

Технічні науки

УДК 628.543

Косова Віра Петрівна

асистент кафедри біотехніки та інженерії

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Косова Вера Петровна

ассистент кафедры биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Kosova Vira

Assistant Department of Bioengineering and Biotechnics

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Войцеховський Сергій Олександрович

студент

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Войцеховский Сергей Александрович

студент

Национального технического университета Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Voitsekhovskyi Serhii

Student of Department of Bioengineering and Biotechnics of the

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ СВІТЛА І ФОТОПЕРІОДУ НА БІОМАСУ
CHLORELLA VULGARIS
ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА И ФОТОПЕРИОДА НА
БИОМАССУ CHLORELLA VULGARIS
INFLUENCE OF THE INTENSITY OF LIGHT AND PHOTOPERIOD
ON THE BIOMASS CHLORELLA VULGARIS**

Анотація. Досліджено вплив інтенсивності світла і фотоперіоду на біомасу *C. vulgaris*. Розглянуті такі фактори як кількість і якість світла та опромінення за допомогою холодних флуоресцентних ламп білого кольору.

Ключові слова: фотосинтез, інтенсивність світла, фітопланктон, анаболічні і катаболічні явища, біомаса.

Аннотация. Исследовано влияние интенсивности света и фотопериода на биомассу *C. vulgaris*. Рассмотрены такие факторы как количество и качество света и облучения с помощью холодных флуоресцентных ламп белого цвета.

Ключевые слова: фотосинтез, интенсивность света, фитопланктон, анаболические и катаболические явления, биомасса.

Summary. The effect of light intensity and photoperiod on *S. vulgaris* biomass has been investigated. Factors such as light quantity and quality and irradiation with cold white fluorescent lamps are considered.

Key words: photosynthesis, light intensity, phytoplankton, anabolic and catabolic phenomena, biomass.

Одним з основних факторів, які впливають на фізіологію і кінетику зростання хлорели є світлові умови [1]. Кількість і якість світла визначають кількість енергії, доступної для фотосинтезуючих організмів,

для проведення їх метаболічних процесів. Численні дослідження з мікроводоростями різних груп свідчать про те, що пігменти, ненасичені жирні кислоти, вуглеводи і вміст білка змінюються у відповідь на збільшення або зменшення інтенсивності світла. Варіації в світло-темному режимі накладають зміни клітинного змісту білків, вуглеводів і ліпідів. [1] У роботі було досліджено вплив інтенсивності світла і фотоперіоду на біомасу *C. vulgaris*. Опромінення здійснювалася за допомогою холодних флуоресцентних ламп білого кольору.

Інтенсивності світла (37,5, 62,5 і 100 мкмоль фотонів $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$) і цикли світла / темряви (8:16, 12:12 та 16:8 годин) у вигляді окремих параметрів і їх взаємодії значно вплинули на біомасу *C. vulgaris* в кінці експоненційної фази росту (Рис. 1) [1]. Більш тривалий вплив світла приводив до збільшення біомаси *C. vulgaris* (Рис. 2). Однак інтенсивність світла надавала різний вплив на біомасу; збільшення інтенсивності світла від 37,5 до 62,5 мкмоль фотонів $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ призвело до збільшення біомаси, але при 100 мкмоль фотонів $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ біомаса зменшилася. Максимальна біомаса $2,05 \pm 0,1 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ спостерігалася при інтенсивності 62,5 мкмоль фотонів $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ та 16:8 годин, а мінімальна біомаса $0,6\text{-}0,07 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ досягалась при 37,5 мкмоль фотонів $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ інтенсивності і 8:16 годин [1].

Одне дослідження показало, що зростання фітопланктону залежить від загальної кількості світла в день, а в інших дослідженнях встановлено, що в залежності від виду фітопланктону зростання може контролюватися тільки фотоперіодом [2-3]. Результати у [1] роботі на фотоперіоді показали, що збільшення тривалості світла з 8:16 до 16:8 годин зробило сприятливий вплив на виробництво біомаси. Дійсно, режим світло/темрява дозволяє або збільшити кінцеву концентрацію, або знизити витрати виробництва. Необхідність темної фази пояснювалася тим, що фотосинтез регулюється двома реакціями: фотохімічною фазою, що залежить від світла, і іншою - біохімічною темною фазою, яка не залежить від світла

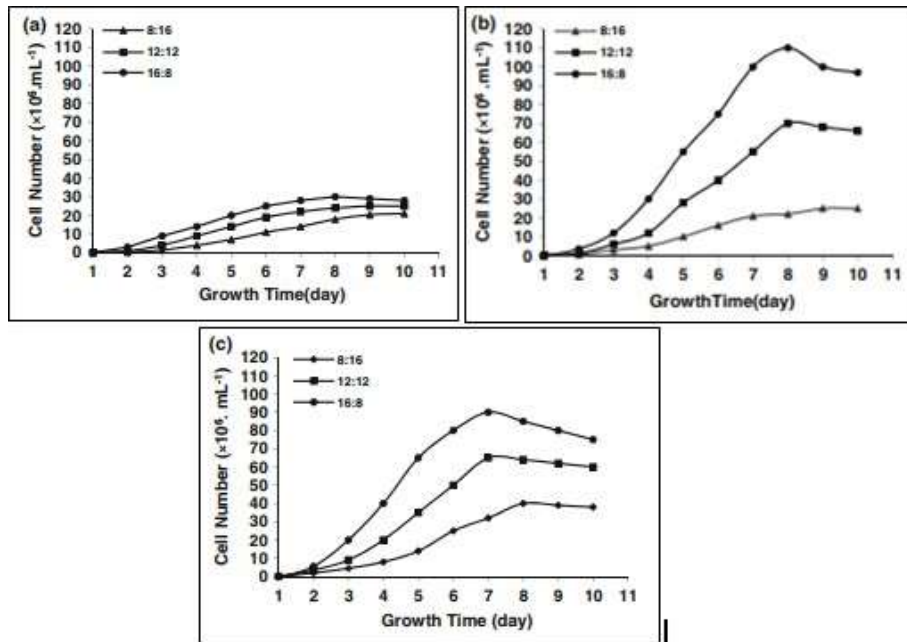


Рис. 1. Зміни концентрації клітин *C. vulgaris*, вирощених в трьох фотоперіодах (8L:16D, 12L:12D, 16L:8D) і інтенсивності світла ((a) – 37,5 мкмоль м⁻²с⁻¹, (b) – 62,5 мкмоль м⁻²с⁻¹, (c) – 100 мкмоль м⁻²с⁻¹) [1]

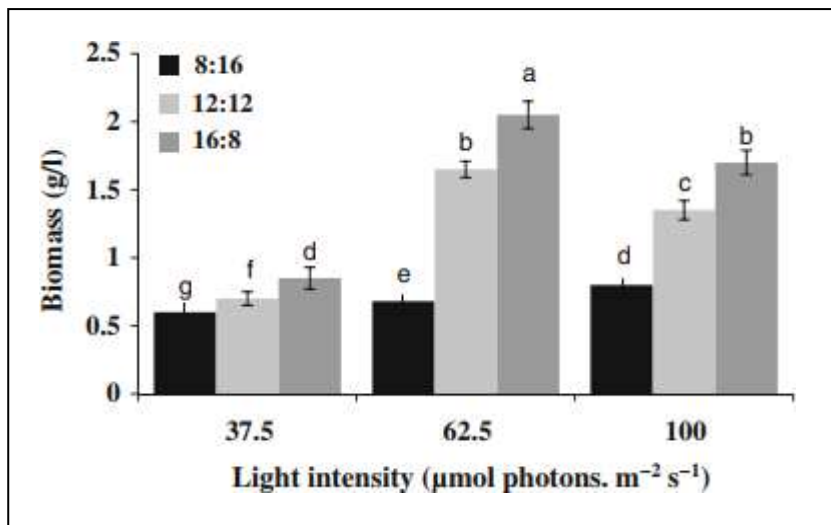


Рис. 2. Біомаса *C. vulgaris* на трьох фотоперіодах (8:16, 12:12 та 16:8 годин світло/темрява) і інтенсивності світла (37,5, 62,5 і 100 мкмоль фотонів м⁻²с⁻¹) [1]

З'єднання, які виробляються у фазі, залежать від світла (АТФ, НАДФН), використовуються в темній фазі для синтезу метаболічних молекул, необхідних для росту. Крім того, у [4] роботі повідомили, що деякі ферменти циклу пентози фотосинтезу і фіксації CO₂ неактивні під час опромінення. Згідно з тією ж [4] роботою, спорідненість

карбоксидзіматази до CO_2 різко зменшується в темряві, коли рН знижується. Його активність може бути повністю заблокована. Ця інактивація блокує поглинання рібулоза 1,5-дифосфата, таке як повне поглинання, може перешкоджати відновленню фотосинтезу на світлі. Темна фаза залишається необхідною, як мінімум, для регенерації кофакторів (NAD^+ , NADP^+), необхідних для фази I фотосинтезу.

З 15/9 циклом фотоперіоду, використовуючи серію фотографій, зроблених в кожну годину дня, [4] показав, що поділ клітин відбувається в умовах недостатнього освітлення для багатьох одноклітинних *Chlorophyceaen*. Розподіл клітин відбувається в темній фазі, а також в освітленій фазі. Якщо рівновага клітин, яку дає мітоз, можлива при темних і освітлених умовах, розподіл клітин відбувається частіше після переривання освітленої фази. Тому краще використовувати фотоперіод з тривалістю світла від 12 до 15 годин, щоб забезпечити рівновагу, яка встановлюється між анаболічними і катаболічними явищами протягом циклу фотоперіоду. Крім того, для промислового застосування та обліку співвідношення витрат енергії і відповідних виробництв біомаси тривалість освітлення протягом 12-15 годин для освітленої фази зазвичай вважається оптимальною для росту водоростей [4].

Виробництво біомаси в багатьох мікроводоростей збільшувалася в умовах високої освітленості, що є очікуваною відповіддю на високе світло, що зазвичай призводить до збільшення відтворення до тих пір, поки не буде спостерігатися інтенсивність точки насичення, і після цього спостерігалось фотоінгібування, що обмежує подальше виробництво біомаси. Цей ефект викликаний реакцією фотоокислення всередині клітини, оскільки надмірне світло не може бути поглинене фотосинтетичним апаратом [1].

Освітлення складається з двох предметів: інтенсивності та довжини хвилі світла. Наявні дані свідчать про те, що світло діє як орієнтир і

допомагає впливати на проліферацію клітин і допомагає клітинному диханню і фотосинтезу. Під час ендотермічних реакцій для вуглецевого обміну потрібна енергія, і ця енергія подається світлом. Світло є основним фактором в процесі фотосинтезу для перетворення діоксиду вуглецю в органічні сполуки, такі як вуглеводи і білки, в яких виділяються вода і кисень. Якщо зростання мікроводоростей здійснюється при обмеженні світла, клітинні механізми прогресують з утворенням вуглецю у амінокислоти і інші важливі сполуки для клітин, але в насиченому освітленні збільшується виробництво цукру і крохмалю, а максимальна швидкість росту стабілізується. Тим не менш, деякі результати свідчать про неконкурентну стратегію освітлення, оскільки темпи зростання залишаються високими, а витрати виробництва зменшуються. Це пов'язано з тим, що поділ клітин для одноланцюжкової фотосинтетичної культури зазвичай відбувається в умовах недостатнього освітлення. Однак для інших випадків поділ клітин відбувається як в темній, так і в світових фазах, але для мікроорганізмів *vulgaris* відбувається більший поділ клітин після зупинки фази освітлення.

В роботі [5], було досліджено залежність біомаси від інтенсивності світла. На рис.1.6 показано зміна концентрації біомаси і змісту Chl *a*, коли концентрація KNO₃ і концентрація поглинаємого CO₂ контролювалися на рівні 1,0 мМ і 1,0% відповідно. Зростання клітин збільшувалося зі збільшенням інтенсивності світла.

Як показано на рис. 1.2.3(а), тільки 0,37 г/л було отримано при інтенсивності 24 мкмоль фотонів м⁻²с⁻¹, що може бути пов'язано з обмеженням світла. Зі збільшенням інтенсивності світла до 60 мкмоль фотонів м⁻²с⁻¹ клітини безперервно росли і на стаціонарній стадії збирали 0,75 г/л *C. vulgaris*.

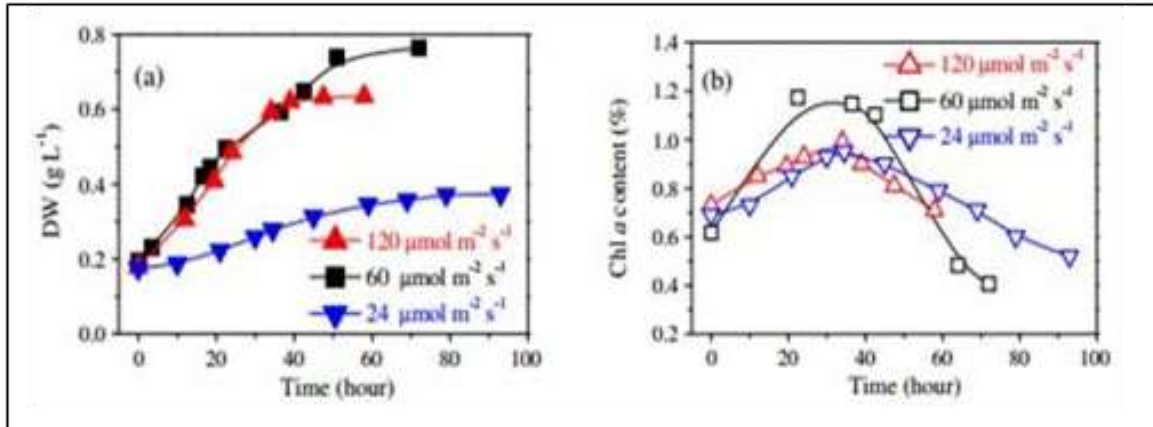


Рис. 3. Вплив опромінення на концентрацію біомаси (a) і Chl *a* зміст *Chlorella vulgaris* (b). (Концентрація KNO₃, 1,0 мМ; вихідний газ, 1,0% CO₂; швидкість газу 1,2 л·хв⁻¹; безперервне освітлення; температура 25°C) [5]

Однак при подальшому збільшенні інтенсивності світла до 120 мкмоль фотонів м⁻²с⁻¹ концентрація клітин дещо збільшилася на початковій стадії культивування, після чого була досягнута набагато нижча рівноважна концентрація біомаси 0,63 г/л у порівнянні з такою при 60 мкмоль фотонів м⁻²с⁻¹ [5]. Зменшення концентрації біомаси при 120 мкмоль фотонів м⁻²с⁻¹ може бути пов'язано з фотоінгібуванням.

Вплив інтенсивності світла на вміст Chl *a* відповідало змісту біомаси. Як показано на рис. 1.2.3 (b), максимальний вміст Chl *a* збільшується з інтенсивністю світла близько 24, 120 і 60 мкмоль фотонів м⁻²с⁻¹. Світло може призводити до змін рН, Mg²⁺ і NADPH в стромі, що буде модулювати активність ключових ферментів в процесі синтезу жирних кислот. Вплив інтенсивності світла на виробництво ліпідів було знайдено відповідно до впливом на виробництво біомаси. Інтенсивність світла в 60 мкмоль фотонів м⁻²с⁻¹ може сприяти позитивним змінам рН, Mg²⁺ і NADPH, а потім опосередковано посилювати активність ключових ферментів, в той час, як обмеження світла, так і ослаблення світла можуть знизити активність ферменту. Таким чином, для *C. vulgaris*, культивованих під 60 мкмоль фотонів м⁻²с⁻¹, було отримано не тільки найвищий вміст ліпідів в 20,0%, а й найбільша концентрація біомаси 0,75 г/л, тоді як

клітини, культивовані під 24 і 120 мкмоль фотонів $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$, мали вміст ліпідів відповідно 14,1% і 11,0%. Таким чином, максимальна продуктивність ліпідів $40 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{д}^{-1}$ була отримана при 60 мкмоль фотонів $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$, що було приблизно в 2 рази більше, ніж при 120 мкмоль фотонів $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ [5].

У природі режим світла переривчастий, і інтенсивність змінюється щодня. Таким чином, зміни в кількості світла призводять до відмінностей в біомасі та біохімічному складі, а мікроводорості проявляють різну адаптацію до різних умов

Література

1. Khoeyi Z. A., Seyfabadi J., Ramezanpour Z. Effect of light intensity and photo period on biomass and fatty acid composition of the microalgae, *Chlorella vulgaris* // Aquacult. Int. 2012. №20. С. 41-49.
2. Tzovenis I., Pauw N. D., Sorgeloos P. Effect of different light regimes on the docosahexaenoic acid (DHA) content of *Isochrysis aff. Galbana* (clone T ISO) // Aquac. Int. 1997. №5. С. 489-507.
3. Sanchez Saavedra M. P., Voltolina D. Effect of photon fluence rates of white and blue-green light on growth efficiency and pigment content of three diatom species in batch cultures // Cienc. Mar. 2002. №28. С. 273-279.
4. Bouterfas R., Belkoura M., Dauta A. The effects of irradiance and photoperiod on the growth rate of three freshwater green algae isolated from a eutrophic lake // Limnologia. 2006. №25. С. 647-656.
5. Lv J. M., Cheng L. H., Xu X.H., Zhang L., Chen H. L. Enhanced lipid production of *Chlorella vulgaris* by adjustment of cultivation conditions // Bioresour. Technol. 2010. №101. С. 6797-6804.