

2. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів / Ю. Г. Приседський. – Донецьк: Кассіопея, 1999. – 210 с.
3. Куковиця Г.С. Рідкісні ендемічні та реліктові види Подільського Придністров'я // Охорона природи і раціональне використання природних ресурсів УРСР. – К.: Наукова думка, 1970. – С. 31-34.
4. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР. *Lamiaceae-Zygophyllaceae*. – Л.: Наука, 1978. – Т. 2. – С.50.
5. Клоков М.В. Родина Губоцвіті – *Labiatae* Juss, Рід Шавлія-*Salvia*. – в кн.: Флора УРСР. – К.: Вид-во АН УРСР, 1960. – Т. 9. – С. 241-243.
6. Червона книга України. Рослинний світ / Ред. Я. П. Дідух. – К.: Глобалконсалтинг, 2009. – 912 с.

УДК 57.08[561.263:(577.115+577.127)]

БІОТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН З МІКРОВОДОРОСТЕЙ

Боднар О.І., Микулін В. М.

Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

E-mail: bodnar@chem-bio.com.ua

Мікроводорості вважаються найперспективнішим природним джерелом швидковідновлюваної зеленої біомаси з безліччю напрямів промислового застосування. Основні програми розвитку щодо комерційного використання альгобіомаси стосуються виробництва та вилучення окремих біологічних сполук для харчової, фармацевтичної чи косметичної галузей, її розглядають як джерело вітамінів, ліпідів, поліненасичених жирних кислот, протеїнів, природних барвників та інших цінних біологічно активних сполук [1, 4, 5]. Незважаючи на величезний потенціал і перспективність багатьох видів водоростей, лише кілька з них задіяні у широкомасштабне промислове виробництво. Так, серед них *Cryptocodinium cohnii* та *Schizochytrium sp.* (отримання докозагексаєнової кислоти (С

22:6, n-3) входить до складу дитячих сумішей та харчових продуктів і добавок), *Spirulina (Arthrospira) spp.* і *Chlorella* (здебільшого біологічно активні добавки, вітаміни та корми), *Haematococcus pluvialis* і *Dunaliella spp.* (виробництво β -каротину і астаксантину для фармацевтичних препаратів), активно впроваджуються – *Botryococcus braunii* та *Chlamydomonas reinhardtii* (потенційні джерела для біопалива та водню) [3, 4].

Для комерціалізації та конкурентоспроможності біопродуктів з мікродоростей, необхідна значна кількість водоростевої біомаси, тому важливим питанням у біотехнологіях вирощування є генетичний контроль вторинного метаболізму, підбір відповідних штамів та адаптація їх до запланованих систем розведення, а також оптимізація процесу щодо здешевлення умов та засобів культивування, швидкості ростових процесів і накопичення бажаних сполук, а відтак з'ясування механізмів регуляції і модифікації біосинтетичних процесів [3, 5].

Серед основних систем, що використовуються нині для масового вирощування мікродоростей, є відкриті системи (в основному ставки і канали) та закриті системи (переважно трубочасті і плоскпанельні фотобіореактори) [2].

Відкриті системи вирощування поділяють на природні води (озера, лагуни, канали) та штучні ставки або контейнери. Це найдешевші системи для великомасштабного виробництва водоростей, бо простіші у будівництві, або експлуатуються наявні природні водойми, та потребують низького рівня енерговитрат. Однак, основні недоліки відкритих водойм полягають у втраті води, коливаннях температури, недостатньому освітленні та забезпеченні CO₂, а також вимагають регулярного очищення і значних площ. Окрім цього, вихід біомаси в них є доволі низьким, а якість – невисока, що у кінцевому результаті позначається на її цінності та перспективі використання.

Зазначимо, що відкриті системи найчастіше використовують для отримання біомаси водоростей для потреб сільського господарства: годівля птиці, молодняка худоби та дорослих особин, полив та підживлення агрокультур, відновлення ґрунтів та їх детоксикація [1, 2].

Водночас, вирощування альгобіомаси у замкнутих системах, де практично виключена можливість зараження,

дозволяє використовувати її для виробництва чистих високоцінних харчових, косметичних і фармацевтичних продуктів. Закриті фотобіореактори також дають можливість для тривалого/безперервного культивування монокультур та вважаються найбільш продуктивними системами, однак малоконкурентним є їх вартість та обслуговування [2, 6].

Фотобіореактори за своєю конструкцією і технічними характеристиками є надзвичайно різноманітними, виготовляються під конкретні вимоги й завдання. Так, трубчасті фотобіореактори складаються з прозорої скляної чи пластикової трубки з високою пропускну здатністю для сонячного світла та діаметром близько 10 см для мінімізації темних зон у культуральному середовищі. Оптимізувати процес інсоляції можна і шляхом підбору та відповідного укладання трубок, що сприятиме підвищенню співвідношенню поверхня / об'єм трубчастих систем та збільшенню врожайності культури. У порівнянні з відкритими системами у фотобіореакторах забезпечується кращий контроль за рН, температурою, перемішуванням та іншими фізико-хімічними параметрами середовища, а також зменшуються втрати води і CO₂, що в сукупності обумовлює більший приріст і продуктивність культури. Важливим аспектом вирощування культури таким способом є утримання турбулентного потоку (0,4-0,8 м/с), який забезпечить гомогенний розподіл клітин в суспензії та однаковий їх доступ до світла [3, 6].

Отже, вибір системи, передусім, буде опиратися на можливість інвестиційних вкладень, кліматичних умов місцевості та, звичайно, кінцевої мети щодо отримання бажаних сполук з мікробіодоростей, а відтак фізіолого-біохімічних особливостей альгооб'єктів культивування. Окрім цього, зростаючий інтерес до мікробіодоростей з відповідними біосинтезними можливостями буде сприяти ефективнішому підбору штамів та генетичним модифікаціям з наперед визначеним метаболізмом, що суттєво підвищить комерціалізацію процесів культивування [1, 2, 5, 6].

Отже, різноспрямованість використання альгобіомаси мікробіодоростей обумовлює характер сучасних досліджень, які спрямовані на визначення молекулярних та метаболічних механізмів регульованого і спрямованого біосинтезу біологічно

активних речовин (фармацевтичних препаратів і компонентів харчових продуктів) водоростями в аквакультурі. Важливими аспектами у таких дослідженнях є: генетичний аналіз та відбір штамів мікроводоростей, здатних ефективно синтезувати біологічно активні речовини; встановлення оптимальних фізико-хімічних умов та технічних режимів процесу вирощування; вивчення рівня активності та спрямованості окремих ланок метаболізму у клітинах потенційно придатних водоростей та обґрунтування на їх основі технології регулювання біосинтезу біологічно активних сполук фізико-хімічними чинниками культивування; дослідження кількісного та якісного складу вуглеводів, протеїнів, ліпідів та низькомолекулярних метаболітів за дії визначених чинників; отримання біологічно активних речовин в аквакультурі та оцінка їх біологічної активності [3, 4].

1. Forjan E., Navarro F., Cuaresma M. et al. Microalgae: fast-growth sustainable green factories. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2015. Vol. 45, No 16. P. 1705 – 1755.
2. Grobbelaar J. U. Factors governing algal growth in photobioreactors: the “open” versus the “closed” debate. *J. Appl. Phycol.* 2009. Vol. 21, No 5. P. 489 – 492.
3. *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology* / eds. Richmond A., Hu Q. Wiley. Ltd: Oxford, 2013. P. 726.
4. Michalak, I.; Chojnacka, K.; Saeid, A. Plant growth biostimulants, dietary feed supplements and cosmetics formulated with supercritical CO₂ algal extracts. *Molecules.* 2017. Vol. 22, No 1. P. 66 – 89.
5. Rasul I., Azeem F., Siddique M. H. et al. Algae Biotechnology: A green light for engineered algae. In *Algae based polymers, blends, and composites. Chemistry, biotechnology and material sciences* / eds. Zia K. M., Zuber M. Elsevier Inc., 2017. P. 301 – 334.
6. Ugwu C. U., Aoyagi H., Uchiyama H. Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresour. Technol.* 2008. Vol. 99, No 10. P. 4021 – 4028.