

УДК 581.1:(577.127+577.128)

А.В. КАЛИНОВСЬКА¹, О.В. ВАСИЛЕНКО², К.В. КОСТЮК², А.І. ГЕРЦ²¹Інститут гідробіології НАН України
пр-т Героїв Сталінграда, 12, Київ 04210²Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль 46027, Україна

ВПЛИВ СВІТЛА РІЗНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ НА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ТА АЗОТНИЙ ОБМІН У ВОДРОСТЕЙ

Досліджено вплив монохроматичного світла різної довжини хвилі на функціонування ключових ферментів енергетичного та азотного обміну у деяких представників Cyanophyta і Chlorophyta. Виявлено ряд видоспецифічних реакцій клітин водоростей за дії білого, червоного та синього світла.

Ключові слова: водорості, спектр світла, сукцинатдегідрогеназа, АТФ-аза, глутаматдегідрогеназа

Серед низки факторів, від яких залежить перебіг фотосинтетичних процесів, найважливішим є світло, зокрема, його інтенсивність та спектральний склад. Найефективнішими для фотосинтезу виявилися червоні промені, оскільки енергії їх квантів цілком достатньо для фотозбудження молекули хлорофілу та запуску фотохімічних реакцій [12].

Різна інтенсивність світла та якісний його склад впливають і на спектр продуктів фотосинтезу. Так, сині промені спектру (458–480 нм) порівняно з червоними (670–680 нм) посилюють інкорпорацію міченого вуглецю в малат, деякі амінокислоти та білки, а також активують ФЕП-карбоксилазу, яка впливає на включення ¹⁴С-субстратів до складу С₄-дикарбонових кислот [12].

Крім забезпечення фотосинтезу, світло також впливає на ріст і розвиток рослин, тобто виконує регуляторну функцію. Причому фотосинтетичні пігменти в цих процесах не є головними, основну функцію в них виконують специфічні фоторецептори – фітохромні пігменти. Отже, функціонування рослин визначається не тільки кількістю, але й якістю світла.

Спектральний склад є також одним із найважливіших факторів, які впливають на екологічні характеристики вищих і нижчих рослин. Так, якість світла, що змінюється з глибиною, значною мірою визначає розподіл фітопланктону у водоймах [14]. Відомо, що в прозорих водах на великих глибинах домінує синє світло, в неглибоких озерах з безбарвною водою глибше проникають зелені промені, а при слабкому забарвленні води – жовті [14]. Відповідно до цього різні групи водоростей займають певні екологічні ніші.

Слід зазначити, що водорості мають значну амплітуду пластичності щодо зміни освітлення, яка пов'язана з унікальним набором адаптивних механізмів і реакцій, що змінюють морфологію, анатомію, ультраструктуру, метаболізм і енергетику фотосинтезуючих систем [11, 18]. Різні водорості мають неоднакові механізми і адаптації до світла, тому серед великого розмаїття їх видів можлива наявність як типово світлолюбних, так і тіньювотривалих. Це, очевидно, відбивається і на їх природньому відборі, а отже і на формуванні структури альгоугруповань. Отже, дослідження впливу спектрального складу світла на водорості мають екологічне значення.

Метою роботи було з'ясування реакцій ферментних систем енергетичного та азотного обміну у синьозелених і зелених водоростей на дію світла різної якості.

Матеріал і методи досліджень

Об'єктами лабораторних досліджень були альгологічно чисті культури синьозелених (*Anabaena cylindrica* Lemm. HPDP-1, *Phormidium autumnale* f. *uncinata* (Ag.) Kondrat. HPDP-18) і зелених (*Desmodesmus brasiliensis* (Bohl.) Hegew. IBASU-A 273, *Scenedesmus obtusus* (W. et G.S. West) Tzar. IBASU-A 297) водоростей, які вирощували на середовищі Фітцджеральда в модифікації Цендера і Горема №11 [8] при температурі 22–25°C та освітленні (3000 лк)

протягом 12 год. на добу. Джерелом опромінення культур водоростей слугували: лампи денного світла, натрієві лампи ДНаТ-250 зі збільшеною часткою червоних променів у спектрі випромінювання та металогалогенні лампи ДРИ-250-5 з збільшеною часткою синіх променів.

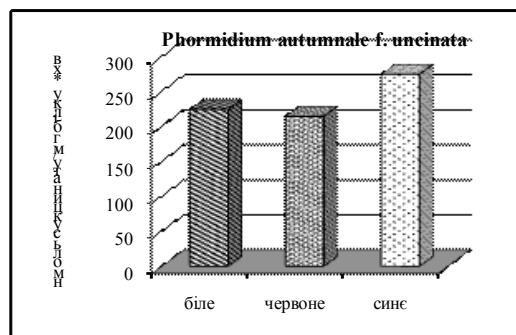
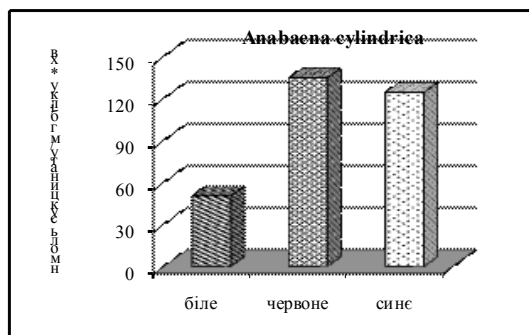
Для вивчення активності ферментів готували гомогенати біомаси водоростей (клітини відділяли від середовища за допомогою мембранних фільтрів Синпор №4) на тріс-НСІ буфері (рН 7,6), який вмiщав 0,002 М сульфату магнію та 0,002 М ЕДТА у співвідношенні 1:5 (сира маса : буфер) у механічному гомогенізаторі при 7000 об/хв. Гомогенати центрифугували при 5000 об/хв протягом 15 хв. Отриману таким чином суспензію використовували для подальших експериментальних робіт.

Активність сукцинатдегідрогенази (СДГ) визначали згідно [7], а глутаматдегідрогенази (ГДГ) – відповідно до [13]. Загальну АТФ-азну активність встановлювали з урахуванням методичних вказівок [19], а вміст білку у біомасі водоростей – за методом Лоурі [20].

Результати досліджень та їх обговорення

Сукцинатдегідрогеназа – регуляторний фермент циклу Кребса, активність якого визначає швидкість перебігу процесів аеробного мітохондріального енергоутворення в цілому. Тому активність СДГ позначається на швидкості продукування відновних еквівалентів нікотинамідів та інтенсивності спряження у ланцюзі окиснювального фосфорилування, а в кінцевому вимірі – утворенні АТФ в клітині [9]. З даних, представлених на рис. 1, добре видно, що реакція синьозелених і зелених водоростей на якісний склад світла різна. Так, для *A. cylindrica* біле світло, яке містить енергію квантів різних довжин хвиль, у 2,7 рази знижує активність СДГ порівняно з червоним, коли активність ферменту близька до такої за освітлення культур досліджуваних організмів синіми променями.

У *Ph. autumnale f. uncinata* найбільша активність СДГ відмічена у синій області спектру, проте за умов опромінення культури білим та червоним світлом активність зазначеного ферменту була помітно нижчою (на 18,2% та 23,9%, відповідно). При цьому активність СДГ у *Ph. autumnale f. uncinata* була практично удвічі вищою, ніж у *A. cylindrica*, проте в обох представників синьозелених водоростей оптимум СДГ зміщений у бік червоно-синьої частини спектру. Натомість у зелених водоростей, як у *D. brasiliensis*, так і у *S. obtusus*, максимум активності ферменту, навпаки, спостерігався за дії білого світла, а вплив променів червоної та, особливо, синьої області, значно зменшує активність СДГ. Так, якщо у *D. brasiliensis* за дії синього світла активність СДГ зменшується у 5,1 рази, то у *S. obtusus* – аж у 13,6 разів. При цьому абсолютні значення активності СДГ у *D. brasiliensis* були у 13,3 рази нижчими порівняно з *S. obtusus*.



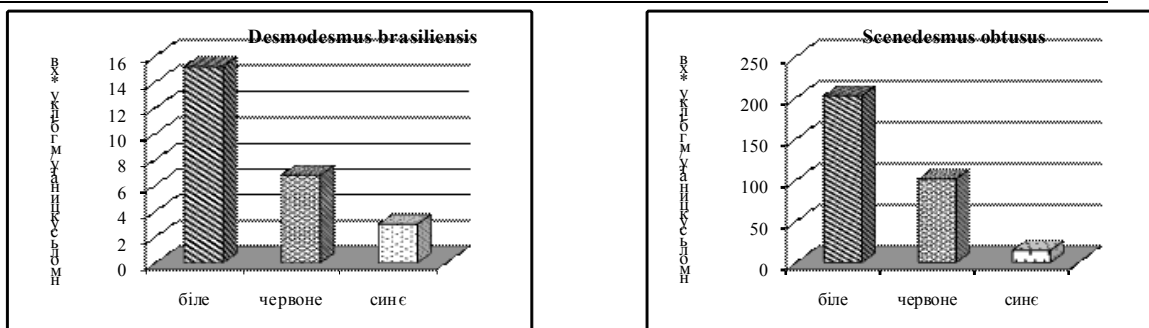


Рис. 1. Активність сукцинатдегідрогенази у синьозелених (*A. cylindrica*, *Ph. autumnale* f. *uncinata*) і зелених (*D. brasiliensis*, *S. obtusus*) водоростей за дії світла різного спектрального складу

Отже, водорості обох відділів відрізняються за абсолютними значенням активності СДГ, що може бути видовою особливістю їх метаболізму, проте загальні закономірності адаптації видів до світла певної довжини хвилі у межах окремих груп досліджуваних організмів практично однотипні. Специфічність адаптаційного синдрому водоростей окремих відділів до якісного складу світла може бути наслідком еколого-еволюційного розвитку цих організмів і, очевидно, має молекулярну природу.

Сукцинатдегідрогеназа, як зазначалося, є мітохондріальним ферментом, тому прямої дії світлових променів на нього немає. Однак, цей фермент циклу Кребса тісно пов'язаний з перетворенням вуглеводних субстратів, що синтезуються у хлоропластах. Тому активність циклу трикарбонових кислот може визначатися достатністю субстратів, інтенсивність утворення яких у фотосинтезі залежить як від вмісту, так і від ефективності функціонування пігментів, що значною мірою визначається умовами освітлення [10]. Очевидно, у синьозелених і зелених водоростей така залежність неоднакова, оскільки в процесі еволюції у них сформувалися відмінності у будові та функціонуванні фотосинтетичного апарату. Зокрема, представники Суанophyta (ціанобактерії) є прикладом перехідних організмів, у яких виділення кисню поєднувалося спочатку з неспроможністю, а пізніше – з поступовим зростанням здатності використовувати кисень в енергообміні [12]. Однією із причини цього є відсутність у синьозелених спеціалізованих морфологічних структур типу мітохондрій.

Крім того, як зазначалося вище, цикл Кребса є аеробним шляхом енергоутворення, що потребує достатньої кількості кисню. Тому адаптація до кисневого режиму може бути ще одним важливим чинником, який опосередковано впливає на цикл в цілому, і, СДГ, зокрема. Синьозелені водорості, які краще пристосовані до анаеробних умов, очевидно, мають ширший спектр толерантності функціонування СДГ до зміни якості світла, тоді як зниження інтенсивності фотосинтезу за неотимальності освітлення у зелених водоростей може супроводжуватися зниженням інтенсивності продукування кисню, і, як наслідок, інгібування активності аеробного окиснення та СДГ.

Для перевірки гіпотези про зв'язок енергетичного обміну з його субстратним забезпеченням розглянемо особливості активності глутаматдегідрогенази. Цей фермент бере участь у підтриманні рівноваги в системі α -кетоглутарат \leftrightarrow глутамат, а також постачає до циклу Кребса α -кетоглутарат за рахунок дезамінування глутамату, або вилучає його, коли треба зв'язати глутамат з аміаком з метою забезпечення клітин від надлишку останнього (метаболічна детоксикація аміаку) [1]. При цьому також слід зазначити, що ГДГ, яка здатна здійснювати субстратне регулювання активності циклу Кребса, також локалізована у водоростей в мітохондріях [16].

Зростання активності СДГ у *A. cylindrica* (у 8,0 разів) та *Ph. autumnale* f. *uncinata* (у 2,3 рази) за дії світла різної довжини хвиль – від білого до червоного та синього, супроводжується активацією ГДГ, що свідчить про тісний зв'язок енергетичного та азотного обміну у клітинах водоростей (рис. 2). Це підтверджує і проведений кореляційний аналіз (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції між активністю ферментів енергетичного та азотного обміну у деяких прісноводних водоростей

БІОХІМІЯ

Cyanophyta					
<i>Anabaena cylindrica</i>			<i>Phormidium autumnale f. uncinata</i>		
АТФ-аза	СДГ	-0,98	АТФ-аза	СДГ	-0,43
АТФ-аза	ГДГ	-0,95	АТФ-аза	ГДГ	-0,80
СДГ	ГДГ	0,87	СДГ	ГДГ	0,88
Chlorophyta					
<i>Desmodesmus brasiliensis</i>			<i>Scenedesmus obtusus</i>		
АТФ-аза	СДГ	-0,97	АТФ-аза	СДГ	-0,94
АТФ-аза	ГДГ	-0,89	АТФ-аза	ГДГ	-0,99
СДГ	ГДГ	0,96	СДГ	ГДГ	0,94

Така сама закономірність виявлена і у зелених водоростей, в яких позитивна кореляція між активностями СДГ і ГДГ була ще більшою, ніж для представників Суанопхйта (табл. 1). Зменшення активності СДГ у зелених водоростей за освітлення їх культур синіми променями супроводжувалося інгібуванням ГДГ у 8,0 разів як у *D. brasiliensis*, так і у *S. obtusus*. Це свідчить про універсальність фізико-хімічного механізму інгібування метаболізму в обох видів зелених водоростей світловими променями неоптимальної довжини.

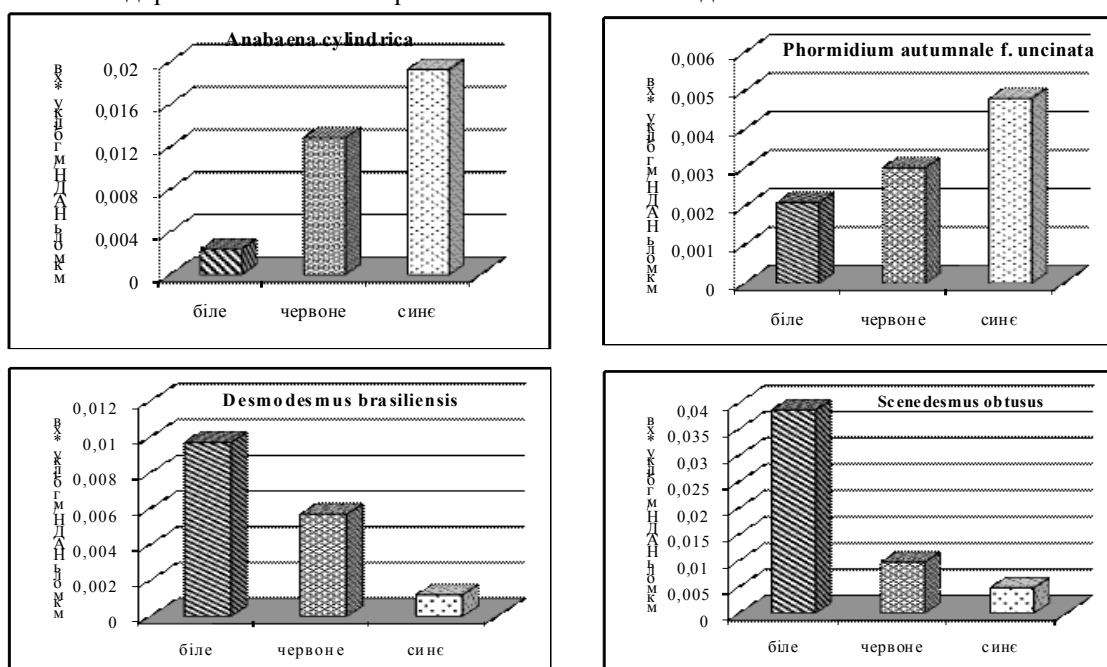


Рис. 2. Активність глутаматдегідрогенази у синьозелених (*A. cylindrica*, *Ph. autumnale f. uncinata*) і зелених (*D. brasiliensis*, *S. obtusus*) водоростей за дії світла різного спектрального складу

Отже, наведені дані вказують на очевидну субстрату регуляцію аеробного енергозабезпечення клітин як у синьозелених, так і зелених водоростей за зміни якісного складу світла. При цьому реакція на енергію квантів різних довжин хвиль у синьозелених і зелених водоростей відрізняється. Останнє може бути наслідком еволюційно-екологічної адаптації видів до субстратного забезпечення енергетичних процесів у різних умовах освітлення. Значне використання в енергетичних витратах, поряд з вуглеводами, амінокислот, насамперед, глутамату, у рослин, є доведеним фактом [5, 17, 21].

Відомо, що біохімічна адаптація здійснюється на трьох рівнях: а) шляхом зміни функціональної активності метаболічних систем, б) через підтримання необхідної кількості функціональних макромолекул та в) шляхом синтезу їх нових типів [15]. У лабільному водному середовищі організми гідробіонтів для забезпечення виживання намагаються підтримати на необхідному рівні, насамперед, метаболічну активність [3]. За дії значимих факторів у клітинах водоростей відбуваються певні зміни в різних ланках метаболізму, які зумовлюють активізацію, пригнічення чи функціональні перебудови останніх [1].

Адаптивна відповідь організму визначається, насамперед, фізіологічною сумісністю та значенням в організмі, оскільки кожний фактор володіє певними механізмами дії та обумовлює специфічні реакції-відповіді на зміни, що ним викликані. Тому досить важливо з'ясувати те, як клітини водоростей використовують системи захисту від неадекватної дії на їх метаболізм. Так, важливим показником, що характеризує як мембранну адаптацію клітин водоростей, так і рівень енергетичної готовності клітин до захисту від несприятливого фактору, є функціонування АТФ-аз [6].

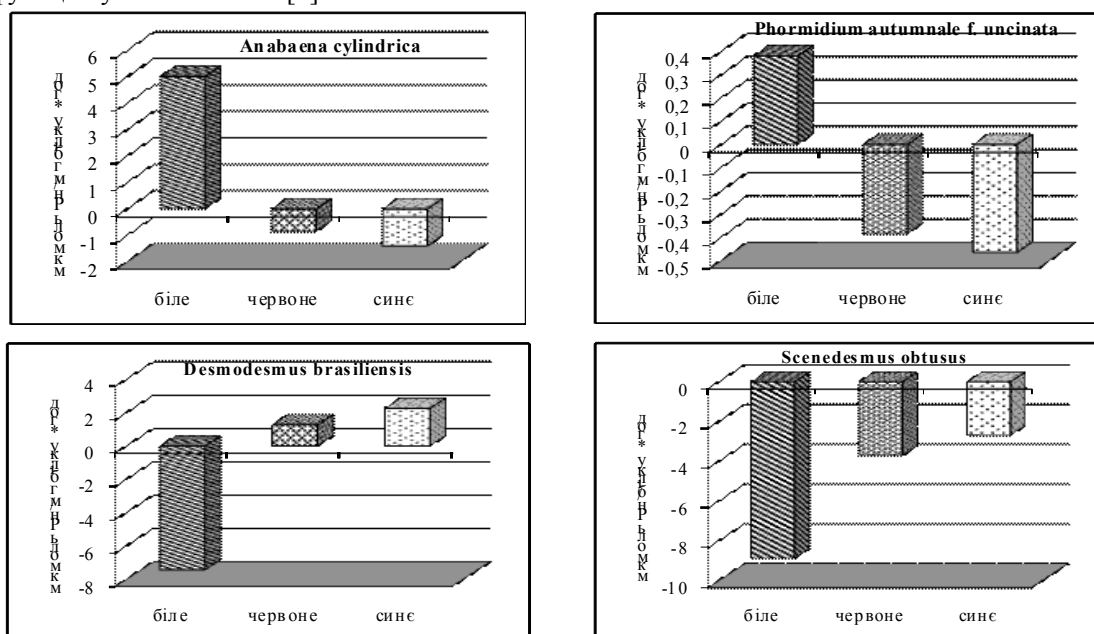


Рис. 3. АТФ-азна активність у синьозелених (*A. cylindrica*, *Ph. autumnale f. uncinata*) і зелених (*D. brasiliensis*, *S. obtusus*) водоростей за дії світла різного спектрального складу

Результати визначення АТФ-азної активності у досліджених видів водоростей засвідчили існування зворотної залежності між активностями СДГ, ГДГ та АТФ-ази (табл. 1). Так, у синьозелених водоростей, особливо у *A. cylindrica*, зростання активності СДГ і ГДГ за зміни світла від білого до синього супроводжувалося зменшенням АТФ-азної активності до таких низьких значень, що вже за освітлення культури червоними променями фосфорилування у реакційній суміші для виявлення активності ферменту (ймовірно АТФ-синтазна реакція) переважало над розщепленням АТФ (АТФ-азна реакція). В результаті цього відбувалося використання (зв'язування) фосфатних груп, а не їх надходження до реакційного середовища. Виявлений факт свідчить про активний перебіг процесів синтезу АТФ внаслідок аеробного окиснення субстратів у циклі Кребса. У *A. cylindrica* порівняно з *Ph. autumnale f. uncinata* цей процес є активнішим, оскільки абсолютні значення вмісту фосфатів за опромінення культур червоним і синім світлом менші, очевидно, за рахунок їх інтенсивнішого зв'язування. Це співвідноситься з більшим зростанням активності СДГ у *A. cylindrica*.

Як вже зазначалося, у зелених водоростей також встановлено зворотною кореляцію між активністю СДГ, ГДГ та АТФ-азною активністю, однак, на відміну від представників Суанопхйта, у них зниження активності зазначених ферментів за дії білого світла супроводжувалося зростанням АТФ-азної активності. Отже, на відміну від синьозелених водоростей, у яких сині та червоні промені активують фосфорилування і утворення макроергів, у представників Chlorophyta, навпаки, оптимальними умовами для перебігу процесів фосфорилування в клітинах є біле світло. В умовах дії на культури зелених водоростей червоних та синіх променів відбувається інгібування процесів фосфорилування і активізується розщеплення АТФ у АТФ-азних реакціях. Це може бути пов'язано з адаптивною перебудовою мембран і метаболізму в клітинах водоростей у відповідь на світловий стрес, що спостерігали у наземних рослин при їх вирощуванні в культурі за дії монохроматичного світла [4].

Загалом у водоростей можна відмітити декілька ефектів, які викликаються зміною спектрального складу світла: 1) субстратне використання амінокислот для енергозабезпечення клітин шляхом їх залучення до циклу Кребса; 2) активація червоним та синім світлом аеробного окиснення та фосфорилування у синьозелених водоростей; 3) інгібування аеробного окиснення та фосфорилування у клітинах зелених водоростей за дії червоних та синіх променів. Останні два ефекти, ймовірно, визначаються специфічними морфо-фізіологічними адаптаціями, насамперед, фотосинтетичного апарату водоростей [10]. Відомо, що існують певні відмінності у складі пігментного комплексу синьозелених і зелених водоростей. Так, *Cyanophyta* відрізняються від інших груп водоростей тим, що їх фотосинтетичний апарат містить тільки хлорофіл *a*, тоді як *Chlorophyta* – хлорофіли *a* і *b* [2]. Крім того, у синьозелених водоростей виявлені фікобілінові пігменти – фікоеритрин, фікоціанін і алофікоціанін. Фікобіліни, як правило, присутні в клітинах водоростей в значно більшій концентрації порівняно з хлорофілами. Ці пігменти трапляються в різних співвідношеннях, причому залежно від умов освітлення формується переважно такий їх набір, який найкраще використовує відповідний спектр освітлення [12]. Фікобіліни зумовлюють явище філогенетичної хроматичної адаптації водоростей в їхній вертикальній зональності. Наявність фікобілінів дає змогу водоростям у процесі фотосинтезу використовувати промені, які проникають на певну глибину, та забезпечувати ефективну передачу поглинутої ними енергії сонячного світла до хлорофілу *a*. Крім того відомо, що зелено-синє світло стимулює синтез фікоеритрину, а за дії червоного світла переважає утворення синього пігменту фікоціаніну [10]. Оскільки у зелених водоростей фікобілінові пігменти відсутні, енергетичні процеси в їхніх клітинах за дії червоного і синього світла можуть інгібуватися.

Важливим фактором, який справляє вплив на синтез пігментів у рослин, є парціальний тиск кисню [10]. На нашу думку, його регуляторне значення для перебігу процесів аеробного окиснення у краще адаптованих до анаеробних умов синьозелених водоростей є менш вагомим, ніж у вибагливих до кисню представників *Chlorophyta*.

Висновки

Адаптаційний потенціал прісноводних водоростей за нормальних фізіологічних умов характеризується загальними принципами, однак є видоспецифічним та спрямованим на реалізацію стратегій адаптації до умов існування за зміни освітлення. Це підтверджується перебудовами у функціонуванні основних енергетичних систем та активацією компенсаторних систем за дії світла різної довжини хвилі. Реакції водоростей на зміну освітлення в природних умовах, ймовірно, є одним із вагомих факторів, які впливають на формування альгогруповань і продуктивність водних екосистем.

1. Боднар О. І. Адаптивні властивості водоростей за дії іонів металів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : Спец. „Гідробиологія” / О. І. Боднар. – Київ, 2009. – 24 с.
2. Водоросли. Справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1989. – 608 с.
3. Гандзюра В. П. Поняття шкодочинності в екології / В. П. Гандзюра, В. В. Грубінко // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. – 2007. – № 1(31). – С. 11–31.
4. Герц А. І. Особливості росту і розвитку *Brassica rapa* var. *ASTROPLANTS* у змінних світлових полях різної інтенсивності та спектрального складу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : Спец. „Фізіологія рослин” / А. І. Герц. – Київ, 2009. – 20 с.
5. Гудвин Т. Введение в биохимию растений / Т. Гудвин, Э. Мерсер. Под. ред. В. Л. Кретовича. – М. : Мир, 1986. – Т. 1. – 392 с.
6. Костюк К. В. Структурно-функціональні реакції клітин водних рослин на дію токсикантів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук. Спец. „Гідробиологія” / К. В. Костюк. – Київ, 2011. – 20 с.
7. Методы биохимических исследований / Под ред. М. И. Прохоровой. – Л. : ЛГУ, 1982. – 273 с.
8. Методы физиолого-биохимических исследований водорослей в гидробиологической практике / Л. А. Сиренко, А. И. Сакевич, Осипов Л. Ф. Осипов [и др.]; под ред. А. В. Топачевского. – Киев : Наук. думка, 1975. – 247 с.
9. Мецлер Д. Биохимия: Химическая реакция в живой клетке / Д. Мецлер. – М. : Мир, 1990. – Т. 2. – 367 с.

10. Мосин О. В. Хлоропласты растений и синтез каротиноидных пигментов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zhurnal.lib.ru/o/oleg_w_m/cdocumentsandsettingsolegmoidokumentyhlroplastyisintezpigmentowrtf.html.
11. Мурзаева С. В. Фосфорилирование изолированных хлоропластов морской водоросли *Codium fragile*, проявляющейся в разных условиях освещения / С. В. Мурзаева, Э. А. Титлянов // Физиология растений. – 1983. – Т. 30, № 1. – С.42.
12. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: Підручник / М. М. Мусієнко. – Київ : Либідь, 2005. – 808 с.
13. Софьин А. В. Глутаматдегидрогеназы одноклеточной зеленой водоросли. Кинетические свойства / А. В. Софьин, В. Р. Шатилов, В. Л. Кретович // Биохимия. – 1984. – Т. 49, № 2. – С. 334–345.
14. Хатчинсон Д. Е. Лимнология: пер. с англ. – М. : Прогресс, 1969. – 591 с.
15. Хочачка П. Биохимическая адаптация / П. Хочачка, Дж. Сомеро. – М. : Мир, 1988. – 568 с.
16. Шатилов В. Р. Энзимология ассимиляции аммония в одноклеточных зеленых водорослей : автореф. дис. на соискание науч. степени докт. биол. наук : специальность „Биохимия” / В. Р. Шатилов. – М., 1986. – 46 с.
17. Шатилов В. Р. Глутаматдегидрогеназы // Энзимология ассимиляции аммония у растений : сб. научн. трудов Итоги науки и техники. Серия “Биологическая химия” / В. Р. Шатилов. – М. : ВИНТИ, 1987. – Т. 24. – С. 4–104.
18. Ядыкин А. А. Влияние света на активность некоторых фотосинтетических ферментов и состав первичных продуктов фотосинтеза морских водорослей / А. А. Ядыкин, Э. А. Титлянов // Биология моря. – 1983. – № 3. – С. 74–79.
19. Dang Z. Na⁺/K⁺ ATP-ase immunoreactivity in branchial chloride cells of *Oreochromis mossambicus* exposed to copper / Z. Dang, R. A. C. Lock, G. Filk // J. Exp. Biol. – 2000. – Vol. 203. – P. 379–387.
20. Lowry O. H. Protein measurement with the folin phenol reagent / O. H. Lowry, N. I. Rosenberg, A. L. Farr, R. I. Randall // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193, № 1. – P. 265–275.
21. Syrett P. J. Nitrogen metabolism of microalgae / P. J. Syrett // Can. Bull. Fish. and Aquatic Sci. – 1981. – Vol. 210. – P. 182–210.

А.В. Калиновская¹, О.В. Василенко², К.В. Костюк², А.И. Герц²

¹Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

²Тернопольский национальный педагогический университет им. Владимира Гнатюка, Украина

ВЛИЯНИЕ СВЕТА РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И АЗОТНЫЙ ОБМЕН У ВОДОРΟΣЛЕЙ

Исследовали влияние монохроматического света разной длины волны на функционирование ключевых ферментов энергетического и азотного обмена у некоторых представителей Cyanophyta и Chlorophyta. Выявлено ряд видоспецифических реакций клеток водорослей при освещении белым, красным и синим светом.

Ключевые слова: водоросли, спектр света, сукцинатдегидрогеназа, АТФ-аза, глутаматдегидрогеназа

A.V. Kalinovskaya¹, O.V. Vasilenko², K.V. Kostyuk², A.I. Herz²

¹Institute of hydrobiology of NAS of Ukraine, Kyiv

²Volodymir Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

INFLUENCE OF LIGHT FOR VARIOUS SPECTRAL DETAILS S ENERGY ON AZOTE METABOLISM IN ALGAE

Investigated the influence of monochromatic light of different wavelengths on the functioning of key enzymes of energy and nitrogen metabolism in some representatives of Cyanophyta and Chlorophyta. Identified a number of species-specific responses of algae cells under illumination with white, red and blue light.

Keywords: algae, light spectrum, succinate dehydrogenase, ATP-ase, glutamate dehydrogenase

Рекомендує до друку

Надійшла 20.02.2011

Н.М. Дробик