

ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДЯНИХ РОСЛИН

УДК 582.263:581.132(58.036)

В.О. МЕДВЕДЬ, к. б. н., ст. наук. співроб., наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: vika_med@i.ua

З.Н. ГОРБУНОВА, мол. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна

Т.В. ВІТОВЕЦЬКА, к. х. н., доц.,
Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітрофлотський, 31, Київ, 03680, Україна
e-mail: vitovetskaya@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ БІЛКІВ, ВУГЛЕВОДІВ І ЛІПІДІВ У КЛІТИНАХ ЗЕЛЕНИХ ВОДОРОСТЕЙ ЗА РІЗНОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ І ТРИВАЛОСТІ ФОТОПЕРІОДУ

Представлено результати досліджень по впливу освітленості різної інтенсивності і тривалості фотоперіоду на накопичення білків, вуглеводів і ліпідів у клітинах зелених водоростей (*Selenastrum gracile*, *Desmodesmus brasiliensis* і *Scenedesmus obtusus*). Встановлено, що зазначені види *Chlorophyta* характеризуються індивідуальною реакцією на зміну досліджених параметрів світла при накопиченні у клітинах біологічно цінних сполук. Показано, що збільшення тривалості темного періоду позитивно впливає на накопичення білків і вуглеводів у клітинах досліджених видів зелених водоростей. Відносно ліпідів ця особливість відзначена тільки для *Selenastrum gracile* і *Scenedesmus obtusus*.

Ключові слова: зелені водорості, білки, вуглеводи, ліпіди, освітленість, фотоперіод.

Відомо, що світло є одним з найважливіших чинників, які визначають функціонування водоростей різних екологічних груп. Воно впливає на швидкість метаболічних процесів, цитолого-морфологічні і фізіолого-біохімічні показники водяних рослин.

У літературі наявні відомості про те, що реакція планктонних водоростей на освітленість визначається комплексом інших умов середовища існування, а відмінності можуть спостерігатись як для різних видів одного роду, так і для штамів одного виду [15, 23].

Ц и т у в а н н я: Медведь В.О., Горбунова З.Н., Вітовецька Т.В. Особливості накопичення білків, вуглеводів і ліпідів у клітинах зелених водоростей за різної освітленості і тривалості фотоперіоду. *Гідробіол. журн.* 2020. № 1 (331). С. 105—114.

ISSN 0375-8990. Гідробіологічний журнал. 2020. № 1 (331)

105

Згідно даних деяких авторів [20], у клітинах водоростей, які росли при освітленні 500 лк, переважало накопичення білків, а при надлишку світла (1600 лк і вище) і тривалому азотному голодуванні спостерігався зсув балансу фотосинтезу в бік накопичення полісахаридів і ліпідів.

Встановлено, що зміна світлового режиму впливає на ліпідний комплекс клітин водоростей. Зокрема, зі збільшенням інтенсивності світла у шести штамів діатомей відзначено збільшення загального вмісту і співвідношення поліненасичених жирних кислот [18].

Необхідно відзначити, що спрямованість біосинтетичних процесів у клітинах мікрводоростей обумовлена не тільки інтенсивністю освітлення, але і у значній мірі залежить від тривалості фотоперіоду. Показано [16], що при безперервному освітленні у більшості видів водоростей спостерігається погіршення фізіологічного стану, про що свідчить зниження продукції кисню і синтезу біохімічних компонентів.

Незважаючи на те, що в літературі наявні відомості щодо впливу інтенсивності освітлення на фізіолого-біохімічні характеристики водоростей [1, 4], дані про реакції мікрводоростей на співвідношення світлового і темного періодів у добовому циклі малочисельні і суперечливі [7, 13, 17].

У зв'язку із цим метою нашої роботи було дослідити зміни вмісту білків, ліпідів, вуглеводів у клітинах деяких видів Chlorophyta у процесі їхнього росту в умовах різної освітленості і тривалості фотоперіоду.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктами дослідження були альгологічно чисті культури Chlorophyta (*Desmodesmus brasiliensis* (Bohlin) E. Hegew. HPDP-102, *Scenedesmus obtusus* Myen HPDP-113 і *Selenastrum gracile* Reinsch. HPDP-115). Вибір цих мікрводоростей зумовлений їхнім швидким ростом у лабораторних умовах. Водорості вирощували на середовищі Фітцджеральда № 11 у модифікації Цендера і Горема [8] в умовах різної освітленості (2,5, 10,0 і 15,0 тис. лк) і чергування світлового і темного періодів (16 : 8, 12 : 12 та 8 : 16 год). Температура середовища під час культивування водоростей була в межах 26—28 °С. Освітленість вимірювали за допомогою люксметра Ю-116.

Матеріал для аналізу відбирали на 35-у добу культивування. Біохімічні компоненти визначали у клітинах водоростей, відділених від культурального середовища шляхом фільтрування через мембранні фільтри Синпор № 4 (діаметр пор 0,85 мкм). Наважки для визначення вмісту білків, вуглеводів і ліпідів до проведення аналізів зберігали у замороженому стані. Загальну кількість білків визначали методом Лоурі [19], вуглеводів — згідно [10], а ліпідів — відповідно до [9]. Показники розраховували у відсотках до сухої маси, яку встановлювали ваговим методом [8]. Отримані результати оброблені статистично [2].

Результати досліджень та їх обговорення

Вплив режиму освітлення на накопичення білків у клітинах зелених водоростей. Отримані нами дані свідчать про те, що накопичення білків у клітинах водоростей у процесі їхнього росту при освітленості 2,5, 10,0 і 15,0 тис. лк і тривалості світлового і темного періодів відповідно 16 : 8, 12 : 12 і 8 : 16 год характеризується широкою варіабельністю. Так, наприклад, у *S. gracile* кількість білків у клітинах змінювалася в межах 22,5—32,0 %, у *D. brasiliensis* — 25,0—43,7, у *Sc. obtusus* — 14,9—39,8 % сухої маси. Найбільшу середню кількість білків відмічено у *D. brasiliensis* (32,3 %), а найменшу — у *Sc. obtusus* (24,2 %). Отримані результати узгоджуються із наведеними у літературі даними про те, що коливання вмісту загальних білків у клітинах залежить як від умов культивування водоростей, так і від їхньої видової приналежності [3].

Порівняння значень загального вмісту білків у клітинах зелених водоростей при їхньому вирощуванні в умовах з різною освітленістю (2,5, 10,0 і 15,0 тис. лк) показало, що в усіх досліджуваних видів найбільш високі кількості цих компонентів клітин реєструвалися при 2,5 тис. лк (рис. 1). Тобто для цих водоростей освітлення 2,5 тис лк, порівняно з 10,0 і 15,0 тис. лк, є найбільш сприятливим для накопичення білків. Слід зазначити, що це спостерігалось при усіх тривалостях світлового і темного періодів. Так, кількість білків на 35-у добу в клітинах *S. gracile* становила 26,7, 32,6 і 28,9 % сухої маси, у *D. brasiliensis* — 36,1, 36,1 і 43,7 і у *Sc. obtusus* — 21,5, 39,8 і 24,1 % сухої маси відповідно при фотоперіоді 16, 12 і 8 год. Отримані дані узгоджуються з висновками Ж. Морриси [20] про те, що синтез білка переважає при низькій освітленості.

Необхідно звернути увагу на те, що найбільш високі величини вмісту білків за освітленості 2,5 тис. лк у *S. gracile* і *Sc. obtusus* відмічались при тривалості темного періоду 12 год, а у *D. brasiliensis* — 16 год. Така ж особливість спостерігалась і при освітленості 10,0 і 15,0 тис. лк (див. рис. 1). Отже, темновий період відіграє важливу роль у накопиченні білків, як вказують і інші автори [5, 7, 20], а досліджені види водоростей характеризуються відмінностями реакції на його тривалість.

Отримані нами дані свідчать також і про те, що збільшення інтенсивності освітлення з 2,5 до 15,0 тис. лк викликає у досліджуваних видів водоростей різне за величиною зменшення вмісту білків (див. рис. 1). Так, у клітинах *S. gracile* кількість цих сполук при 15,0 тис. лк (порівняно з їхньою кількістю при 2,5 тис. лк) зменшилась на 15,7, 12,0 і 18,3 %, *D. brasiliensis* — на 30,7, 29,9 і 34,3, а у *Sc. obtusus* — на 30,7, 35,4 і 20,3 % за тривалості світлового і темного періодів відповідно 16 : 8, 12 : 12 і 8 : 16 год. Отже, за високої освітленості у *D. brasiliensis* і *Sc. obtusus*, порівняно із *S. gracile*, зареєстроване більш значне (майже у 2 рази) зниження кількості білків.

Зниження величини досліджуваного показника є видоспецифічним і залежить від тривалості світлового і темного періодів у добовому циклі. Так, при освітленні 15,0 тис. лк у *S. gracile* і *D. brasiliensis* найпомітніше

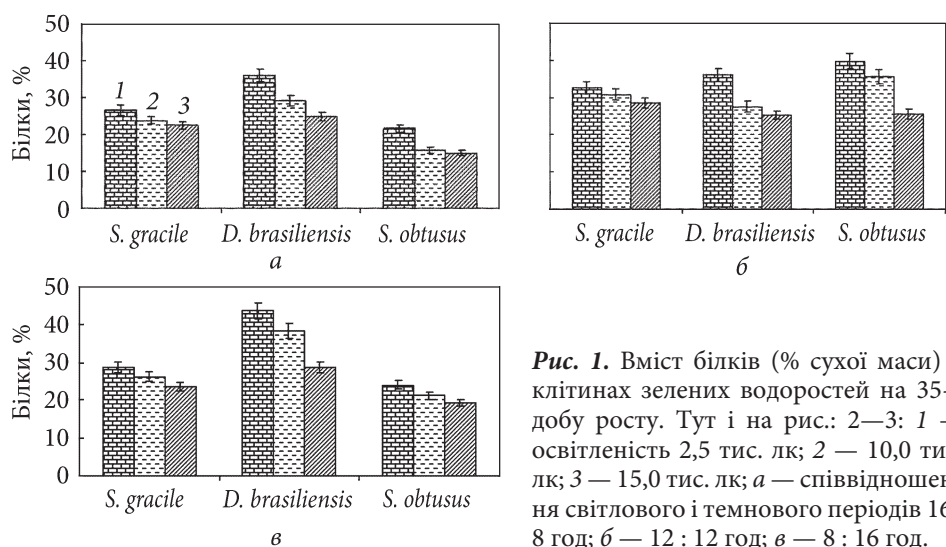


Рис. 1. Вміст білків (% сухої маси) у клітинах зелених водоростей на 35-у добу росту. Тут і на рис.: 2—3: 1 — освітленість 2,5 тис. лк; 2 — 10,0 тис. лк; 3 — 15,0 тис. лк; а — співвідношення світлового і темного періодів 16 : 8 год; б — 12 : 12 год; в — 8 : 16 год.

зменшення кількості білків зареєстровано при фотоперіоді 8 год, а у *Sc. obtusus* — при 12 год (див. рис. 1).

Отже, вивчені види Chlorophyta характеризуються індивідуальними особливостями реакції на величину освітленості і тривалість темного періоду у процесі накопичення білків. Подібне нами було відзначено при дослідженні вмісту фотосинтетичних пігментів [6].

Вплив режиму освітлення на накопичення вуглеводів у клітинах зелених водоростей. Отримані нами дані свідчать про те, що вміст вуглеводів, як і білків, у досліджуваних водоростей в умовах культивування за різної освітленості і тривалості світлового і темного періодів характеризується широкою амплітудою коливань. Зокрема, кількість вуглеводів у клітинах *S. gracile* змінювалась в межах 14,3—25,1 %, у *D. brasiliensis* — 15,1—23,4, а у *Sc. obtusus* — 12,2—24,6 % сухої маси. На те, що вміст вуглеводів у клітинах зелених водоростей може значно варіювати, вказували і інші автори [3].

Важливо відзначити, що досліджені види зелених водоростей характеризуються практично однаковим (за середніми значеннями) вмістом у клітинах вуглеводів (19,5 % — у *S. gracile*, 18,1 — у *D. brasiliensis* і 17,5 % — у *Sc. obtusus*), чого не спостерігалось при визначенні кількості білків.

Порівняння величин досліджуваного показника при культивуванні водоростей за різної освітленості показало, що у *S. gracile* найбільш високі його значення зареєстровані при 15,0 тис. лк і відмічені за різної тривалості світлового і темного періодів у добовому циклі (рис. 2). Так, на 35-у добу росту водоростей кількість вуглеводів в їхніх клітинах становила 18,5, 23,7 і 25,1 % сухої маси при фотоперіоді відповідно 16, 12 і 8 год.

В інших представників Chlorophyta — *D. brasiliensis* і *Sc. obtusus* — найбільший вміст вуглеводів зареєстровано при освітленості 2,5 тис. лк (див. рис. 2). Зокрема, у *D. brasiliensis* на 35-у добу кількість вуглеводів ста-

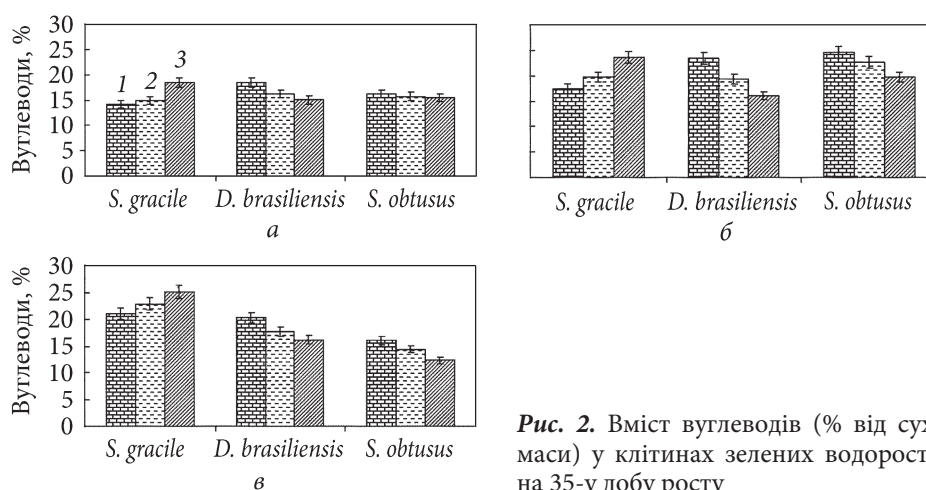


Рис. 2. Вміст вуглеводів (% від сухої маси) у клітинах зелених водоростей на 35-у добу росту

новила 18,5, 23,4 і 20,3 % сухої маси, у *Sc. obtusus* — 16,3, 24,6 і 16,1 % сухої маси за тривалості світлового і темного періодів відповідно 16 : 8, 12 : 12 і 8 : 16 год. Тобто максимальна кількість вуглеводів, як і білків, на 35-у добу росту у *D. brasiliensis* і *Sc. obtusus* спостерігалась при 2,5 тис. лк і фотоперіоді 12 год, а у *S. gracile* — при 15,0 тис. лк і фотоперіоді 8 год.

Таким чином, підвищення освітленості з 2,5 до 15,0 тис. лк викликає у *S. gracile* збільшення кількості вуглеводів, а у *Sc. obtusus* і *D. brasiliensis* — зменшення. Слід зазначити, що індивідуальні особливості накопичення в клітинах цього біохімічного компонента у *S. gracile* і *D. brasiliensis* зберігались при всіх співвідношеннях тривалості світлового і темного періодів, а у *Sc. obtusus* — тільки при 12 : 12 і 8 : 16 год (див. рис. 2). Зокрема, кількість вуглеводів у клітинах *S. gracile* на 35-у добу при 15,0 тис. лк, порівняно з 2,5 тис. лк, збільшилась на 29,3, 35,3 і 18,9 %, тоді як у *D. brasiliensis* — зменшилась на 18,4, 30,9 і 20,2 %, а у *Sc. obtusus* — на 4,9, 19,6 і 23,9 % при фотоперіоді відповідно 16, 12 і 8 год.

Таким чином, при вирощуванні *S. gracile* в умовах найбільшої освітленості (15,0 тис. лк), порівняно із найменшою (2,5 тис. лк), максимальне накопичення вуглеводів спостерігалось за тривалості світлового і темного періодів 12 : 12 год, тоді як у *D. brasiliensis* і *Sc. obtusus* максимальну кількість цього біохімічного компонента в клітинах зареєстровано при 16 : 8 год (див. рис. 2).

Отже, досліджені види Chlorophyta характеризуються індивідуальними особливостями щодо оптимальних для накопичення вуглеводів як освітленості, так і тривалості світла і темряви у добовому циклі.

Отримані нами дані узгоджуються з літературними, які свідчать про те, що світловий режим є важливим регуляторним чинником у формуванні біохімічного складу клітин мікроводоростей [4, 5, 14]. Показано, що синтез позаклітинних полісахаридів мікроводоростей *Triceratium reticu-*

lum і *Phaeodactylum tricornutum* є вищим при тривалому світловому періоді (16 год), а у *Skeletonema* sp. — при тривалому темновому періоді (16 год).

Вплив режиму освітлення на накопичення ліпідів у клітинах зелених водоростей. Отримані нами дані свідчать про те, що загальний вміст ліпідів, як і білків і вуглеводів, характеризується певною амплітудою коливань. Зокрема, величина цього показника у *S. gracile* в експериментальних умовах змінювалась у межах 9,5—14,8 %, у *D. brasiliensis* — 10,3—15,6 і у *Sc. obtusus* — 9,5—15,7 % сухої маси. При цьому середні величини загального вмісту ліпідів у клітинах досліджуваних видів водоростей були на одному рівні (12,2, 12,4 і 12,0 % відповідно у *S. gracile*, *D. brasiliensis* і *Sc. obtusus*).

Порівняння величин загального вмісту ліпідів у біомасі водоростей показало, що максимальна кількість цих речовин спостерігається при різній інтенсивності освітлення: у клітинах *S. gracile* вона зареєстрована при 10,0 тис. лк, у *D. brasiliensis* — при 2,5 тис. лк, а у *Sc. obtusus* — при 15,0 тис. лк (рис. 3).

Відзначені індивідуальні особливості накопичення ліпідів зберігались за різної тривалості світлового і темного періодів. Так, при освітленні 10,0 тис. лк їхній вміст у клітинах *S. gracile* при фотоперіоді 16, 12 і 8 год становив відповідно 11,1, 13,9 і 14,8 %, у *D. brasiliensis* при 2,5 тис. лк — 15,6, 12,0 і 14,6, у *Sc. obtusus* при 15,0 тис. лк — 12,7, 12,6 і 15,7 % сухої маси. У *S. gracile* при освітленості 15,0 тис. лк, порівняно з 2,5 тис. лк, загальний вміст ліпідів у клітинах збільшився на 10,5, 5,1 і 5,4 %, у *Sc. obtusus* — на 33,7, 43,7 і 19,2 %, тоді як у *D. brasiliensis* він зменшився на 26,4, 14,0 і 24,6 % при фотоперіоді відповідно 16, 12 і 8 год.

Необхідно звернути увагу на те, що найбільш високі значення вмісту ліпідів у клітинах водоростей при оптимальному освітленні для кожного представника Chlorophyta зареєстровані за різної тривалості темного періоду. У *S. gracile* і *Sc. obtusus* це спостерігалось при співвідношенні світлового і темного періодів 8 : 16 год, у *D. brasiliensis* — при 16 : 8 год. Отже, максимальне накопичення ліпідів у клітинах *S. gracile* і *Sc. obtusus* відбувається при найбільшому темновому періоді, а у *D. brasiliensis* — при найбільшому світловому періоді.

Таким чином, досліджені представники Chlorophyta характеризуються індивідуальними особливостями накопичення ліпідів за різної освітленості і тривалості темного періоду в добовому циклі. Це спостерігалось і при визначенні вмісту в клітинах зелених водоростей білків і вуглеводів.

Було також встановлено, що при підвищенні інтенсивності освітлення з 2,5 до 15,0 тис. лк у *S. gracile* і *Sc. obtusus* відбувалась стимуляція накопичення ліпідів. Це узгоджується з даними інших авторів [20] про те, що при надлишку освітлення баланс фотосинтезу зміщується в бік збільшення кількості цього біохімічного компонента клітин. Однак це явище спо-

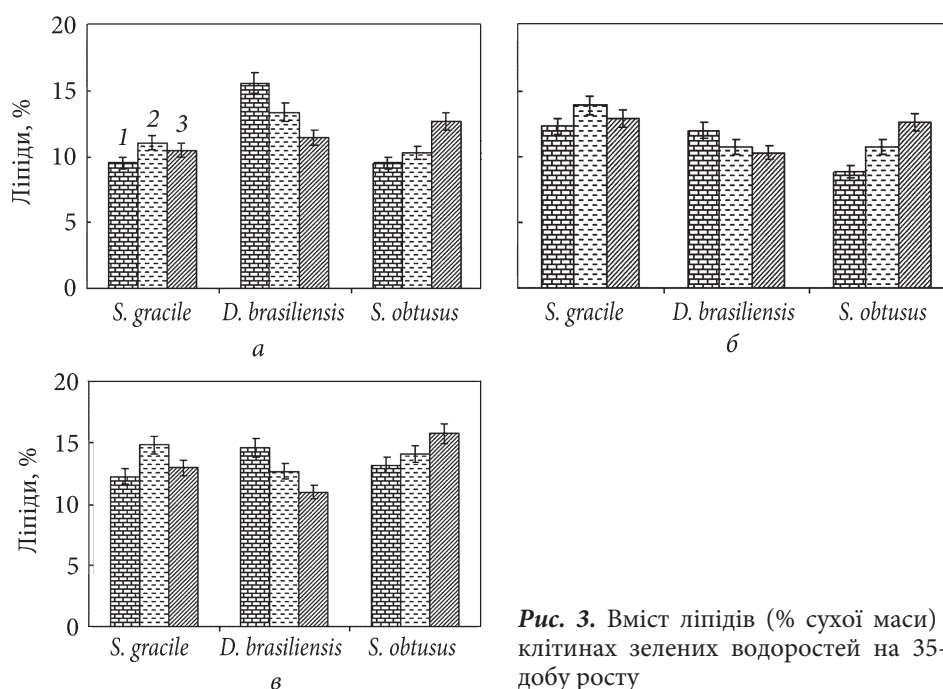


Рис. 3. Вміст ліпідів (% сухої маси) у клітинах зелених водоростей на 35-у добу росту

стерігалось не завжди. Так, у *D. brasiliensis* зростання освітленості викликало зменшення вмісту ліпідів.

Зниження сумарного вмісту ліпідів у біомасі *D. brasiliensis* може бути наслідком посиленої витрати триацилгліцеринів — основної групи нейтральних ліпідів, які накопичуються в клітинах при високих потоках ФАР [11].

Помітне зниження накопичення ліпідів при освітленості 15,0 тис. лк, порівняно з 2,5 тис. лк, у *S. gracile* зареєстровано при тривалості темного періоду 12 і 16 год, у *D. brasiliensis* — 8 і 16 год, а у *Sc. obtusus* — тільки при 16 год. Це узгоджується з літературними даними щодо істотного впливу світлового режиму на накопичення ліпідів [21—22]. Зокрема, було встановлено, що на світлі відбувається накопичення нейтральних і структурних полярних ліпідів, а в темряві їхня кількість істотно знижується [21, 22].

Відомо, що процес утворення ліпідів характеризує стан біомембран клітин, які першими сприймають вплив екологічних чинників. Тому оцінюючи інтенсивність накопичення ліпідів, можна судити про первинні адаптаційні процеси рослин до впливу зовнішніх чинників. Зважаючи на те, що накопичення ліпідів у клітинах водоростей є одним із механізмів їхньої адаптації до стресових чинників, можна припустити, що *Sc. obtusus* є досить чутливим до змін освітленості, тому що у цієї культури при 15,0 тис. лк, порівняно з 2,5 тис. лк, на відміну від *S. gracile* і *D. brasiliensis*, зареєстровано найбільш помітне збільшення вмісту ліпідів у клітинах.

Механізм впливу високої інтенсивності освітлення може бути пов'язаний як із прямою дією світла на молекули рослинної клітини, так і зі зміною фізико-хімічних властивостей мембран. Відомо, що в умовах високої інтенсивності світла, у результаті процесів фотоінгібування, в клітинах водоростей відбувається генерація активних форм кисню, які викликають окисний стрес, що впливає на вміст ліпідів [12].

Висновки

Досліджені представники Chlorophyta характеризуються видоспецифічними реакціями на зміну світлового режиму. Так, підвищення освітленості з 2,5 тис. лк до 15,0 тис. лк за різної тривалості фотоперіоду викликало зменшення вмісту білків і збільшення кількості ліпідів у клітинах *S. gracile* і *Sc. obtusus*. При цьому у першого виду найбільш значне накопичення ліпідів зареєстровано при 10,0 тис. лк, а у другого — при 15,0 тис. лк. Щодо вуглеводів, то при підвищенні освітленості у *S. gracile* відзначено стимуляцію їхнього накопичення, а у *Sc. obtusus* — зменшення. У *D. brasiliensis* підвищення освітленості супроводжувалось зниженням у клітинах кількості усіх досліджуваних сполук.

Найбільший вміст вуглеводів у клітинах *S. gracile* зареєстровано при освітленості 15,0 тис лк, у *D. brasiliensis* і *Sc. obtusus* — при 2,5 тис. лк. Максимальна кількість загальних ліпідів у клітинах *S. gracile* спостерігалась при 10,0 тис. лк, у *D. brasiliensis* — при 2,5 тис. лк, а у *Sc. obtusus* — при 15,0 тис. лк. Найбільший вміст білків у клітинах всіх досліджених видів зелених водоростей відзначено при освітленості 2,5 тис. лк.

Тривалість темного періоду має істотне значення для формування кількості білків, вуглеводів і ліпідів у клітинах зелених водоростей. Так, найбільш сприятливі умови для накопичення білків у клітинах *S. gracile* і *Sc. obtusus* спостерігались за тривалості темного періоду 12 год, а у *D. brasiliensis* — 16 год. Найбільший вміст вуглеводів у клітинах *S. gracile* відзначено за тривалості темного періоду 16 год, а у *D. brasiliensis* і *Sc. obtusus* — 12 год. Максимальна кількість ліпідів у клітинах *S. gracile* і *Sc. obtusus* зареєстровано за тривалості темного періоду 16 год, а у *D. brasiliensis* — 8 год.

Отримані дані важливі для практики культивування водоростей з метою оптимізації умов одержання біомаси водоростей із високим вмістом білків, вуглеводів або ліпідів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гудвилович И.Н. Влияние условий культивирования на рост и содержание фикобилипротеинов красной микроводоросли *Porphyridium purpureum* (Обзор). *Экология моря*. 2010. Спец. вып. 81: Управление биосинтезом гидробионтов. С. 28—36.
2. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 423 с.
3. Кирпенко Н.И., Усенко О.М., Мусий Т.О. Биохимический состав зеленых водорослей на разных стадиях роста. *Гидробиол. журн.* 2015. Т. 51, № 2. С. 44—50.

4. Козицкая В.Н. Влияние экологических факторов (освещение, температура) на рост водорослей (Обзор). *Там же*. 1989. Т. 25, № 6. С. 55—70.
5. Левинских М.А. Физиолого-экологические характеристики одноклеточной водоросли *Closteriopsis acicularis* var. *africana* Hind. применительно к биологической системе жизнеобеспечения человека: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1983. 26 с.
6. Медведь В.А., Горбунова З.Н. Особенности накопления биомассы и пигментов в клетках зеленых водорослей при различной освещенности и длине фотопериода. *Гидробиол. журн.* 2019. Т. 55, № 6, С. 71—81.
7. Мельников С.С., Самович Т.В., Мананкина О.Е., Будакова О.А. Влияние чередования световых и темновых периодов на продуктивность *Spirulina (Arthrospira) platensis* (Nordst.) Geitler. *Альгология*. 2012. Т. 22, № 2. С. 121—129.
8. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Л.А. Сиренко, А.И. Сакевич, Л.Ф. Осипов. К.: Наук. думка, 1975. 247 с.
9. Практикум по биохимии: Учеб. пособие / Под ред. С.Е. Северина, Г.А. Соловьевой. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ. 1989. 509 с.
10. Практикум по общей биохимии / Ю.Б. Филиппович, Т.А. Егорова, Г.А. Севастьянова. М.: Просвещение, 1975. 318 с.
11. Соловченко А.Е. Физиологическая роль накопления нейтральных липидов эукариотическими микроводорослями при стрессе. *Физиология растений РАН*. 2012. Т. 59, № 2. С. 192—202.
12. Тихонов А.Н. Защитные механизмы фотосинтеза. *Соросовский образовательный журн.* 1999. №11. С. 16—21.
13. Avsiyan A.L. Influence of the diurnal light-dark regimen on growth and production characteristics of microalgae (review). Актуальні пробл. ботаніки та екології: Матеріали міжнар. конф. молодих учених, Щолкіно, 18—22 черв., 2013 р. К.: Соціоцентр, 2013. С. 207—208.
14. Borgen K. Evaluation of physicochemical properties of modified algae protein adhesives // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree. Kansas state university. Manhattan, Kansas, 2012. 46 p.
15. Chelebieva E.A., Kessler E et. al. Features of secondary carotenogenesis in green microalgae *Scenedesmus rubescens* (P.J.L. Dangeard). Актуальні проблеми ботаніки та екології: Матеріали міжнар. конф. молодих учених, Щолкіно, 18—22 черв., 2013 р. К.: Соціоцентр, 2013. С. 32—33.
16. DiTullio G.R., Laws E.A. Diel periodicity of nitrogen and carbon assimilation in five species of marine phytoplankton: accuracy of methodology for predicting N-assimilation rates and N/C composition ratios. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1986. Vol. 32, N 2—3. P. 123—132.
17. Gervais F. Oxygen productivity of planktonic algae under fluctuating and constant light conditions. *Intern. Rev. Hydrobiol.* 2011. Vol. 96, N 5. P. 425—630.
18. Liang Y., Mai K-S., Sun S-C., Yu D-Z. Effect of light intensity on the total lipid and fatty acid composition of six strains of marine diatoms. *Chin. J. Oceanol. and Limnol.* 2001. Vol. 19, N 3. P. 249—254.
19. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 1951. Vol. 193, N 1. P. 265—275.
20. Morris J. Photosynthetic products, physiological state, and phytoplankton growth. *Canad. Bull. Fish. and Aquat. Sci.* 1981. N 210. P. 83—102.
21. Sukenik A., Carmeli Y., Berner T. Regulation of fatty acid composition by irradiance level in the eustigmatophyte *Nannochloropsis* sp. *Journal of Phycology*. 1989. Vol. 25, N 4. P. 686—692.

22. Sukenik A., Carmeli Y. Lipid synthesis and fatty acid composition in *Nannochloropsis* sp. (Eustigmatophyceae) grown in a light-dark cycle. *Ibid.* 1990. Vol. 26, N 3. P. 463—469.

23. Vonsak A. Strain selection of *Spirulina* suitable for mass production. *Hydrobiologia*. 1987. N 151—152. P. 75—77.

Надійшла 03.01.2020

V.O. Medved, PhD (Biol.), Senior Researcher, Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: vika_med@i.ua

Z.N. Gorbunova, Junior Researcher
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine

T.V. Vitovetska, PhD (Chem.), Assoc. Prof.
Kyiv's'kyi Natsional'nyy Universytet Budivnytstva i Arkhitektury
31 Povitroflotsky Ave, Kyiv, 03680, Ukraine
e-mail: vitovetskaya@ukr.net

PECULIARITIES OF ACCUMULATION OF PROTEINS, CARBOHYDRATES AND
LIPIDS IN THE CELLS OF GREEN ALGAE UNDER DIFFERENT LIGHT
CONDITIONS AND PHOTOPERIOD LENGTH

The accumulation of biologically valuable substances (proteins, carbohydrates and lipids) in the cells of green algae (*Selenastrum gracile*, *Desmodesmus brasiliensis* and *Scenedesmus obtusus*) was studied during their growth under different lighting conditions and the length of the photoperiod. It was found that representatives of Chlorophyta are characterized by an individual reaction of their cells to changes in the studied of light mode.

Keywords: green algae, proteins, carbohydrates, lipids, light, photoperiod.