоціанін.

Хлорела (*Chlorella vulgaris*), на відміну від спіруліни, є зеленою мікроводорістю, що мешкає переважно у прісній воді та має розміри близько 2-10 мкм. Представники роду *Chlorella* відзначаються здатністю адаптуватися до різних типів стічних вод і ефективно вилучати з них поживні речовини. Вона може вирощуватися різними способами – автотрофно, гетеротрофно або міксотрофно. У її складі також присутні хлорофіли, каротиноїди, вітамін Е та вітаміни групи В [3].

Важливою перевагою мікроводоростей є їх невибагливість до ресурсів: культивування відбувається без використання орних земель, із застосуванням солоної або стічної води, що знижує конкуренцію з продовольчими культурами та зменшує споживання прісної води. Крім того, вони активно беруть участь у зв'язуванні вуглецю, поглинаючи CO₂ у процесі фотосинтезу, що відкриває можливості для інтеграції з технологіями зменшення викидів парникових газів.

Тим не менш, для повної реалізації потенціалу мікроводоростей у виробництві білка необхідно подолати низку проблем. Серед ключових завдань – підвищення швидкості росту та інтенсивності синтезу білка шляхом оптимізації освітлення, поживного середовища та умов культивування. Також важливим є вдосконалення процесів збору біомаси, її зневоднення та подальшої переробки для підвищення економічної ефективності [4].

Створення високоефективних штамів є ключовою умовою розвитку біотехнологій на основі мікроводоростей. Як модельні організми широко використовують різні види мікроводоростей, зокрема *Synechococcus* sp., *Chlamydomonas reinhardtii* та *Microcystis aeruginosa*. Вони добре вивчені, мають секвензовані геноми та доступний інструментарій для генетичних модифікацій. Формування ефективних клітинних платформ зазвичай базується на трьох підходах: посиленні власних метаболічних шляхів, інтеграції чужорідних генів і створенні нових синтетичних метаболічних маршрутів. Важливими завданнями є також покращення ростових характеристик, ефективності використання світла, фіксації вуглецю та стійкості до стресових факторів [5, с.5].

Адаптивна лабораторна еволюція (АЛЕ) є ефективним підходом для формування бажаних фенотипів і підвищення стійкості до різних стресів або нових джерел вуглецю. Метод дозволяє обійти обмеження генетичного фону, поступово спрямовуючи еволюційні зміни в популяції.

Ще одним підходом є індукований мутагенез, який передбачає обробку клітин фізичними або хімічними агентами для створення генетичної різноманітності з подальшим відбором корисних варіантів. Цей метод дозволяє швидко отримувати великі бібліотеки мутантів із покращеними властивостями, наприклад підвищеним вмістом ліпідів або пігментів [5, с.6].

Перетасування геному є ще одним інструментом покращення штамів, що поєднує генетичні характеристики різних батьківських форм. Процес включає отримання протопластів, їх злиття та подальший відбір рекомбінантів із бажаними ознаками. Такий підхід дає змогу накопичувати корисні мутації та суттєво покращувати продуктивність, зокрема синтез цільових сполук.

Генна інженерія відкриває можливості для цілеспрямованої модифікації мікроводоростей. Завдяки секвенуванню геномів і розвитку молекулярних інструментів стало можливим точне конструювання клітинних фабрик [5, с.7].

Сучасні технології редагування геному, такі як CRISPR/Cas9, значно перевершують традиційні методи за точністю та ефективністю. Вони дають змогу здійснювати цільові зміни в геномі, регулювати експресію генів або повністю вимикати окремі ділянки ДНК [5, с.8].

Для того, аби використовувати мікроводорості у виробничих цілях необхідно дотримуватись суворо контрольованих умов. Але цим вимогам інколи приділяють недостатню увагу, і в наукових роботах часто припускається можливість одночасного використання мікроводоростей для кормових цілей і очищення відходів, багатих на неорганічні поживні речовини, що є можливим в окремих випадках.

Також незважаючи на значний потенціал, масштабне виробництво мікроводоростей поки що стримується високими витратами. Однією з ключових причин є складність збору біомаси. Через малий розмір клітин і низьку концентрацію культури процеси відокремлення та зневоднення є енергоємними й дорогими.

Окрему складність становить вихід продуктів із мікроводоростей на ринок харчових інгредієнтів, особливо в Європі. Тут необхідно відповідати суворим вимогам законодавства щодо нових харчових продуктів, що гарантує високий рівень безпеки. Процедура отримання дозволу є тривалою (до кількох років) і дорогою, що створює серйозні бар'єри для малих і середніх підприємств. У результаті наразі лише обмежена кількість видів і продуктів із мікроводоростей мають офіційне схвалення для використання в харчовій промисловості [2].

Отже, мікроводорості є перспективним джерелом білка, що поєднує високу поживну цінність із екологічними перевагами вирощування. Завдяки здатності ефективно засвоювати CO₂, невибагливості до ресурсів і можливості культивування в різних умовах, вони становлять вагомий альтернативу традиційним білковим джерелам. Водночас їх широке впровадження у виробництво обмежується низкою технологічних і економічних факторів, зокрема складністю обробки біомаси, високими витратами та регуляторними бар'єрами. Подальший розвиток цієї галузі пов'язаний із удосконаленням методів культивування, селекції та генетичної модифікації штамів, що дозволить підвищити продуктивність і знизити собівартість продукції. Таким чином, за умови вирішення існуючих проблем мікроводорості можуть зайняти важливе місце у забезпеченні сталого виробництва харчових і біотехнологічних продуктів.

Список використаних джерел

1. Razzak S. A., Bahar K., Islam K. M. O., Haniffa A. K., Faruque M. O., Hossain S. M. Z., Hossain M. M. Microalgae cultivation in photobioreactors: sustainable solutions for a greener future. *Green Chemical Engineering*. 2024. Vol. 5, № 4. P. 418–439. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666952823000584>
2. Janssen M., Wijffels R. H., Barbosa M. J. Microalgae based production of single-cell protein. *Current Opinion in Biotechnology*. 2022. Vol. 75. Article 102705. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958166922000325>
3. Właźlak S., Biesek J. *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* in poultry nutrition – a review of current research and potential opportunities. *Poultry Science*. 2025. Vol. 104, Issue 9. Article 105456. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257912500700X#bib0105>
4. Ali S. S., Al-Tohamy R., Al-Zahrani M., Schagerl M., Kornaros M., Sun J. Advancements and challenges in microalgal protein production: a sustainable alternative to conventional protein sources. *Microbial Cell Factories*. 2025. URL:<https://doi.org/10.1186/s12934-025-02685-1>
5. Li Z., Li C., Liu H. et al. Біосинтез мікробіодоростей з посиленням CRISPR: перспективний підхід для майбутніх функціональних кормових інгредієнтів // *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2026. Vol. 17. Article 53. URL:<https://link.springer.com/article/10.1186/s40104-026-01367-1>

ЕКОЛОГО-ФАУНІСТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОДИНИ CORVIDAE В УМОВАХ РІЗНИХ БІОТОПІВ МІСТА ЖИТОМИРА

Рибчинська Наталія
здобувач вищої освіти
Романюк Руслана

доктор педагогічних наук, кандидат біологічних наук, професор
Житомирський державний університет
імені Івана Франка, Україна

Урбанізація є одним із найпотужніших чинників трансформації сучасних екосистем, що суттєво впливає на структуру та видовий склад орнітофауни. Птахи родини Corvidae (Воронові) є особливо перспективним об'єктом для вивчення закономірностей адаптації птахів до умов міського середовища, оскільки відзначаються широкою екологічною пластичністю та здатністю освоювати різноманітні антропогенні ландшафти [2; 6; 9; 16 - 18].

Питання урбоекології птахів активно досліджується у вітчизняній та зарубіжній орнітологічній науці. Фундаментальні праці з екології та поведінки воронових належать Дж. Марзлаффу зі співавторами [16; 17], а дослідженню