ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДНИХ РОСЛИН

УДК: 582.263:581.19

Н.І. КІРПЕНКО, д. б. н., пров. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ 04210, Україна
П.М. ЦАРЕНКО, д. б. н., проф., член-кор. НАН України,
Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,
вул. Терещенківська, 2, Київ, 02000, Україна,
e-mail: ptsar@ukr.net
ORCID 0000-0003-0711-8573
О.М. УСЕНКО, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ 04210, Україна,
e-mail: oleg.mikh.usenko@gmail.com
ORCID 0000-0002-0782-7292
Т.О. ЛЕОНТЬЄВА, аспірант,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ 04210, Україна,
e-mail: leontieva3394@gmail.com
ORCID 0000-0003-4482-328X

ШТАМ ЗЕЛЕНОЇ МІКРОВОДОРОСТІ *MONORAPHIDIUM* SP. HPDP-105 — ПРОДУЦЕНТ БІОЛОГІЧНО ЦІННИХ СПОЛУК

Вивчено морфологічні характеристики, особливості росту, накопичення біологічно цінних сполук та склад жирних кислот штаму зеленої мікроводорості Monoraphidium sp. HPDP-105. Встановлено, що штам мезотермофільний, найінтенсивніше функціонує у діапазоні температур 22—28 °С, за освітленості в 1500 лк, в період активного росту містить 10,4—13,3 % білків, 14,4—23,5 % вуглеводів та 32,0—44,5 % ліпідів. За вмістом ліпідів Monoraphidium sp. HPDP-105 відноситься до високопродуктивних штамів, причому його характерною особливістю є підтримання високого вмісту ліпідних сполук на різних стадіях росту культури. Основу профілю жирних кислот Monoraphidium sp. складають олеїнова (34,9 % від суми жирних кислот), пальмітинова (26,6 %) та лінолева кислоти (19,0 %). Високий вміст ліпідів, кількість та співвідношення жирних кислот свідчать про перспективність цього штаму для виробництва біодизелю.

Ключові слова: *Monoraphidium sp., стадії росту, температура, освітленість, білки, вуглеводи, ліпіди, жирні кислоти.*

Цитування: Кірпенко Н.І., Царенко П.М., Усенко О.М., Леонтьєва Т.О. Штам зеленої мікроводорості *Monoraphidium* sp. HPDP-105 — продуцент біологічно цінних сполук. *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57. № 4. С. 88—98.

Сучасні біотехнології значною мірою орієнтовані на використання мікроводоростей. Багато їхніх видів відзначається здатністю активно нарощувати біомасу та синтезувати біологічно цінні сполуки, які знайшли або можуть знайти застосування у господарській діяльності людини [6, 14, 21, 22, 39, 43]. Промисловий фотосинтез на базі вирощування мікроводоростей застосовують для одержання біомаси з метою створення «живих» кормів чи білково-вітамінних добавок до раціону тварин, фармацевтичних засобів або харчових барвників на основі препаративно виділених біохімічних компонентів тощо [4, 18, 22]. У зв'язку з цим продовжується активний пошук серед мікроводоростей нових об'єктів біотехнології та шляхів їхнього застосування [14, 17, 24, 31].

Актуальним напрямком практичного застосування мікроводоростей є їхнє використання в якості альтернативного ресурсу відновлюваної енергії [36]. Біомаса мікроводоростей є потенційним джерелом ліпідів — високоенергетичних сполук, при згоранні яких виділяється більше енергії, ніж при згоранні інших органічних сполук. У зв'язку з цим багату на ліпіди біомасу мікроводоростей можна успішно використовувати як відновлювану сировину для виробництва біопалива [1, 3, 24, 25, 27, 41].

Біомасу мікроводоростей відносять до третього покоління сировини, виробництво якої відзначається суттєвими перевагами: високою швидкістю росту культур, меншою потребою у площі, високим виходом з її одиниці, а також можливістю цілорічного вирощування. Суттєвим недоліком цього напряму біоенергетики є порівняно висока вартість одержання водоростевих ліпідів. У зв'язку з цим, одним з пріоритетних завдань альтернативної енергетики є пошук штамів водоростей з високим вмістом ліпідів, що сприятиме зниженню собівартості та підвищенню рентабельності одержання біопалива [21].

Відомо, що вміст ліпідів у водоростях коливається в широких межах — від 1 до 70 % від сухої маси [34], але максимальні показники накопичення цих речовин характерні лише для небагатьох видів [24]. У більшості морських зелених водоростей кількість цих сполук становить лише 2,5—6,0 % [8]. Для прісноводних зелених водоростей цей показник суттєво вищий: у клітинах *Acutodesmus dimorphus* (Turpin) P. Tsarenko кількість речовин ліпідної природи (за звичайних умов культурального вирощування) досягає 5—18 % від сухої маси [10], у представників хламідомонад — 18,0—22,3, евглен — 24,5—26,0, дуналіел — 22,0—25,6 [33, 39], у видів роду *Ankistrodesmus* 6,4—25,9 [5, 34], а біомаса *Botryococcus braunii* містить до 75 % ліпідів (за певних умов та застосування деяких технологічних прийомів — навіть до 90 %) [6, 19, 23, 27, 38].

Досить високі показники накопичення ліпідів пояснюють залучення зелених прісноводних мікроводоростей до потенційних продуцентів ліпідовмісної біомаси для альтернативної енергетики.

Останнім часом значний інтерес дослідників викликають кокоїдні зелені мікроводорості р. *Monoraphidium* Komark.-Legner. (Selenastraceae, Chlorophyta), що відзначаються широким діапазоном толерантності до впливу різних абіотичних чинників і значним продукційним потенціа-

лом та містять значну кількість білків і ліпідів, у тому числі незамінних жирних кислот [11, 16, 20, 28, 40, 42, 45].

Отже, метою роботи було встановлення особливостей росту зеленої мікроводорості *Monoraphidium* sp., оптимальних умов її культивування та накопичення біологічно цінних сполук.

Матеріал і методика досліджень

Штам зеленої мікроводорості *Monoraphidium* sp. депонований у колекції живих культур водоростей Інституту гідробіології НАН України за реєстраційним номером HPDP-105 [9]. Штам одержано на основі культури *Monoraphidium* sp. IBASU-A B-166 шляхом багаторазових пересівів на рідкому середовищі Фітцджеральда у модифікації Цендера і Горема і ідентифіковано за морфологічними ознаками [12, 29].

Для встановлення поставленої мети штам *Monoraphidium* sp. вирощували у періодичній екстенсивній культурі в лабораторних умовах на рідкому середовищі Фітцджеральда в модифікації Цендера і Горема [7], в діапазоні температур 22—28±0,5 °С, з освітленням лампами *Feron LB-712* зі світловим потоком 1100 лм й освітленістю на поверхні колб 1500 лк та 2500 лк, з чергуванням світлого і темного періодів 16 : 8 год і періодичним перемішуванням.

У процесі досліджень контролювали інтенсивність росту водорості шляхом підрахунку кількості клітин під світловим мікроскопом ЛОМО Микмед-2. З метою порівняння ростових характеристик водорості в різних умовах розраховували питому швидкість росту ($\mu = \frac{N_t - N_0}{N_0 \times \Delta t}$, доба$^{-1}$) на різних етапах росту культури або в середньому за період спостережень [7, 30]. Інтенсивність фотосинтезу та дихання визначали йодометричним методом [7], загальний вміст білків встановлювали методом Лоурі [32], кількість вуглеводів визначали гравіметричним методом після екстракції 70 %-вим етанолом [2], а вміст ліпідів — за допомогою екстракції сумішшю хлороформ:метанол у співвідношенні 2 : 1 [11]. Вміст біохімічних компонентів ($M \pm m$, $n = 3$) розраховували у відсотках від сухої маси, яку визначали шляхом висушування до постійної ваги наважок клітинної маси, відокремленої від культурального середовища [7].

При визначенні ліпідного складу клітин *Monoraphidium* sp. здійснювали аналіз метилових ефірів жирних кислот методом газової хроматографії на хроматографі *GS-16A «Shimadzu»* (Японія) з можливістю програмування температури до 330 °С, використовуючи полум'яно-іонізаційний детектор та програмне забезпечення *«GS solution»*. Для розділення використовували капілярну колонку *THERMO TR-FAME* (30 mm× 0,25 mm ID× 0,25 mm film) з температурним градієнтом від 70 до 230 ° С. Нерухома фаза — 70 % Cyanopropyl (equiv) Polysiphenylene-siloxane, рухома фаза — гелій зі швидкістю потоку газу 1 мл/хв. Температура інжектора та детектора становила відповідно 280 °С та 260 °С. Ідентифікацію жирних кислот проводили шляхом порівняння часу утримання компонентів

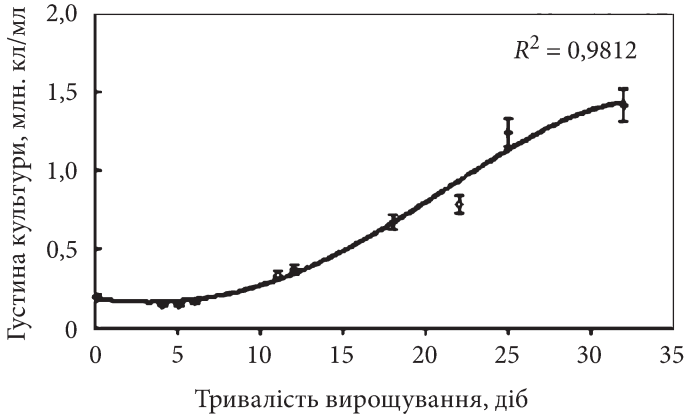

Рис. 1. Крива росту штаму *Monoraphidium* sp. (R^2 — достовірність апроксимації)

суміші з часом утримання відповідних стандартних сполук. Вміст жирних кислот подано у відсотках від їх загальної суми. Отримані результати опрацьовані статистично з використанням стандартного пакету програм *Microsoft Office* 2013.

Результати досліджень та їх обговорення

Проведені мікроскопічні дослідження культури *Monoraphidium* sp. виявили наступні морфо-фізіологічні характеристики штаму: це одноклітинна зелена кокоїдна водорість веретеновидної форми, з рівномірно звуженими та загостреними кінцями, інколи гачкоподібно зігнутими і злегка притупленими, парієтальним хлоропластом, який виповнює майже увесь периметр клітини, без піреноїда. Довжина вегетативних клітин становила 17,0—37,8 мкм, ширина — 2,2—4,5 мкм, для материнських клітин (автоспорангіїв) — відповідно 27,6—47,2 та 6,9— 8,9 мкм, автоспор — 11,8—17,1 та 2,4—4,3 мкм. Розмноження — чотирма автоспорами, які звільняються при поперечному екваторіальному розриві оболонки материнської клітини і зрідка формують послідовне з'єднання між собою. Впродовж лабораторного культивування штам зростав у вигляді гомогенної суспензії, в якій клітини починали осідати на дно лише на стаціонарній стадії росту культури. Ріст культури описувався класичною *S*-подібною кривою (рис. 1).

Тривалість лаг-фази за екстенсивного лабораторного вирощування становила 3—5 діб, фази інтенсивного росту — 5—28 діб, на 30-ту добу культура зазвичай переходила у стаціонарну фазу і надалі тривалий час зберігалась в активному життєздатному стані.

Штам мезотермофільний, здатний зростати у діапазоні температур 20—31 °С, найвищих показників швидкості росту (0,59—0,79 доба$^{-1}$) досягав при 22—28 °С (рис. 2). Подальше підвищення температури викликало суттєве зниження інтенсивності росту.

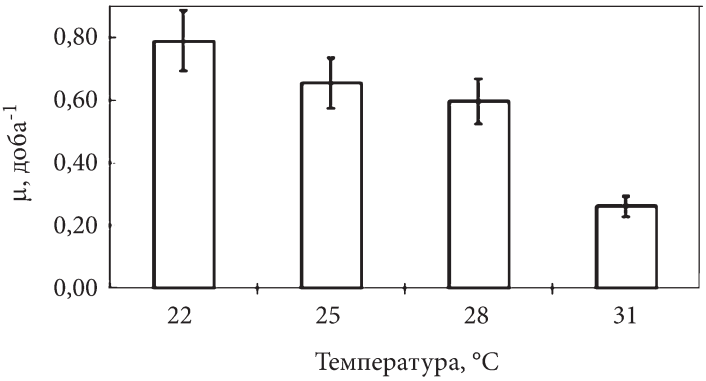

Рис. 2. Швидкість росту μ штаму *Monoraphidium* sp. за різних температур

Штам чутливий до змін освітленості, яка, поряд з температурою, впливає на динаміку росту культури (табл. 1).

За температури 22 °С освітленість 2500 лк була дещо надлишковою, що не сприяло інтенсивному розмноженню водорості. Найінтенсивніший ріст культури зафіксований при освітленості 1500 лк протягом 21—28 діб. Водночас, при вищій температурі 28 °С найвища освітленість забезпечувала й вищу продуктивність культури, однак на більш ранніх етапах росту, протягом 14—27 діб, з подальшим зниженням.

Отже, динаміка росту *Monoraphidium* sp. характеризується залежністю від температури і освітленості, проте високі показники інтенсивності росту дозволяють визначити температурний інтервал 22—28 °С та освітленість 1500 лк як оптимальні для вирощування цього штаму.

Дослідження функціональної активності культури показало, що найвищі показники питомого фотосинтезу та дихання *Monoraphidium* sp. також характерні для температурного режиму у межах 22—28 °С (рис. 3), при цьому максимальна фотосинтетична активність спостерігалась для однотижневої культури.

Визначення біохімічного складу клітин *Monoraphidium* sp. продемонструвало порівняно невисоку амплітуду коливань вмісту білків, вугле-

Таблиця 1

Питома швидкість росту (μ, доба$^{-1}$) **на різних періодах росту культури *Monoraphidium* sp. залежно від температури та освітленості**

Періоди росту культури, діб	22 °С		28 °С	
	1500 лк	2500 лк	1500 лк	2500 лк
7—14	0,03	0,06	0,04	0,03
14—21	0,11	0,03	0,10	0,47
21—28	0,38	0,02	0,10	0,20

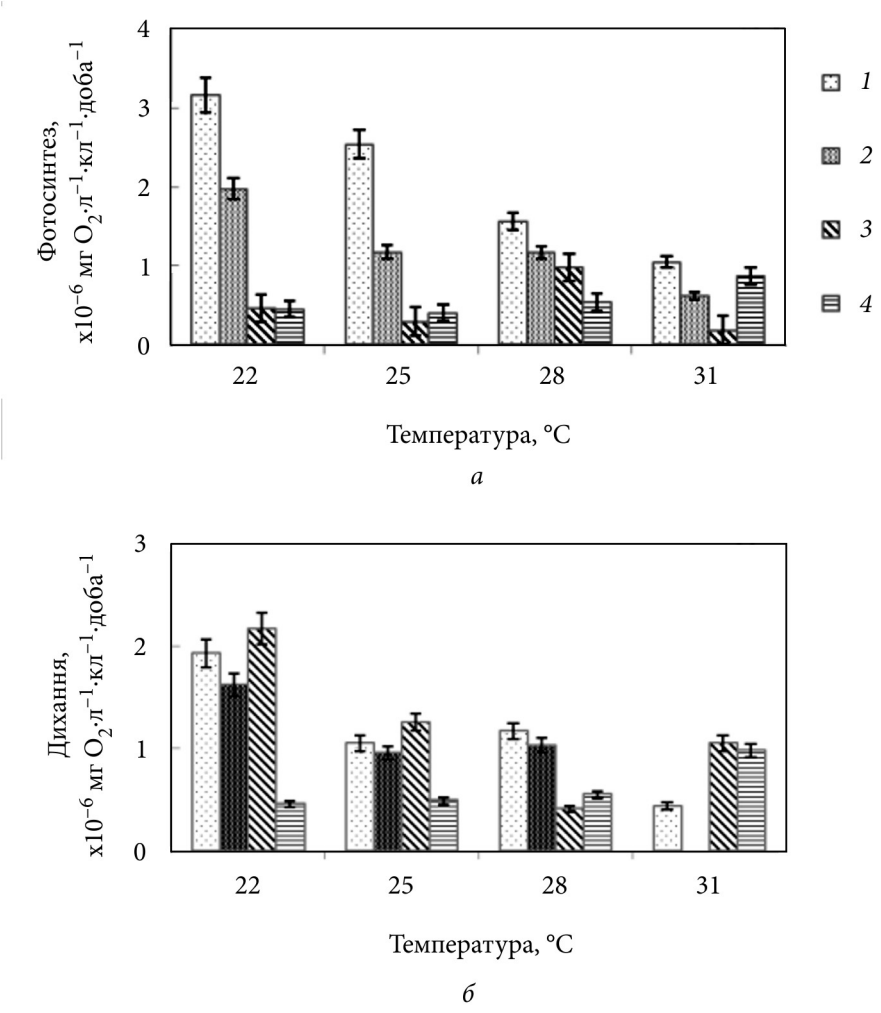

Рис. 3. Показники питомого фотосинтезу (*а*) та дихання (*б*) культури *Monoraphidium* sp. різного віку залежно від температури: *1* — 7-ма доба; *2* — 14-та доба; *3* — 21-ша доба; *4* — 28-ма доба

водів та ліпідів у період його інтенсивного росту і помітне зниження вмісту цих компонентів у пізній стаціонарній фазі росту культури (рис. 4).

Особливо цікавим є той факт, що клітини штаму містять значну кількість ліпідів на різних стадіях росту культури. Якщо на 14-ту добу визначено 32,0 % ліпідів, то на 21-шу добу цей показник сягав 34,2 %, а на 28-му добу — зріс до 44,5 %. Для представників р. *Monoraphidium* кількість ліпідів визначена на рівні від 19,0 до 35,0—43,5 % [15, 26, 35]. Отже, досліджуваний штам відзначається порівняно високою ліпідною продуктивністю.

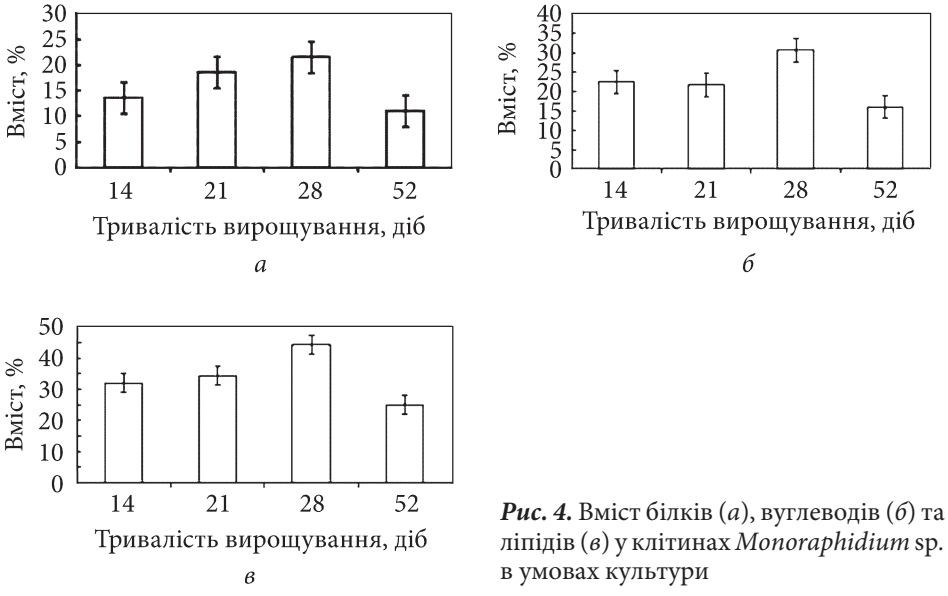

Рис. 4. Вміст білків (*а*), вуглеводів (*б*) та ліпідів (*в*) у клітинах *Monoraphidium* sp. в умовах культури

Основу профілю жирних кислот *Monoraphidium* sp. формують олеїнова, пальмітинова та лінолева кислоти, тоді як частка лауринової, стеаринової та ліноленової кислот — незначна (табл. 2). Аналогічний профіль відзначено також при вивченні штамів цього роду з інших колекцій, хоча з певною мірою варіабельності кількісного складу та представленості ЖК [20].

Близькі значення вмісту жирних кислот виявлені і в інших представників р. *Monoraphidium*, які позиціонуються як джерело сировини для біодизелю [13, 34, 37, 43, 44, 46]. Загалом, у складі ліпідів *Monoraphidium* sp. штаму HPDP-105 відзначено 63,4 % насичених та мононенасичених

Таблиця 2

Профіль основних жирних кислот у клітинах *Monoraphidium* sp.

Жирні кислоти	Вміст (% від суми жирних кислот)
Лауринова, $C_{12:1}$	1,2
Пальмітинова, $C_{16:0}$	26,6
Стеаринова,$C_{18:0}$	0,8
Олеїнова, $C_{18:1}$	34,9
Лінолева, $C_{18:2}$	19,0
Ліноленова,$C_{18:3}$	3,9
Інші ЖК	13,7
Сума насичених ЖК	27,4
Сума насичених та мононенасичених ЖК	63,4

жирних кислот. Їхня кількість та співвідношення з поліненасиченими жирними кислотами свідчать про можливість використання цього штаму як потенційного продуцента органічних сполук для виробництва біодизелю.

Висновки

Встановлено, що штам мікроводорості *Monoraphidium* sp. HPDP-105 мезотермофільний, найвищих показників швидкості росту досягає в діапазоні температур 22—28 °С та за освітленості в 1500 лк. У період активного росту містить 10,4—13,3 % білків, 14,4—23,5 % вуглеводів та 32,0—44,5 % ліпідів. За вмістом ліпідів *Monoraphidium* sp. HPDP-105 належить до високопродуктивних штамів, причому його характерною особливістю є підтримання високого вмісту ліпідних сполук на різних стадіях росту культури. На стадії інтенсивного росту вони становили 32,0—36,8 % від сухої маси клітин, а при переході на стаціонарну стадію — зростали від 43,6 до 45,4 %, що перевищує показники багатьох інших видів водоростей. У складі ліпідів спостерігалось переважання насичених та мононенасичених жирних кислот. Основу профілю жирних кислот *Monoraphidium* sp. складають олеїнова (34,9 % від суми жирних кислот), пальмітинова (26,6 %) та лінолева кислота (19,0 %). Встановлене співвідношення досліджених біологічно цінних сполук засвідчує переважання вмісту ліпідів, що є важливим критерієм для використання біомаси штаму *Monoraphidium* sp. HPDP-105 як біологічної сировини для одержання біодизелю.

Отже, штам зелених мікроводоростей *Monoraphidium* sp. HPDP-105, який протягом всього життєвого циклу продукує біомасу з високим вмістом ліпідів та значною часткою насичених і ненасичених жирних кислот, можна розглядати як перспективний для одержання біопалива.

Список використаної літератури

1. Голуб Н.Б. Науково-технічні основи конверсії відновлюваної сировини в біоводень та біодизель: Автореф. дис. …докт. техн. наук. Київ, 2013. 43 с.

2. Горда А.І., Грубінко В.В. Вплив дизельного палива на біосинтез протеїнів, вуглеводів і ліпідів у *Chlorella vulgaris* Beijer. *Біотехнологія*. 2011. Т. 4, № 6. С. 74—81.

3. Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Темнов М.С. и др. Технология получения липидов из микроводорослей. Тамбов : ТГТУ, 2015. 99 с.

4. Иким М.Д., Мельничук К.А. Роль водорослей в биологической очистке сточных вод зоотехнических комплексов. «Современные проблемы гидроэкологии» : тез. докл. IV Междунар. конф., 11—15 окт. 2010 г., Санкт-Петербург. С.-Петербург, 2010. С. 73.

5. Исмаилходжаев Б.Ш. Физиолого-биохимические особенности зеленых и эвгленовых микроводорослей и перспективы их применения: Автореф. дис. … докт. биол. наук. Ташкент, 1994. 46 с.

6. Золотарьова О.К., Шнюкова Є.І., Сиваш О.О., Михайленко Н.Ф. Перспективи використання мікроводоростей у біотехнології / Під ред. О.К. Золотарьової. Київ : Альтерпрес, 2008. 234с.

7. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Л.А. Сиренко, А.И. Сакевич, Л.Ф. Осипов. Киев : Наук. думка, 1975. 247 с.

8. Муравьёва И.П., Миронова Т.О. Сезонная динамика липидно-углеводородного состава макрофитообрастаний гидротехнических сооружений Артиллерийской бухты (Севастополь, Чёрное море). *Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Серия Биология, химия,* 2011. Т. 24 (63), № 4. С. 166—170.

9. Пат. 09629 Україна. Штам зеленої мікроводорості *Monoraphidium griffithii* (Berk.) Komark.-Legner. HPDP-105 — продуцент біомаси з високим вмістом ліпідів. Н.І. Кірпенко, П.М. Царенко, О.М. Усенко, Т.О. Мусій. Заявл. від 25.09.2018.

10. Пат. 95400 Україна. Штам зеленої водорості Акутодесмус двоморфний (*Acutodesmus dimorphus* (Turp.) P. Tsarenko) — біоресурсний продуцент. П.М. Царенко, О.В. Борисова, М.О. Коніщук, О.П. Білоус. Заявл від 25.12.2014. Бюл. № 24.

11. Практикум по общей биохимии / Ю.Б. Филиппович, Т.А. Егорова, Г.А. Севастьянова. Москва : Просвещение, 1975. 318 с.

12. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей водоемов Украинской ССР. Киев : Наук. думка, 1990. 208с.

13. Чернова Н.И., Киселева С.В., Калинина О.Ю. Биодизель из микроводорослей: методы индукции липидов и скрининга перспективных штаммов. *Альтернативная энергетика и экология.* 2015. Т. 185, № 21. С. 44—54.

14. Чубчикова И.Н., Дробецкая И.В., Минюк Г.С. и др. Скрининг одноклеточных зеленых водорослей как потенциальных источников природных кетокаротиноидов. *Мор. екол. журн*. 2011. № 1. С. 91—97.

15. Ajayan K.V., Manaswini P.S., Harilal C.C. Effect of nitrate and phosphate levels on biochemical contents and fatty acid methyl esters profile of *Monoraphidium contortum* (Thuret). *Eco chronicle.* 2018. Vol. 13, N 2. P. 51—59.

16. Bacsi I., Novak Z., Janoszky M. et al. The sensitivity of two *Monoraphidium* species to zinc: their possible future role in bioremediation. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2014. Vol. 12. P. 2455—2466.

17. Barreira L., Pereira H., Gangadhar K.N. et al. Medicinal effects of microalgae-derived fatty acids. Ed. Se-Know Kim. *Handbook of marine microalgae.* Amsterdam-Tokyo : Acad. Pres, 2015. P. 209—231.

18. Becker E.W. Micro-algae as a source of protein *Biotechnol. Advances.* 2007. Vol. 25. P. 207—210.

19. Belcher J.H. Notes on the physiology of *Botryococcus braunii* Kützing. *Arch. Mikrobiol*. 1968. Vol. 61. P. 335—346.

20. Bogen C., Klassen V., Wichmann J. et al. Identification of *Monoraphidium contortum* as a promising species for liquid biofuel production. *Bioresour. Technol*. 2013. Vol. 133. P. 622—626.

21. Borowitzka M.A. High-value products from microalgae — their development and commercialization. *J. Appl. Phycol.* 2013. Vol. 25. P. 743—756.

22. Borowitzka M.A., Vonshak A. Scaling up microalgal cultures to commercial scale. *Eur. J. Phycol.* 2017. Vol. 52, N 4. P. 407—418.

23. Brown A.C., Knights B.A., Conway E. Hydrocarbon content and its relationship to physiological state in the green alga *Botryococcus braunii*. *Phytochemistry*. 1969. Vol. P. 543—547.

24. Chisti Y. Biodizel from Microalgae. *Biotechnol. Adv*. 2007. Vol. 25. P. 294—306.

25. Chisti Y. Biodiesel from microalgae beats bioetanol. *Trends Biotechnol*. 2008. Vol. 26. P. 126—131.

26. Diaz G.C., Cruz Y.R., Carliz R.G. et al. Cultivation of microalgae *Monoraphidium* sp., in the plant pilot the grand valle bio energy, for biodiesel production. *Nat. Sci*. 2015. Vol. 7. P. 370—378.

27. Gouveia J.D., Ruiz J., van den Broek L.A.M. et al. *Bortyococcus braunii* strains compared for biomass productivity, hydrocarbon and carbohydrate content. *J. Biotechnol.* 2017. Vol. 248. P.77—86.

28. Hage A., Luckett N., Holbrook G.P. Phycoremediation of municipal wastewater by the cold-adapted microalga *Monoraphidium* sp. *Water Environ. Res*. 2018. Vol. 90, N 11. P. 1938—1946.

29. Kirpenko N.I., Usenko O.M., Musiy T.O. Comparative analysis of the content of proteins, carbohydrates, and lipids in the cells of green microalgae. *Hydrobiol. J.* 2018. Vol. 54, N 2. P. 81—91.

30. Krzeminska I., Pawlik-Skowronska B., Trzcinska M., Tys J. Influence of photoperiods on the growth rate and biomass productivity of green microalgae. *Bioprocess Biosyst. Eng.* 2014. Vol. 37, N 4. P.735—741.

31. Lam M.K., Khoo Ch.Kh., Lee K.T. Scale-up and commercialization of algal cultivation and biofuels production. Ed. Pandey A. *Biofuels from Algae.* Amsterdam: Kindle Edition, 2019. P. 475—506.

32. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.I., Randall R.J. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 1951. Vol. 193, N 1—2. P. 265—275.

33. Metting F.B. Biodiversity and application of microalgae *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 1996. Vol. 17, N 5—6. P. 477—489.

34. Mori C.C., Bagatini I.L., de Silva Th.G. et al. Use of fatty acids in the chemotaxonomy of the family Selenastraceae (Sphaeropleales, Chlorophyceae). *Phytochemistry*. 2018. Vol. 151. P. 9—16.

35. Řezanka T., Nedbalova L., Lukavsky J. et al. Pilot cultivation of the green alga *Monoraphidium* sp. producing a high content of polyunsaturated fatty acids in a low-temperature environment. *Algal Res*. 2017. Vol. 22. P.160—165.

36. Saifullah A.Z.A., Karim Md.A., Ahmad-Yazid A. Microalgae: an alternative sourse of renewable energy. *Am. J. Eng. Res.* 2014. Vol. 3, N 3. P. 330—338.

37. Sathya S., Srisudha S. Isolation and identification of freshwater microalgal strains — potential for biofuel production. *Int. J. Recent Sci. Res.* 2013. Vol. 4, N 9. P. 1432—1437.

38. Shibo M., Kawachi M., Horioka K. et al. Business evalutation of a green microalgae *Botryococcus braunii* oil production system. *Procedia Environ. Sci.* 2012. Vol. 15. P. 90—109.

39. Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A. Commercial applications of microalgae. *J. Biosci. Bioeng.* 2006. Vol. 101, N 2. P. 87—96.

40. Sun X.M., Ren L.J., Zhao Q.Y. et al. Microalgae for the production of lipid and carotenoids: a review with focus on stress regulation and adaptation. *Biotechnol. Biofuels*. 2018. Vol. 11, N 1. P. 65—80.

41. Wijffels R.H., Barbosa M.J. An outlook on microalgal biofuels. *Science*. 2010. Vol. 329. P. 796—799.

42. Wu L., Xu L., Hu Ch. Screening and characterization of oleaginous microalgal species from northern Xinjiang. *J. Microbiol. Biotechnol.* 2015. Vol. 25, N 6. P. 910—917.

43. Yang X., Liu P., Hao Z., Shi J., Zhang S. Characterization and identification of freshwater microalgal strains toward biofuel production. *BioResources*. 2012. Vol. 7, N 1. P. 686—695.

44. Yee W. Feasibility of various carbon sources and plant materials in enhancing the growth and biomass productivity of the freshwater microalgae *Monoraphidium griffithii* NS16. *Bioresour. Technol.* 2015. Vol. 196. P. 1—8.

45. Yee W. Microalgae from Selenastraceae as emerging candidates for biodiesel production: a mini review. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2016. Vol. 32, N 4. P. 1—11.

46. Zhao Y., Li D., Ding K. et al. Production of biomass and lipids by the oleaginous microalgae *Monoraphidium* sp. QLY-1 through heterotrophic cultivation and photo-chemical modulator induction. *Bioresour. Technol.* 2016. Vol. 211. P. 669—676.

Надійшла 27.05.2021

N.I. Kirpenko, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine
P.M. Tsarenko, Dr. Sci. (Biol), Prof., Head of Dept.,
M.G. Kholodny Institute of Botany of the NAS of Ukraine,
2 Tereshchenkivska St., 01004 Kyiv, Ukraine
e-mail: ptsar@ukr.net
ORCID 0000-0003-0711-8573
O.M. Usenko, PhD (Biol.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: oleg.mikh.usenko@gmail.com
ORCID 0000-0002-0782-7292
T.O. Leontieva, Graduate Student,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: leontieva3394@gmail.com
ORCID 0000-0003-4482-328X

GREEN MICROALGAE *MONORAPHIDIUM* SP. HPDP-105 — PRODUCER OF BIOLOGICALLY VALUABLE COMPOUNDS

The morphological characteristics, growth features, lipid accumulation and fatty acid composition of the green microalgae strain *Monoraphidium* sp. HPDP-105 were investigated. It was found that the strain is mesothermophilic, the most intensively functioning in the temperature range of 22—28 °C, for illumination in 1500 lx during the period of active growth it contains 10.4—13.3 % of proteins, 14.4—23.5 % of carbohydrates and 32.0—44.5 % of lipids. The content of *Monoraphidium* sp. HPDP-105 lipids can be attributed to highly productive strains, and its characteristic feature is to maintain a high content of lipid compounds at various stages of culture growth. The basis of the fatty acid profile of *Monoraphidium* sp.is oleic acid (34.9 % of the sum of fatty acids), palmitic acid (26.6 %) and linoleic acid (19.0 %). The high lipid content, the amount and the ratio of fatty acids confirm the potential of this strain as a potential candidate for biodiesel production.

Keywords: *Monoraphidium sp., growth stages, temperature, illumination, protein, carbohydrates, lipids, fatty acids.*