

- когенераційні установки загальною електричною потужністю порядку 5 МВт;
- виробництво електроенергії для власних потреб КОС;
- теплова потужність когенерації: 4,5 МВт;
- повна енергетична незалежність КОС м. Львів.

Проект біогазової станції з термічним гідролізом осаду на КОС м. Львів демонструє сучасний підхід до створення енергонезалежних КОС в Україні та може стати прикладом для реплікації його в інших містах країни (Вінниці, Харкові, Рівне, Луцьку) з адаптацією масштабу відповідно до місцевих умов, до фінансування подібних об'єктів із залученням міжнародних кредитів, грантів та місцевого співфінансування.

Література

1. POWERSTEP Project. Full scale demonstration of energy positive sewage treatment plant concepts towards market penetration. Horizon 2020. URL: <https://powerstep.eu>
2. Aarhus Vand. Marselisborg WWTP - More than 100% energy self-sufficient. Denmark, 2024.
3. Sofiyska Voda. Kubratov WWTP Energy Positive Facility. Sofia, Bulgaria, 2023.
4. Gahlot P., Balasundaram G., Tyagi V.K., Atabani A.E., Suthar S., Kazmi A.A., Štěpanec L., Juchelková D., Kumar A. Principles and potential of thermal hydrolysis of sewage sludge to enhance anaerobic digestion // *Environmental Research*. – 2022. – Vol. 214. – 113856.
5. Kurbatova A., Bulatović J., Desnica E., Radetić L. Characteristics of Biogas Production and Synergistic Effect of Primary Sludge and Food Waste Co-Digestion // *BioEnergy Research*. – 2023. – Vol. 16. – P. 2339–2352.
6. Кізеєв М.Д., Проценко С.Б., Кравченко Н.В., Новицька О.С., Дебелий М.В. Оцінка економічної ефективності будівництва біогазової станції на каналізаційних очисних спорудах м. Львів. Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VIII Міжнародний конгрес, 16-18 жовтня 2024, Україна, Львів : зб. матер. – Електрон. дан. – Київ : ГО «МНГ», 2024. С. 123. doi: <https://doi.org/10.56287/8285-40-1>.

ВПЛИВ МАГНІЮ ТА МАНГАНУ ОСВІТЛЕННЯ НА РІСТ І МЕТАБОЛІЗМ МІКРОВОДОРОСТІ *CHLORELLA VULGARIS*

Ковальова С.О.

Науковий керівник – Голуб Н.Б.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ, svitlayak@gmail.com

Мікродорості роду *Chlorella* є перспективними біооб'єктами для отримання цінних метаболітів – пігментів, ліпідів і антиоксидантів. Крім того, вони розглядаються як потенційні агенти біомоніторингу та біоочищення водних середовищ від забруднень [1].

Серед біогенних елементів для мікродоростей особливе значення мають магній (Mg^{2+}) і манган (Mn^{2+}), які є ключовими кофакторами фотосинтетичних процесів. Магній входить до складу хлорофілу та бере участь у стабілізації структури рибосом і фіксації вуглецю [2, 3], тоді як манган формує кластер Mn_4CaO_5 у фотосистемі II, забезпечуючи фотоліз води й утворення молекулярного кисню [4].

Разом з тим, надлишкові концентрації цих металів, у поєднанні з різними умовами освітлення, можуть чинити як стимулюючий, так і інгібуючий вплив на фотосинтез і метаболізм клітин. Зважаючи на це, дослідження впливу комбінованої дії спектру світла та

іонів металів має важливе значення для оптимізації умов біотехнологічного культивування мікроводоростей і підвищення ефективності біоочищення вод.

Мета роботи – дослідити вплив іонів Mg^{2+} та Mn^{2+} у різних концентраціях і спектральних режимах освітлення на ріст, накопичення біомаси та пігментний склад мікроводорості *Chlorella vulgaris* для визначення оптимальних умов культивування.

Матеріали та методи

Культивування *Chlorella vulgaris* проводили в трубчатих фотореакторах на середовищі BG-11 із додаванням сульфатів магнію та мангану ($MgSO_4$, $MnSO_4$) у концентраціях 5, 10 та 20 мг/л. Контроль – середовище без додавання додаткових металів.

Застосовували чотири режими освітлення: природне яскраве (600–800 Вт/м²), природне приглушене (250 Вт/м²), біле LED-освітлення (600 Вт/м²) і червоно-синє LED-освітлення у співвідношенні 2:1 (600 Вт/м²).

Визначали оптичну густину, кількість клітин, суху біомасу та вміст пігментів (хлорофілу а, b, каротиноїдів) спектрофотометричними методами [5].

Результати та обговорення

Підвищення концентрації Mg^{2+} призводило до інтенсифікації росту культури *Chlorella vulgaris*, особливо за інтенсивного освітлення. Максимальний приріст оптичної густини (у 1.9 рази) та сухої біомаси (до 3.05 ± 0.067 г, у 2 рази більше контролю) спостерігався при 20 мг/л Mg^{2+} за білого LED-освітлення (рис. 1).

За природного світла найвищий приріст біомаси (2.30 ± 0.054 г, у 2.4 рази більше контролю) також отримано при 20 мг/л Mg^{2+} . Вміст хлорофілу а коливався від 19.17 до 65.51 мг/г, а максимальне співвідношення Chl a/b (5.17) і загальний вміст хлорофілів (86.87 мг/г) зафіксовано при 10 мг/л Mg^{2+} за природного приглушеного освітлення. Це можна пояснити ключовою роллю магнію у фотосинтетичних процесах та його синергетичною взаємодією з енергією світла, яка посилює активність світлозалежних стадій метаболізму [3].

Для Mn^{2+} вплив був нелінійним. За природного яскравого освітлення концентрація 20 мг/л Mn^{2+} стимулювала приріст біомаси у 2.3 рази (3.03 ± 0.014 г), тоді як за білого LED-освітлення високі концентрації викликали зниження росту (у 1.7 рази). Це свідчить про фотосенсибілізуючу дію Mn^{2+} у поєднанні з широким спектром світла (рис. 2) [6].

Загальний вміст хлорофілів у варіантах із Mn^{2+} був значно нижчим (3.45–12.97 мг/г), що вказує на фотосистемне інгібування або перерозподіл ресурсів на антиоксидантний захист [7]. Оптимальне співвідношення Chl a/b (0.69) спостерігалось при 20 мг/л Mn^{2+} за природного освітлення.

Вміст хлорофілів показує, що для Mn^{2+} він залишався низьким (СІ заг. 6–9 мг/г), тоді як у варіантах із Mg^{2+} – у десятки разів вищим (до 80–86 мг/г).

Таким чином, Mg^{2+} стимулює фотосинтетичну активність і накопичення пігментів, тоді як Mn^{2+} проявляє двоїстий ефект – стимулювальний або інгібувальний росту залежно від спектра освітлення та загальне зниження фотосинтетичної активності у порівнянні з контролем.

У варіантах із магнієм спостерігається виражена залежність синтезу каротиноїдів від спектрального складу світла (рис. 2). Найвищі значення зафіксовані за природного приглушеного освітлення при концентрації 10 мг/л Mg^{2+} , де вміст каротиноїдів досягав 10.10 мг/г, що більш ніж у 2 рази перевищує контроль. Це узгоджується з високими показниками загального вмісту хлорофілів (86.87 мг/г), що вказує на стимулювання фотосинтетичної активності клітин і підвищену стабільність пігментного комплексу.

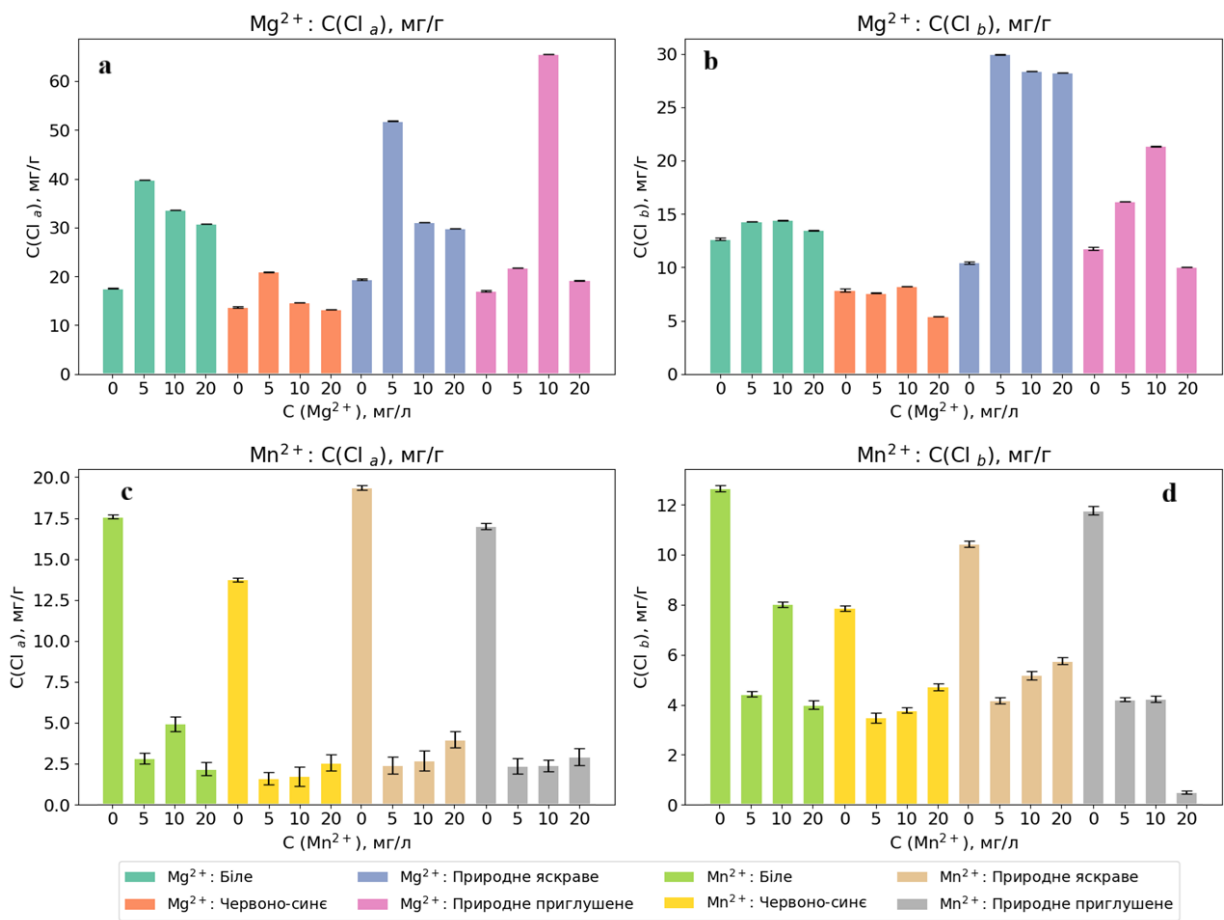


Рис 1. Вміст хлорофілу a та хлорофілу b (C) у культурі *Chlorella vulgaris*, культивованої за різних умов освітлення та з надлишковим вмістом MgSO₄ (a, b) і MnSO₄ (c, d).

На відміну від Mg²⁺, у варіантах із Mn²⁺ спостерігається загальне зниження вмісту каротиноїдів у всіх спектральних режимах, що свідчить про пригнічення фотосинтетичного апарату при надлишку мангану.

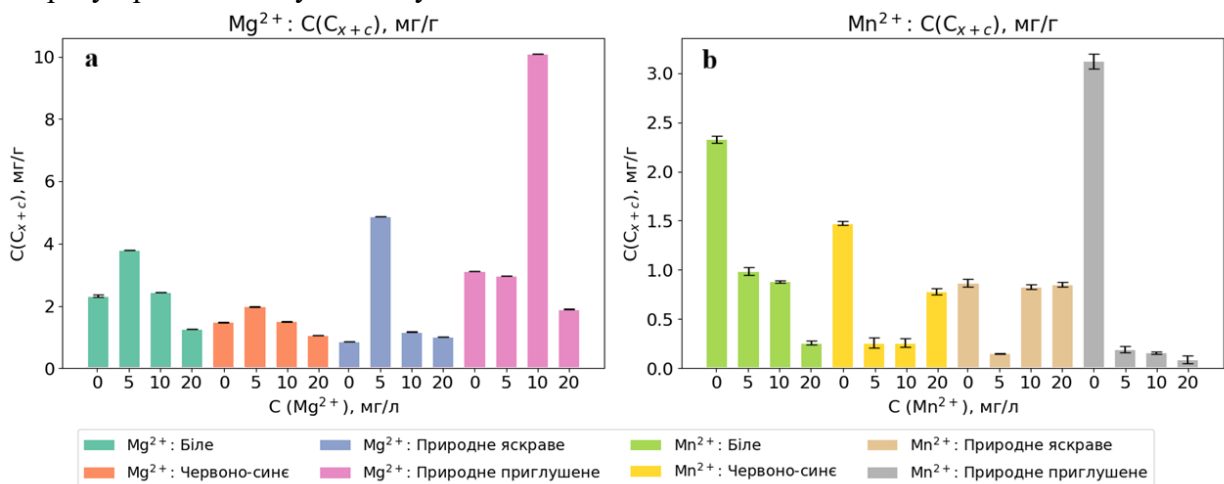


Рис. 2. Вміст каротиноїдів (C) у культурі *Chlorella vulgaris*, культивованої за різних умов освітлення та з надлишковим вмістом MgSO₄ (a) і MnSO₄ (b).

Загалом, культура *Chlorella vulgaris* демонструє підвищений вміст каротиноїдів при дії Mg^{2+} і значне пригнічення – при Mn^{2+} , що свідчить про різний механізм дії цих металів.

Висновки

Додавання Mg^{2+} у концентрації 10–20 мг/л підвищує ріст і вміст пігментів *Chlorella vulgaris*, особливо за білого та природного освітлення. Mn^{2+} чинить нелінійний ефект на ріст біомаси мікродоростей та переважно інгібуючий вплив на фотосинтетичну активність клітин.

Найбільший вміст хлорофілів і каротиноїдів спостерігався у зразках із 10–20 мг/л Mg^{2+} , що свідчить про активацію фотосинтетичних процесів у клітинах за надлишкових концентрацій Mg^{2+} .

Отримані результати підтверджують потенціал *Chlorella vulgaris* як об'єкта для біотехнологій отримання пігментів у системах із регульованим спектром освітлення і як моделі для біомоніторингу впливу металів.

Література:

1. Pacheco, D., Rocha, A. C., Pereira, L., & Verdelhos, T. (2020). Microalgae Water Bioremediation: Trends and Hot Topics. *Applied Sciences*, 10(5), 1886. <https://doi.org/10.3390/app10051886>
2. Shaul O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *Biometals*. 2002 Sep;15(3):309-23. doi: 10.1023/a:1016091118585
3. Dukic E, van Maldegem KA, Shaikh KM, Fukuda K, Töpel M, Solymosi K, Hellsten J, Hansen TH, Husted S, Higgins J, Sano S, Ishijima S, Spetea C. Chloroplast magnesium transporters play essential but differential roles in maintaining magnesium homeostasis. *Front Plant Sci*. 2023
4. Mn_4Ca cluster in photosynthesis: where and how water is oxidized to dioxygen. *Chem Rev*. 2014 Apr 23;114(8):4175-205. doi: 10.1021/cr4004874
5. LICHTENTHALER HK, WELLBURN AR. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem Soc Trans* 1983;11:591–2. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>.
6. Smythers, A.L., Crislip, J.R., Slone, D.R. *et al.* Excess manganese increases photosynthetic activity via enhanced reducing center and antenna plasticity in *Chlorella vulgaris*. *Sci Rep* 13, 11301 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35895-x>
7. Liang, HZ., Zhu, F., Wang, RJ. *et al.* Photosystem II of *Ligustrum lucidum* in response to different levels of manganese exposure. *Sci Rep* 9, 12568 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48735-8>

РЕЧОВИНИ КВОРУМУ (*QUORUM SENSING* ТА *QUORUM QUENCHING*) В БІОТЕХНОЛОГІЯХ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

Колтишева Д.С., Щурська К.О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, м.Київ, koltysheva.dina@iit.kpi.ua

В процесах очищення міських та промислових стічних вод в біотехнологічних спорудах, таких як аеротенки, біофільтри, мембранні біореактори, а також новітні інтегровані технології, зокрема мікробні паливні елементи-біологічні ставки (CW-MFC), біопаливні елементи (BFC), біологічним агентом є консорціум мікроорганізмів, що здійснює біологічну деструкцію забруднюючих речовин [1, 2]. До складу консорціуму мікроорганізмів входять деструктори органіки, нітрифікатори, денітрифікатори та інші, при