

ВПЛИВ КОМБІНАЦІЇ ДЖЕРЕЛА ОСВІТЛЕННЯ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ Fe^{2+} НА РІСТ МІКРОВОДОРОСТЕЙ *CHLORELLA VULGARIS*

Ковальова С.О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, svtlayak@gmail.com

Abstract

This study investigates the combined effects of different light sources and iron concentrations on the growth of Chlorella vulgaris microalgae. Results show significant growth variations under varying experimental conditions. Optimal growth was observed under natural sunlight and red-blue LED light, supplemented with 20 mg/L iron (Fe^{2+}). Conversely, white LED light showed a reverse trend.

Keywords: *Chlorella vulgaris, microalgae, light spectrum, ferrum ions*

Вступ. Останні дослідження демонструють, що абіотичні фактори стресу, такі як зміни в спектрі освітлення, а також концентрація іонів металів у середовищі, мають значний вплив на ріст та фізіологічні характеристики мікроводоростей [1,2].

Особливо важливим для автотрофного росту мікроводоростей є світло, яке виступає ключовим фактором, що регулює фотосинтетичну активність та метаболічні процеси. Дослідження показують, що зміни в інтенсивності та спектрі освітлення можуть суттєво впливати на фотосинтетичну ефективність та активність ферментів, що відповідають за синтез біомаси та біохімічного складу клітин [3]. Крім того, концентрація іонів металів у середовищі також має велике значення для росту та фізіологічного стану мікроводоростей. Деякі іони металів можуть виступати як есенційні мікроелементи, стимулюючи фізіологічні процеси та підвищуючи продуктивність. Однак, у великих концентраціях вони можуть викликати токсичні ефекти та пригнічувати ріст і розвиток мікроводоростей [4, 5].

Одним із найбільш поширених металів, який впливає на ріст мікроводоростей, є залізо. Залізо виконує важливу роль у біосинтезі хлорофілу, ферментів та інших біологічно активних сполук, і його наявність у середовищі може суттєво впливати на продуктивність та склад біомаси мікроводоростей [6].

Метою цього дослідження є оцінка впливу комбінації різних джерел і спектру освітлення та різної концентрації Fe^{2+} на ріст *Chlorella vulgaris*.

Матеріали та методи. Культуру мікроводоростей *Chlorella vulgaris* взято з колекції кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології КПІ ім. Ігоря Сікорського. Середовище культивування – стандартне середовище BG - 11, джерелом карбону слугував CO_2 , який вносився шляхом барботування. Залежно від спектру освітлення, за якого проводили культивування, водорості були розділені на 3 групи: природне освітлення, світлодіодне біле освітлення, світлодіодне червоно-синє освітлення. Освітлення світлодіодами проводили у режимі 4 год світло – 4 год темрява. Температура – 20 ± 2 °C.

На 28 день культивування до фотореакторів було внесено бісгліцинат заліза в перерахунку на Fe^{2+} у концентраціях 5 мг/л, 10 мг/л та 20 мг/л та контроль (без внесення комплексу феруму). Вимірювання ростових характеристик (кількість

клітин і оптична густина D_{490}) відбувалось за допомогою лічильника клітин Countess 2 FL та спектрофотометра Ulab 102.

Результати та обговорення. Результати дослідження вказують на відмінності у ростових характеристиках мікроводоростей *Chlorella vulgaris* під впливом різних спектрів освітлення та різної концентрації Fe^{2+} . Приріст біомаси та кількості клітин у разі культивування за додаткового внесення іонів феруму 20 мг/л наведено на рис.1, 2.

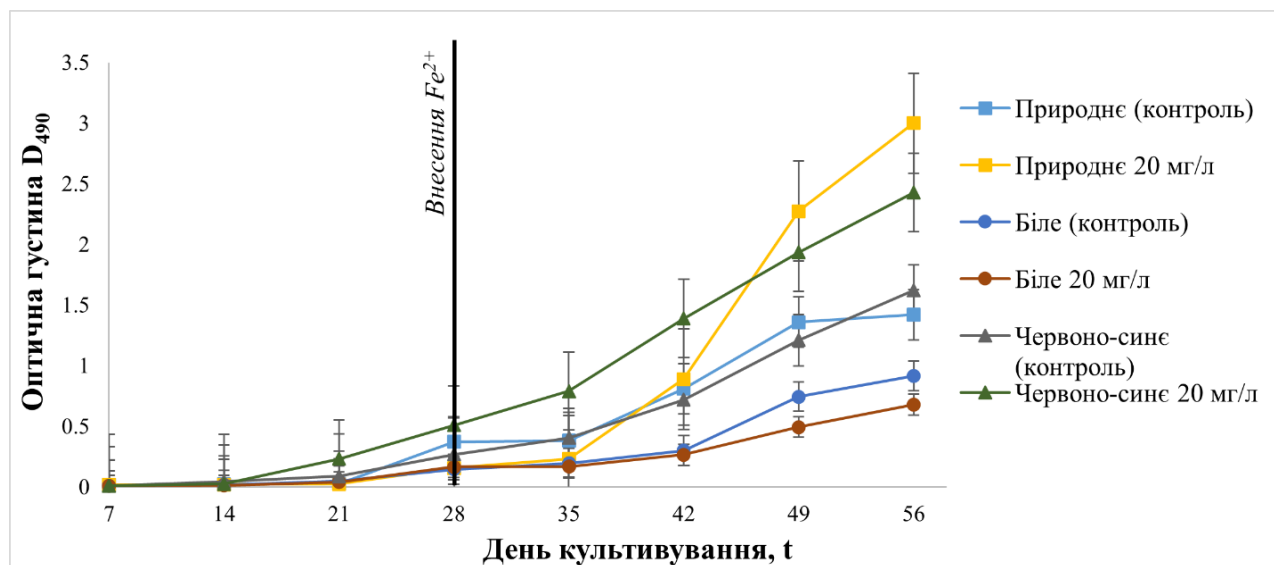


Рис. 1. Зміна оптичної густини (D_{490}) у культурі мікроводоростей *Chlorella vulgaris* в процесі вирощування (t) під дією комбінації різного джерела і спектру освітлення для контрольної групи та для групи з додаванням Fe^{2+} в концентрації 20 мг/л, $P \leq 0.05$.

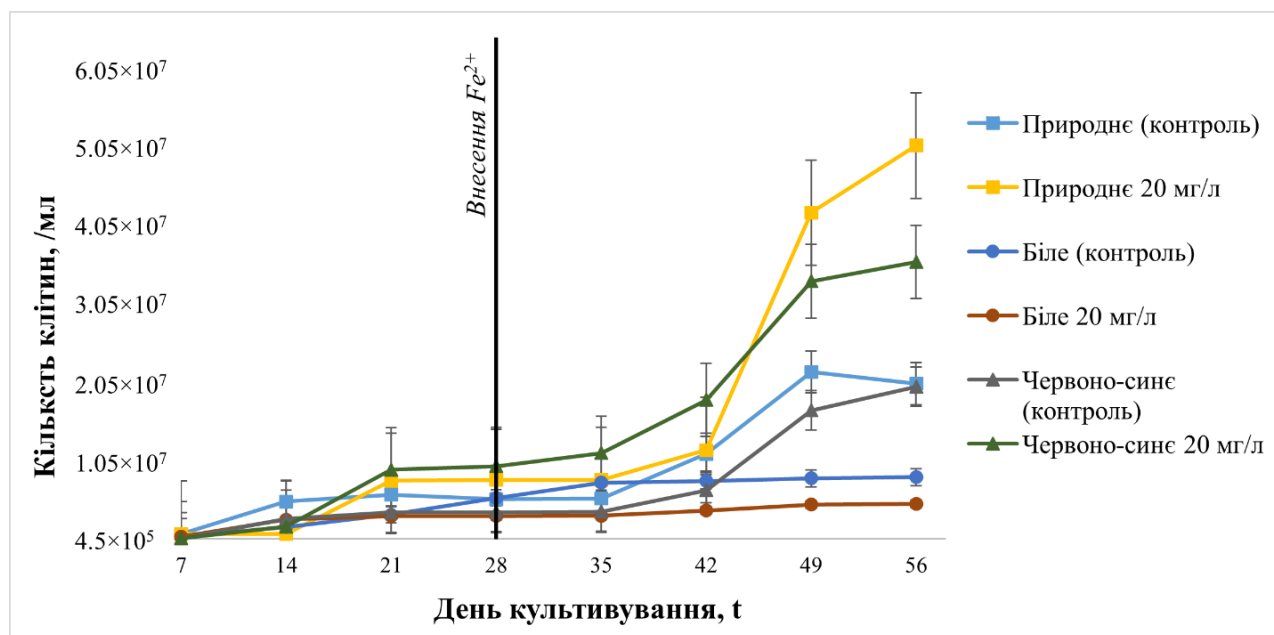


Рис. 2. Зміна кількості клітин у культурі мікроводоростей *Chlorella vulgaris* в процесі вирощування (t) під дією комбінації різного джерела і спектру освітлення для контрольної групи та для групи з додаванням Fe^{2+} в концентрації 20 мг/л, $P \leq 0.05$.

Як видно з рисунків 1 і 2, впродовж всього експерименту для контрольних груп та груп з додаванням заліза в концентрації 20 мг/л спостерігалось збільшення оптичної густини та кількості клітин. Найбільше значення та приріст цих показників виявлено для мікроводоростей *Chlorella vulgaris*, які були культивовані з використанням природнього освітлення та з додаванням заліза у концентрації 20 мг/л. На 56 день оптична густина D_{490} для цієї дослідної групи становила 3.00 ± 0.63 (збільшення у 19.1 рази з початку внесення Fe^{2+}), а кількість клітин була 5.08×10^7 /мл (збільшення у 6.4 рази з початку внесення Fe^{2+}). Також значний приріст цих показників спостерігали для мікроводоростей, вирощених з використанням червоно-синього світла та з додаванням заліза у концентрації 20 мг/л. На 56 день експерименту оптична густина D_{490} становила 2.43 ± 0.46 (збільшення у 10.5 рази з початку внесення Fe^{2+}), а кількість клітин – 3.59×10^7 /мл (збільшення у 3.7 рази з початку внесення Fe^{2+}). Для інших груп також спостерігали збільшення цих показників, проте їх значення були меншими порівняно з вищезгаданими. У дослідних групах з початку внесення Fe^{2+} у концентрації 5 мг/л також визначено зростання ростових параметрів: для мікроводоростей під природнім освітленням оптична густина зросла в 13.9 разів (контрольна група – в 3.8 рази), кількість клітин збільшилась у 1.7 рази (контроль – у 3.7 рази); для мікроводоростей під білим світлодіодним світлом оптична густина зросла в 9.7 рази (контроль – у 6.3 рази), кількість клітин збільшилась в 2.3 рази (контроль – у 1.5 рази); для мікроводоростей під червоно-синім світлодіодним світлом оптична густина зросла в 8.4 рази (контроль – у 6 разів), кількість клітин збільшилась в 4.2 рази (контроль – у 5.2 рази). У дослідних групах з додаванням заліза в концентрації 10 мг/л було таке зростання ростових параметрів: для мікроводоростей під природнім освітленням оптична густина зросла в 6.8 рази (контроль – у 3.8 рази), кількість клітин збільшилась в 3.3 рази (контроль – у 3.7 рази); для мікроводоростей під білим світлодіодним світлом оптична густина зросла в 6.4 рази (контроль – у 6.3 рази), кількість клітин збільшилась в 1.9 рази (контроль – у 1.5 рази); для мікроводоростей під червоно-синім світлодіодним світлом оптична густина зросла в 3.9 рази (контроль – у 6 разів), кількість клітин збільшилась в 3.5 рази (контроль – у 5.2 рази).

Загалом, для мікроводоростей, вирощених під дією природнього та червоно-синього світла визначено тенденцію до найбільшого приросту кількості клітин і оптичної густини D_{490} з додаванням більшої концентрації Fe^{2+} . Однак, для культур, вирощених під дією білого світлодіодного світла, спостерігалась зворотна тенденція.

Більший приріст мікроводоростей *Chlorella vulgaris*, які були культивовані з використанням природнього та червоно-синього освітлення та з додаванням заліза у концентрації 20 мг/л, можна пояснити впливом заліза, оскільки воно є необхідним мікроелементом для багатьох живих організмів, включаючи мікроводорості. Зокрема воно виступає як складова для фотосинтетичних електротранспортних білків, крім того, воно міститься у складі ферментів, які беруть участь у фіксації азоту (нітрогеназа) та відновленні нітратів (нітратредуктаза) [6, 7]. Додавання заліза у концентрації 20 мг/л може позитивно

впливати на процеси фотосинтезу, що приводить до збільшення кількості клітин. Також результати можна пояснити впливом світла, оскільки інтенсивне природне та червоно-синє світло має високий потенціал для фотосинтезу, що може стимулювати ріст та розвиток мікроводоростей [8]. Відомо, що для *Chlorella vulgaris* характерно поглинання спектру світла у діапазонах синього та червоного [9]. Ймовірно, комбінація високої концентрації заліза та оптимальних умов освітлення (природне або червоно-синє світло) сприяє синергетичному ефекту, що приводить до значного збільшення приросту мікроводоростей.

Можливим поясненням зворотної тенденції для мікроводоростей, вирощених під дією білого світлодіодного світла є його менша інтенсивність та відсутність оптимального співвідношення спектральних компонентів порівняно з природнім, що може впливати на фотосинтетичні процеси та ріст мікроводоростей.

Висновки. Результати цього дослідження підтверджують важливість вибору спектру освітлення та концентрації іонів заліза для покращення росту мікроводоростей *Chlorella vulgaris*. Найкращі ростові показники спостерігалися у групах з використанням природнього та світлодіодного червоно-синього світла та додаванні заліза у концентрації 20 мг/л.

Список використаної літератури:

1. Bibi F, Jamal A, Huang Z, Urynowicz M, Ishtiaq Ali M. Advancement and role of abiotic stresses in microalgae biorefinery with a focus on lipid production. *Fuel* 2022; 316:123192. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123192>.
2. Singh RP, Yadav P, Kumar I, Solanki MK, Roychowdhury R, Kumar A, et al. Advancement of Abiotic Stresses for Microalgal Lipid Production and Its Bioprospecting into Sustainable Biofuels. *Sustainability* 2023; 15:13678 <https://doi.org/10.3390/su151813678>.
3. Chini Zittelli G, Mugnai G, Milia M, Cicchi B, Silva Benavides AM, Angioni A, et al. Effects of blue, orange and white lights on growth, chlorophyll fluorescence, and phycoerythrin production of *Arthrospira platensis* cultures. *Algal Res* 2022; 61:102583 <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102583>.
4. Rana MS, Bhushan S, Sudhakar DR, Prajapati SK. Effect of iron oxide nanoparticles on growth and biofuel potential of *Chlorella* spp. *Algal Res* 2020;49:101942 <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101942>.
5. Miazek K, Iwanek W, Remacle C, Richel A, Goffin D. Effect of Metals, Metalloids and Metallic Nanoparticles on Microalgae Growth and Industrial Product Biosynthesis: A Review. *Int J Mol Sci* 2015; 16:23929–69 <https://doi.org/10.3390/ijms161023929>.
6. Whittaker, S., Bidle, K.D., Kustka, A.B. and Falkowski, P.G., 2011. Quantification of nitrogenase in *Trichodesmium* IMS 101: implications for iron limitation of nitrogen fixation in the ocean. *Environmental Microbiology Reports*, 3: 54-58 <https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2010.00187.x>.
7. Kroh GE, Pilon M. Regulation of Iron Homeostasis and Use in Chloroplasts. *Int J Mol Sci*. 2020 May 11;21(9):3395 <https://doi.org/10.3390/ijms21093395>.
8. Metsoviti, Maria N., George Papapolymerou, Ioannis T. Karapanagiotidis, and Nikolaos Katsoulas. 2020. "Effect of Light Intensity and Quality on Growth Rate and Composition of *Chlorella vulgaris*" *Plants* 9, no. 1: 31 <https://doi.org/10.3390/plants9010031>.
9. Caner K. Biodiesel Potential of *Chlorella Kessleri* Grown under LED and Fluorescent Illumination Sources / K. Caner, Gary A. Anderson, K. Bulent, V. Mustafa // *Journal of agricultural Machinery Science*. – 2011. – Vol 7. – № 4. – P. 355–360.