

Біохімічна характеристика біомаси *Spirulina platensis*, отриманої різними способами вирощування

Ольхович О.П., Таран Н.Ю., Караушу О.В., Панюта О.О.

*Кафедра біології рослин, ННЦ «Інститут біології та медицини»,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 60, Київ 01033, Україна
oolga2005@ukr.net*

Надійшла 02.03.2020. Підписана до друку 15.03.2020. Опублікована 24.06.2020

Реферат

Проведена порівняльна оцінка біохімічного складу біомаси *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitler, отриманої з природної водойми та вирощеної штучно у відкритих ставках та в фотобіореакторі закритого типу. Загальний вміст білка виявився нижчим у всіх штучно вирощених зразках водоростей порівняно з природним зразком. Відмічено зниження кількості окремих амінокислот (серину в 5 разів, гістидину втричі, аспарагінової кислоти та проліну вдвічі). Серед незамінних амінокислот суттєво відрізнявся вміст метіоніну, валіну та лейцину. Вміст фікоціаніну був вищим у зразках біомаси з природної водойми та з фотобіореактору, а фікоеритрину та алофікоціаніну – у біомасі водоростей, вирощених у відкритих штучних ставках. Біомаса *S. platensis*, вирощена у фотобіореакторі, мала вищий вміст хлорофілу *a* та каротиноїдів, ніж всі інші зразки, ймовірно, за рахунок більш інтенсивного штучного освітлення порівняно з природним. Встановлені нами суттєві відмінності в біохімічному складі біомаси *S. platensis* свідчать про важливість ретельного підбору умов її вирощування для отримання підвищеного вмісту пігментів з її біомаси для подальшого промислового використання.

Ключові слова: *Spirulina platensis*, біотехнологія водоростей, амінокислоти, білок, фікоціанін, алофікоціанін, фікоеритрин, хлорофіл *a*, каротиноїди

© Ольхович О.П., Таран Н.Ю., Караушу О.В., Панюта О.О., 2020

Вступ

На даний час для потреб людини широко використовують водорості, біомасу яких отримують з природних джерел (Abdulqader et al., 2000; Qiao et al., 2001; Li et al., 2003), відкритих штучних водойм (Guterman et al., 1989; Bao et al., 2012) та шляхом сучасних біотехнологічних процесів (Torzillo et al., 1986; Boussiba, Affalo, 2005; Ferreira et al., 2012). Однією з широко вживаних у світі водоростей, отриманої з природних джерел, є *S. platensis*.

Біомасу спіруліни використовують у раціоні людини як харчову добавку, в медико-біологічних процедурах лікувального та профілактичного характеру, косметичі, спорті, тваринництві, бджільництві, рибористві, птахівництві, ветеринарії та ін. (Belay, 2002, 2008; Gershwin, Belay, 2008; Habib et al., 2008).

Spirulina platensis розглядають як джерело повноцінного білка, амінокислот, особливо незамінних, ліпідів, вуглеводів, пігментів, насамперед фікоціаніну, хлорофілу *a* та β -каротину (Dainippon..., 1980; Santillan, 1982; Henrikson, 1989; Belay, 1993). Природними ареалами і, відповідно, місцями отримання готової біомаси *S. platensis* є лужні озера Африки (Чад, Бодоу, Ромбоу), Китаю (Цинхай), Південної Америки (Тескоко), прісні та солоні водойми Японії, Мексики, Аргентини, Індії та ін. (Thein, 1993; Abdulqader et al., 2000; Li et al., 2001; Qiao et al., 2001). З метою отримання екологічно чистих культур, задля безпечного споживання готової біомаси та виробництва лікувальних і косметичних засобів *S. platensis* вирощують у контрольованих умовах. Для цього застосовують відкриті природні резервуари, штучні басейни, закриті теплиці, фотобіореактори, терасно-каскадні установки з комбінованим освітленням тощо.

Відомо, що *S. platensis*, вирощена за різних умов, може мати різний біохімічний склад (Vonshak et al., 1982; Torzillo et al., 1984; Tomaselli et al., 1988), а отже і вміст промислово-цінних речовин. Тому метою наших досліджень було проведення порівняльного аналізу вмісту білка, амінокислот, пігментів (фікобіліпротеїнів, хлорофілу *a*, каротиноїдів) у зразках водоростей, вирощених за штучних умов лабораторних фотобіореакторів, відкритих ставків та природних водойм.

Матеріали та методи

Матеріалом для досліджень слугувала синьозелена водорість *S. platensis*. У дослідженнях використовували повітряно-суху біомасу чотирьох зразків спіруліни, отриманих у відділі біотехнології Інституту переробки зерна м. Нутеталь (Німеччина), які мали різне походження, а саме:

Spirulina LAB STDZ. Культивувалася в лабораторному фотобіореакторі Інституту якості продукції зерна м. Нутеталь. Поживним середовищем для культивування було стандартне середовище Зарукка (Cheevadhanarak et al., 2012), температуру вирощування підтримували на рівні 25 °C, pH – 7,0, освітлення ~ 100 μmol квантів $\text{m}^2/\text{с}$ у режимі 14 год світла – 10 год темряви.

Біомасу для дослідження відбирали на 7-й день від початку культивування на експоненційній фазі росту та висушували до повітряно-сухого стану;

Spirulina Premium + та *Spirulina Premium II* вирощені за природних умов у відкритій штучній водоймі та висушені в розпилюючій сушарці;

Spirulina Natur. Вирощена за природних умов в озері колишнього кратера вулкана та висушена на повітрі.

Далі визначали вміст хлорофілу *a* та каротиноїдів. Наважку повітряно-сухої біомаси водоростей (0,1 г) гомогенізували з 0,5 г скляного порошку та 0,5 г безводного $\text{Na}_2(\text{SO}_4)_{\text{безв}}$. Гомогенат переносили в скляну колонку з фільтром, додавали 3 мл ацетону та відфільтровували. Для визначення вмісту пігментів 100 мкл ацетонового екстракту переносили в пробірку і додавали 3 мл ацетону. Екстракт пігментів аналізували на спектрофотометрі Shimadzu UV-1800 за довжини хвиль 440, 644 та 664 нм.

Для визначення вмісту фікобілінів (фікоеритрину, фікоціаніну та алофікоціаніну) клітини водоростей руйнували розтиранням у ступці із кварцовим піском. Білки екстрагували натрій-фосфатним буфером (0,05 М з рН 7,0) упродовж доби за 4 °С. Розтерту біомасу водоростей центрифугували 15 хв за 4500 об./хв. Концентрацію фікобілінових пігментів визначали спектрофотометрично на спектрофотометрі Shimadzu UV-1800 вимірюванням оптичної густини екстрактів при максимумах поглинання фікоціаніну 620 нм, алофікоціаніну 650 нм та фікоеритрину 560 нм (Gantt et al., 1979).

Вміст пігментів (мг/мл білка) обчислювали за формулами для синьозелених водоростей:

$$\text{Фікоеритрин} = \frac{D560 - 0,572 \times D620 + 0,246 \times D650}{5,26}$$

$$R\text{-фікоціанін} = \frac{D620 - 0,666 \times D650}{3,86}$$

$$\text{Алофікоціанін} = \frac{D650 - 0,105 \times D620}{4,65}$$

Вміст білка визначали колориметричним біуретовим методом (Gornall et al., 1949). Сухий матеріал, що залишився на фільтрі після процедури відмивання ацетоном, переносили в пробірку і додавали 4 мл 2,5%-вої трихлороцтової кислоти. Після центрифугування впродовж 5 хв при 5000 об супернатант видаляли і всю процедуру повторювали. Потім аналогічну процедуру проводили з використанням 5 мл дистильованої води, додавали 5 мл 0,05 н. NaOH у пробірку, де містився сухий матеріал, і центрифугували. По закінченні центрифугування відбирали 3 мл розчину з верхньої фракції та змішували з 0,5 мл біуретового реактиву (20 г NaOH розчиняли в 0,5 л води, додавали 22 г $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 7,5 г CuSO_4 та 12,5 г KI). Оптичну щільність вимірювали при довжині хвилі 550 нм на спектрофотометрі Shimadzu UV-1800.

Вміст амінокислот та ацилкарнітинів визначали методом тандемної мас-спектрометрії (Mikhaylova et al., 2004) за допомогою мас-спектрометра AB Sciex 2000 з автосамплером Ultimate 3000 (Dionex). Для аналізу використовували диск діаметром 3 мм. У ході підготовки зразків до кожної проби (20 мкл екстракту, що використовувався для визначення білка) додавали внутрішній стандарт (суміш мічених дейтерієм амінокислот з відомими концентраціями) у кількості 200 мкл на зразок. Після інкубації з внутрішнім стандартом зразки висушували та проводили дериватизацію за допомогою 3 н. бутанол/HCl. Після висушування зразки розчиняли в реконституційному буфері та завантажували в автосамплер Ultimate 3000.

З метою розрахунку кількості амінокислот в дослідному зразку попередньо на колонку автоматичного аналізатора наносили стандартну суміш з відомою концентрацією кожної амінокислоти. На хроматограмі розраховували площу піку амінокислоти. Кількість мікромолей для кожної амінокислоти (X_1) у досліджуваному розчині вираховували за формулою: $X_1 = S_1 / S_0$, де S_1 – площа піку амінокислоти в досліджуваному зразку; S_0 – площа піку цієї амінокислоти в розчині стандартної суміші амінокислот, що відповідає 1 мкмоль кожної амінокислоти.

Кількість суміші у міліграмах отримували множенням кількості мікромолей певної амінокислоти на відповідну їй молекулярну масу. Якісний склад суміші амінокислот визначали, порівнюючи хроматограми дослідного зразка зі стандартною сумішшю амінокислот (Ovchynnikova, 1974). Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали за допомогою програми Microsoft Office Excel; вони вважалися достовірними (за t -критерієм Стьюдента) за рівня значущості $p \leq 0,05$.

Кількість біологічних повторів та аналітичних повторностей у досліді була не менше трьох.

Результати та обговорення

За результатами біохімічного аналізу зразків біомаси спіруліни, вирощеної за різних умов, встановлено, що вміст цінних компонентів, таких як пігменти, білки, амінокислоти та ацилкарнітини, суттєво відрізняється.

Вміст хлорофілу a виявився високим у всіх штучно вирощених водоростей (рис. 1), найбільшим – у *Spirulina LAB STDZ* (9,8 мг/г), майже вдвічі нижчим (4,6 та 4,8 мг/г) у *Spirulina Premium II* і *Spirulina Premium* + відповідно і найнижчим (4,0 мг/г) – у вирощеної за природних умов *Spirulina Natur*. Через високий вміст хлорофілу a *Spirulina LAB STDZ* є найперспективним джерелом феофітину a , який використовують у фармакологічній промисловості для отримання фотосенсибілізатору хлорину e_6 та його похідних, які використовуються у фотодинамічній терапії онкологічних захворювань та в офтальмології (Trukhacheva et al., 2013).

Найбільший вміст каротиноїдів (2,3 мг/г) виявлено у *Spirulina LAB STDZ* (2,3 мг/г), а найменший (1,3 мг/г) – у *Spirulina Premium* +. Ці показники мали проміжні значення у *Spirulina Premium II* – 1,6 мг/г і *Spirulina Natur* – 1,4 мг/г (рис. 1).

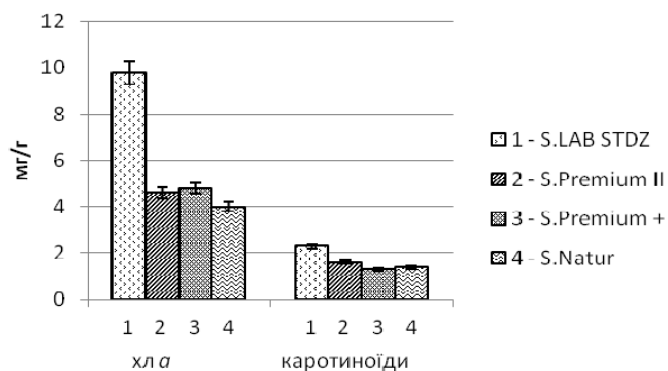


Рис. 1. Вміст хлорофілу *a* та суми каротиноїдів у біомасі *Spirulina platensis*, отриманої різним способом вирощування

Збільшення вмісту хлорофілу *a* та суми каротиноїдів у водоростей, вирощених у лабораторних умовах, може бути наслідком збільшення інтенсивності або періоду освітлення порівняно з природними умовами.

Вміст фікоціаніну переважав у *Spirulina Natur* і *Spirulina LAB STDZ*, причому мав однакові значення (0,5 мг/мл), а у *Spirulina Premium II* і *Spirulina Premium +* був значно нижчим – відповідно 0,37 і 0,36 мг/мл (рис. 2).

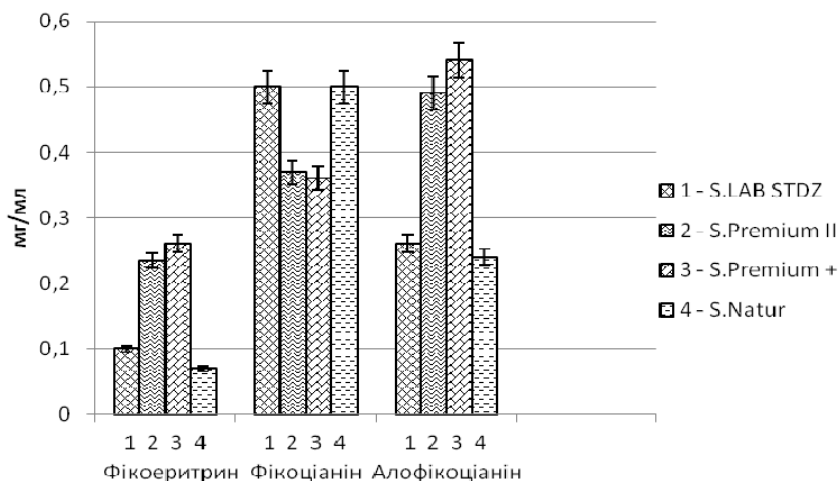


Рис. 2. Вміст фікобілінів у біомасі *Spirulina platensis*, отриманої різним способом вирощування

Кількість фікоеритрину у *Spirulina Premium +* була найвищою (0,26 мг/мл) та у *Spirulina Premium II* (0,24 мг/мл), що втричі вище, ніж у *Spirulina Natur* (0,07 мг/мл). Вміст алофікоціаніну був найбільшим у *Spirulina Premium +* (0,54 мг/мл) та *Spirulina Premium II* (0,49 мг/мл), що понад удвічі вище, ніж у *Spirulina Natur* (0,24 мг/мл). За показниками вмісту фікоеритрину, фікоціаніну та алофікоціаніну найбільше до

природного зразка *Spirulina Natur* (0,07; 0,5; 0,24 мг/мл відповідно) була вирощена в лабораторних умовах *Spirulina LAB STDZ* (0,1; 0,5; 0,26 мг/мл) (див. рис. 2).

Таким чином, нами було підтверджено, що біомаса спіруліни, яка була вирощена в штучних умовах у відкритих ставках і лабораторних фотобіореакторах, істотно відрізняється за досліджуваними пігментами не тільки від біомаси *Spirulina Natur*, відібраної за природних умов, а й між собою. Це свідчить про важливість підбору умов вирощування спіруліни для отримання підвищеного вмісту пігментів з її біомаси.

Важливим практичним завданням сучасної біотехнології вирощування *S. platensis* є забезпечення оптимального виходу білка. Відомо, що з однієї культури водорості, вирощеної на різних поживних середовищах, за різної інтенсивності світла та кількості вуглекислоти в середовищі, різної тривалості та періодичності світлового й темного періодів можна отримати біомасу *S. platensis* із вмістом білка від 10 до 70% (Vonshak, 1997) та широким діапазоном вмісту певних амінокислот, у т.ч. незамінних.

У зв'язку із цим нами було зроблено припущення, що вміст білка в біомасі водорості, отриманої різними способами вирощування, буде істотно відрізнятися залежно від типу культивування, а саме в умовах штучних фотобіореакторів, штучних відкритих ставків та природних водойм.

Результати досліджень представлені на рис. 3.

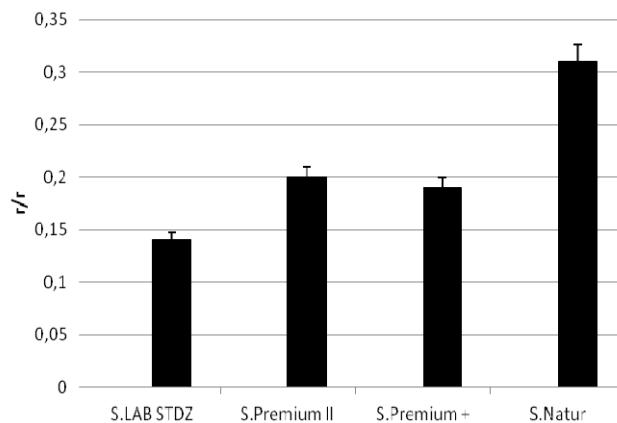


Рис. 3. Вміст білка в біомасі *Spirulina platensis*, отриманої різними способами вирощування

Найбільший вміст білка (0,31 г/г) виявлено у *Spirulina Natur*, а найменший (0,14 г/г) – у *Spirulina LAB STDZ*. Тобто, у контрольованих умовах фотобіореактора вміст білка суттєво (понад як удвічі) зменшився. Середній показник вмісту білка був у *Spirulina Premium II* (0,20 г/г) та *Spirulina Premium +* (0,19 г/г), він достовірно не відрізнявся у цих двох зразках, які вирощувалися в схожих умовах, а саме у відкритих ставках за контрольованих умов.

У *S. platensis* нами було ідентифіковано 17 амінокислот і визначено їхній кількісний вміст. Встановлено різницю у кількості та співвідношенні окремих амінокислот, що входять до складу білка зразків біомаси *S. platensis*, вирощеної за різних умов у природних і штучних водоймах і в лабораторному фотобіореакторі (рис. 4).

Порівняльна оцінка показала, що загальний вміст досліджуваних амінокислот у *S. platensis* при зміні природних умов на штучні (особливо лабораторного фотобіореактора) зменшився з 140,62 до 125,75 мкМ/г. Це відбулося за рахунок зменшення вмісту 12 з 17 досліджуваних амінокислот. Істотні зміни спостерігалися у вмісті аспарагінової кислоти (удвічі), гістидину (утричі), метіоніну (у 2,5 рази), проліну (удвічі) і серину (у 5 разів).

У *Spirulina LAB STDZ* відмічено найбільший серед досліджуваних зразків вміст глютамінової кислоти, у *Spirulina Premium II* – аланіну, аргініну, гліцину, лейцину, проліну та тирозину, у *Spirulina Natur* – 5-оксопроліну, гістидину, метіоніну, орнітину, серину, валіну та триптофану. У *Spirulina Premium+* не виявлено найбільшого вмісту жодної амінокислоти.

Серед досліджуваних амінокислот виявлено 5 незамінних: валін, триптофан, фенілаланін, метіонін і лейцин. Загальний вміст цих амінокислот у біомасі, вирощеній за штучних умов порівняно з природною біомасою, зменшився майже в 1,5 раза (з 31,5 до 24,73 мкМ/г), при цьому вміст фенілаланіну та триптофану не змінився, а метіоніну – знизився на 2,1 мкМ/г, валіну – на 7 і лейцину – на 1,05 мкМ/г.

Показник співвідношення суми заміних до суми незамінних амінокислот при фототрофному лабораторному вирощуванні у фотобіореакторі *Spirulina LAB STDZ* становив 2,56, а при природному вирощуванні у *Spirulina Natur* – 3,12.

Аналіз складу амінокислот у всіх досліджуваних зразках показав зменшення при лабораторному культивуванні в фотобіореакторі по відношенню до вирощування у природних умовах сумарного вмісту амінокислот і суми незамінних амінокислот. Оскільки саме амінокислотний склад є головним критерієм якості сировини та біологічної цінності білка спіруліни, його слід враховувати при виборі способів культивування біомаси цієї водорості при використанні як фармацевтичної сировини.

Значення рослинних ацилкарнітинів як потенційно цінних нутрієнтів на сьогодні мало відоме. Крім того, їхній вміст у розрахунку на загальну біомасу *S. platensis* є досить низьким. Відомо, що рослинні ацилкарнітини завжди присутні під час анаболічних процесів ліпідного обміну. Їхній низький вміст відносно ацил-КоА дозволяє припустити, що вони пов'язані з конкретними пулами активованих жирних кислот. Результати вмісту ацилкарнітинів у біомасі *S. platensis* представлено на рис. 5.

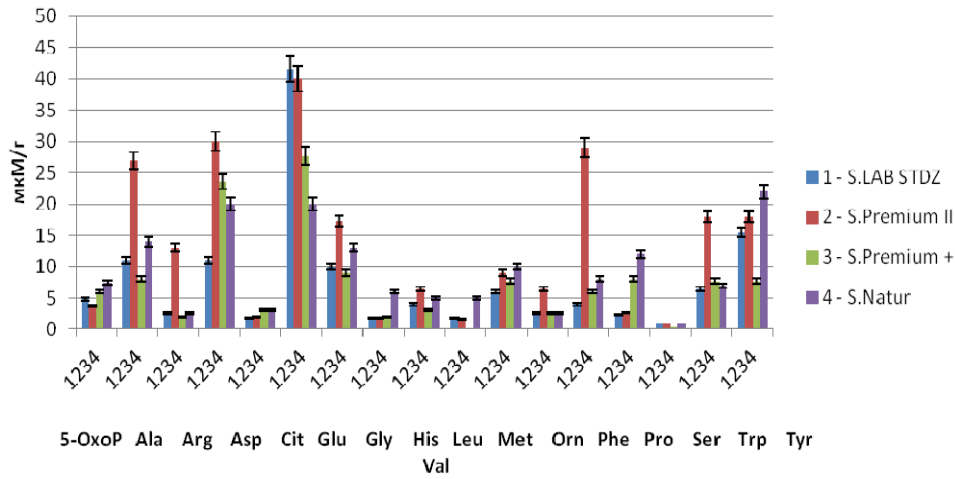


Рис. 4. Вміст амінокислот (5Oxo-Pro – 5-оксопролін, Ala – аланін, Arg – аргінін, Asp – аспарагінова кислота, Cit – цитрулін, Glu – глутамінова кислота, Gly – гліцин, His – гістидин, Leu – лейцин, Met – метіонін, Orn – орнітин, Phe – фенілаланін, Pro – пролін, Ser – серин, Trp – триптофан, Tyr – тирозин, Val – валін) у біомасі *Spirulina platensis*, отриманої різними способами вирощування

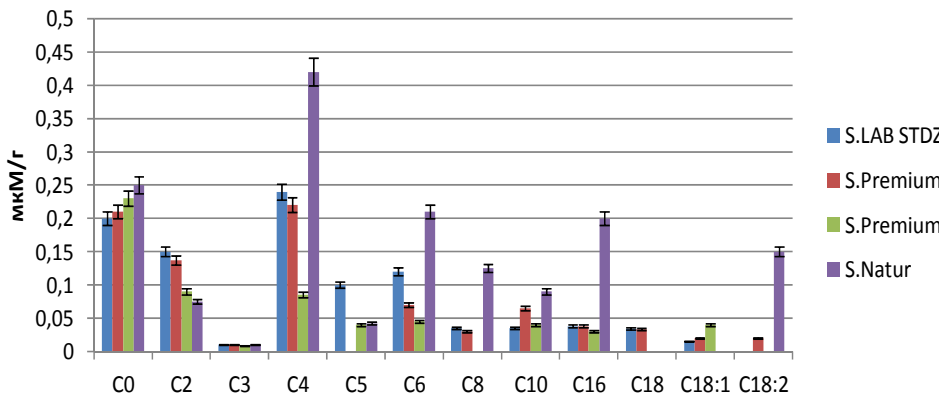


Рис. 5. Вміст ацилкарнітинів (C0-вільний карнітин, C2-ацетилкарнітин, C3-пропіонілкарнітин, C4-бутирилкарнітин, C5-ізовалерилкарнітин, C6-гексаноїлкарнітин, C8-октаноїлкарнітин, C10-деканоїлкарнітин, C16-пальмітоїлкарнітин, C18-стеарилкарнітин, C18:1-олеїлкарнітин, C18:2-лінолеїлкарнітин) у біомасі *Spirulina platensis*, отриманої різними способами вирощування

У дослідних зразках біомаси *S. platensis* було ідентифіковано 12 ацилкарнітинів, причому усі вони містилися лише у *Spirulina LAB STDZ*. У *Spirulina Premium II* був відсутній C5-ізовалерилкарнітин, у *Spirulina Premium+* – C8-октаноїлкарнітин і C18:2-лінолеїлкарнітин, а у *Spirulina Natur* – C18-стеарилкарнітин і C18:1-олеїлкарнітин.

Істотно відрізнявся також вміст усіх інших ацилкарнітинів відповідно до умов вирощування. Так, у *Spirulina LAB STDZ* найвищим був вміст п'яти ацилкарнітинів: С0-вільний карнітин, С2-ацетилкарнітин, С4-бутирилкарнітин, С5-ізовалерилкарнітин та С6-гексаноїлкарнітин. У *Spirulina Premim II* та *Spirulina Premium* + найвищим був вміст трьох ацилкарнітинів: С0-вільний карнітин, С2-ацетилкарнітин та С4-бутирилкарнітин, та у *Spirulina Natur 4* ацилкарнітинів: С0-вільний карнітин, С4-бутирилкарнітин, С6-гексаноїл-карнітин і С8-октаноїлкарнітин.

Вміст інших ацилкарнітинів суттєво відрізнявся в усіх досліджуваних зразках. Навіть у *Spirulina Premium* + і *Spirulina Premium II*, які вирощувалися в подібних умовах у відкритих штучних водоймах, він не залишався постійним. Ще більші відмінності у складі ацилкарнітинів відзначено між природною водорістю *Spirulina Natur* і вирощеною в лабораторних умовах фотобіореактора *Spirulina LAB STDZ* (рис. 5).

Нами підтверджено, що за різних умов вирощування *S. platensis* (за природного освітлення, мінерального живлення і фототрофних умов фотобіореакторів з підбором оптимальних живильних середовищ) отримані біомаси відрізняються за вмістом хлорофілу *a*, каротиноїдів, фікобілінів, амінокислот та ацилкарнітинів. При цьому фототрофні умови закритих фотобіореакторів із збалансованим періодичним живленням сприяють збільшенню вмісту деяких фотосинтетичних пігментів (понад як удвічі хлорофілу *a*, у 1,5 раза каротиноїдів), але не впливають на вміст таких промислово-важливих сполук, як фікоціанін та алофікоціанін. У *Spirulina Premium II* та у *Spirulina Premium* +, вирощених у штучних водоймах, спостерігалось зниження фікоціаніну з 0,5 до 0,36 мг/мл та збільшення фікоеритрину з 0,07 до 0,23–0,26 мг/мл та алофікоціаніну з 0,24 до 0,49–0,54 мг/мл відповідно порівняно з вирощеною в природних умовах *Spirulina Natur*.

У той же час, загальний вміст досліджуваних амінокислот у *Spirulina LAB STDZ* при лабораторному культивуванні в фотобіореакторі був значно нижчим, ніж у *Spirulina Natur*, вирощеної в природних умовах. При цьому знижувався також вміст незамінних амінокислот, які є надзвичайно цінними нутрієнтами.

Висновки

1. Аналіз зразків біомаси *Spirulina platensis*, отриманих різними способами вирощування, показав, що вміст білка, окремих пігментів, амінокислот та ацилкарнітинів може відрізнятися в декілька разів, що слід враховувати при промисловому використанні біомаси цієї водорості для отримання цінних продуктів.

2. *Spirulina LAB STDZ*, вирощена в штучних умовах фотобіореактора за регулярного штучного освітлення, мала вищий вміст фотосинтетичних пігментів, таких як хлорофіл *a* та каротиноїди, ніж *Spirulina Premium II*, *Spirulina Premium* + і *Spirulina Natur*, отриманих з водою з природним освітленням.

3. Вміст фікоціаніну був значно вищим у *Spirulina Natur* і *Spirulina LAB STDZ*, а фікоеритрину та алофікоціаніну – у *Spirulina Premium* + та у *Spirulina Premium II*.

4. Загальний вміст досліджуваних амінокислот та вміст суми незамінних амінокислот був найбільшим у *Spirulina Natur* (природний вид), а найменшим – у *Spirulina LAB STDZ*, яка культивувалася в штучних умовах. У *Spirulina Natur* з 17 ідентифікованих амінокислот вміст 14, серед яких 5 незамінних (валін, триптофан, фенілаланін, метіонін і лейцин), був найбільшим серед досліджуваних видів.

5. Співвідношення суми замісних до суми незамінних амінокислот у *Spirulina Natur*, вирощеної за природних умов, дорівнювало 3,12, а у *Spirulina LAB STDZ*, вирощеної у фотобіореакторі, – 2,56. Серед незамінних амінокислот суттєво відрізнявся вміст метіоніну, валіну та лейцину.

6. Склад ацилкарнітинів виявився найбільшим у *Spirulina LAB STDZ*, а найменшим – у *Spirulina Natur*.

REFERENCES

- Abdulqader G., Barsanti L., Tredici M. 2000. Harvest of *Arthrospira platensis* from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu. *J. Appl. Phycol.* 12: 493–498.
- Bao Y., Liu M., Wu X., Cong W., Ning Z. 2012. In situ carbon supplementation in large-scale cultivations of *Spirulina platensis* in open raceway pond. *Biotechnol. and Bioprocess Eng.* 17: 93–99.
- Belay A. 1993. Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina*. *J. Appl. Phycol.* 5(2): 235–241.
- Belay A. 2002. The potential application of *Spirulina (Arthrospira)* as a nutritional and therapeutic supplement in health management. *J. Amer. Nutra Assoc.* 5(2): 27–48.
- Belay A. 2008. *Spirulina (Arthrospira)*: production and quality assurance In: *Spirulina in Human Nutrition and Health*. London: CRC Press Taylor & Francis Group. Pp. 1–25.
- Boussiba S., Affalo C. 2005. An insight into the future of microalgal biotechnology. *Innovat. Food Technol.* 28: 37–39.
- Cheevadhanarak S., Paithoonrangsarid K., Prommeenate P. 2012. Draft genome sequence of *Arthrospira platensis* C1 (PCC9438). *Stand. Genom. Sci.* 6: 43–53.
- Dainippon Ink & Chemicals Inc. 1980. *Production of highly purified alcoholophilic phycocyanin*. Jap. Pat., no. 80 77 890.
- Ferreira L.S., Rodrigues M.S., Converti A., Sato S., Carvalho J.C.M. 2012. *Arthrospira (Spirulina) platensis* cultivation in tubular photobioreactor: use of no-cost CO₂ from ethanol fermentation. *Appl. Energy.* 92: 379–385.

- Gantt E., Lipschultz C., Grabowski J., Zimmerman K. 1979. Phycobilisomes from blue-green and red algae. *Plant Physiol.* 63: 615–620.
- Gershwin M.E., Belay A. 2008. *Spirulina in human nutrition and health*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. 227 p.
- Gornall A.G., Bardawill C. J., David M. M. 1949. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.* 177(2): 751–766.
- Guterman H., Vonshak A., Ben-Yaakov S. 1989. Automatic on-line growth estimation method for outdoor algal biomass production. *Biotechnol Bioeng.* 34: 143–152.
- Habib B., Parvin N., Huntington T.C., Hasan M.R. 2008. A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animal and fish. *FAO Fisher. and Aquac. Circular.* (1034): 1–33.
- Henrikson R. 1989. *Earth food spirulina: how this remarkable blue-green algae can transform your health and our planet*. California: Ronore Enterpris. 174 p.
- Li B.S., Qiao V., Tian X.Y. 2003. Potential to development *Spirulina platensis* with alkaline lakes in Orodos Plateau. *Plant Mag.* 6: 18–20.
- Mikhaylova S.V., Baydakova G.V., Boukina A.M., Boukina T.M., Shechter O.V., Ilina E.S., Zakharova E.Y. 2004. Combination of tandem mass spectrometry and lysosomal enzymes analysis-effective tool for selective screening for IEM in neurological clinic. *J. Inherit. Metab. Dis.* 27(1): 39.
- Ovchynnikov Yu.A. 1974. *New methods of analysis of amino acids, peptides and proteins*. Moscow: Mir. 154 p. [Rus.]
- Qiao C., Li B.S., Zeng Z.Q. 2001. Alkaline lakes and *Spirulina (Arthrospira)* resources in sandy land of Erdos. *J. Arid Land Res. Environ.* 15(4): 86–91.
- Santillan C. 1982. *Mass production of Spirulina. New trends in research and utilization of solar energy through biological systems*. 1st ed. Basel: Birkhäuser. Pp. 46–49.
- Thein M. 1993. Production of *Spirulina* in Myanmar. *Bull. Inst. Océanograph. Monaco.* 12: 175–178.
- Tomaselli L., Giovannetti L., Sacchi A., Bocci F. 1988. Effects of temperature on growth and biochemical composition in *Spirulina platensis* strain M2 Staedler. In: *Algal Biotechnology*. London, New York: Elsevier Appl. Sci. Pp. 305–314.
- Torzillo G., Giovannetti L., Bocci F., Materassi R. 1984. Effect of oxygen concentration on the protein content of *Spirulina* biomass. *Biotechnol Bioeng.* 26: 1134–1135.
- Torzillo G., Pushparaj B., Bocci F., Balloni W., Materassi R., Florenzano G. 1986. Production of *Spirulina* biomass in closed photobioreactors. *Biomass.* 11: 61–74.
- Trukhacheva T.V., Shlyakhtin S.V., Isakov G.A., Istomin Y.P. 2013. *Fotolon modern photosensitizer for photodynamic therapy: review of pharmaceutical, pharmacological and clinical research results*. Minsk: Paradoks. 103 p. [Rus.]
- Vonshak A. 1997. *Spirulina: growth, physiology and biochemistry. Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology*. London: Taylor & Francis. 235 p.
- Vonshak A., Abeliovich A., Boussiba S., Arad S., Richmond A. 1982. Production of *Spirulina* biomass: effects of environmental factors and population density. *Biomass.* 2: 175–185.

Підписала до друку О.К. Золотарьова

Olkhovych O.O., Taran N.Yu., Karaushu O.V., Panyuta O.O.

Educational and Scientific Centre "Institute of Biology and Medicine" National Taras Shevchenko University of Kyiv,
60 Volodymyrska Str., Kyiv 01033, Ukraine

Biochemical characteristics of *Spirulina platensis* biomass obtained by different modes of cultivation

A comparative assessment of the biochemical composition of *Spirulina* (Nordst.) Geitler, *platensis* was made. Biomass was obtained from a natural reservoir and grown artificially in opened ponds and a closed-type photobioreactor. It was found that the total protein content was lower in all samples of artificially grown algae, compare to the natural sample. And it was observed the decrease in number of individual amino acids (serine five times, histidine three times, aspartic acid and proline twice). The amount of essential amino acids (methionine, valine and leucine) differed significantly. Phycocyanin was higher in biomass samples from natural reservoirs and photobioreactors, either phycoerythrin and allophycocyanin were higher in biomass samples that were grown in opened ponds. The biomass of *Spirulina platensis*, that was grown in the photobioreactor, had a higher content of chlorophyll A and carotenoids than all other samples, probably due to more intense artificial illumination compare to the natural one. The significant differences were found in the biochemical composition of *Spirulina platensis* biomass. It indicates the importance of careful selection of growing conditions for the biomass production for the industrial use.

Key words: *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitler, algae biotechnology, amino acids, protein, phycocyanin, allophycocyanin, phycoerythrin, chlorophyll *a*, carotenoids