Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского
Серия «Биология, химия». 2007. Том 20 (59) . № 1. С. 135-140.

УДК 581.26:577.473

ОСОБЕННОСТИ СВЕТОВОЙ АДАПТАЦИИ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

Отурина И.П. Ерёмина А.И., Чурилова Т.Я.

Исследованы показатели, характеризующие процессы световой адаптации диатомовых водорослей *Ditylum Brightwellii* и *Sceletonema costatum.* Установлено, что при оптимальном уровне освещенности обеих культур (86,0 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$) размеры клеток и численность клеточной популяции микроводорослей возрастают. Крупные клетки *Ditylum Brightwellii* накапливают больше органического углерода, чем мелкие клетки *Sceletonema costatum.* Удельная скорость роста клеточной популяции в условиях световой адаптации у *Ditylum Brightwellii* ниже, чем у *Sceletonema costatum.*
Ключевые слова: диатомовые водоросли, световая адаптация, удельная скорость роста.

ВВЕДЕНИЕ

Значение фитопланктона в любой водной экосистеме состоит в усвоении солнечной энергии и преобразовании косного неорганического вещества в ткани живых организмов, а также в участии в общем круговороте веществ в природе в качестве первичного звена всех трофических цепей [5]. Способность фитопланктона поглощать свет является основополагающей характеристикой в процессе использования световой энергии для биосинтетических реакций. Определение спектральных характеристик поглощения света планктонными водорослями стало в настоящее время одной из актуальных проблем в связи с необходимостью объективной оценки способности фитопланктона преобразовывать энергию электромагнитного излучения в энергию химических связей органических веществ, накопление которых лежит в основе наращивания биомассы.

В фитопланктоне Чёрного моря насчитывается около 750 видов водорослей, относящихся к 7 отделам, среди которых особое место занимают диатомеи, широко распространенные по всей черноморской акватории, большая часть их видового разнообразия приходится на неритические формы.

Существенное влияние на развитие диатомовых водорослей в водоемах оказывают степень освещенности и качество света, определяющие закономерности распределения этих представителей фитопланктона по глубинам. Исследование механизмов адаптации клеток морских водорослей к изменяющемуся световому режиму представляет особый интерес в связи с изучением проблемы рационального использования ресурсов Мирового океана. Целью настоящего исследования явилось изучение адаптивных реакций двух культур диатомовых водорослей в ответ на изменение интенсивности освещения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Диатомовые водоросли (*Bacillariophyta* или *Diatomeae)* – совершенно особая группа одноклеточных микроскопических организмов, резко отличающаяся от остальных водорослей; клетка диатомей снаружи окружена твердой кремнеземной оболочкой – панцирем. Фитопланктонные диатомовые водоросли, обитающие в пелагиали морей, проявляют большую пластичность в использовании солнечной энергии при одинаковой

радиации, а, следовательно, отличаются интенсивностью процессов фотосинтеза, а также скоростью усвоения минеральных и органических веществ

Объектами настоящего исследования явились *Ditylum brightwellii (West) Grun.* (дитилум брайтвейлла) – представитель класса *Centrophyceae*, порядка *Biddulphiales*, семейства *Biddulphiaceae*, а также *Sceletonema costatum (Grev.) Cl.* (сцелетонема ребристая), относящаяся к классу *Centrophyceae*, порядку Coscinodiscales, семейству *Thalassiosiraceae*. Оба вида микроводорослей встречаются в Чёрном море повсеместно, особенно в бухтах, преимущественно весной (март-апрель месяцы) [2].

Выращивание альгологически чистых культур проводили на питательной среде Гольдберга [3] при температуре +17–18^0 С. Исследуемые микроводоросли адаптировали к 5 различным интенсивностям света: для *D. brightwellii* – 13,8; 24,1; 44,7; 86,0; 138 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$; для *S. costatum* – 5,2; 8,6; 39,6; 86,0; 155 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$ (варианты №№ 1-5 соответственно для каждого вида водорослей). Предварительная световая адаптация объектов проводилась при непрерывном 24-х часовом освещении без темнового периода. Квантовое содержание «условного люкса» для люминесцентных ламп холодного свечения соответствовало: 1клк = 17,2 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$ [4].

Культура в период адаптации поддерживалась в экспоненциальной фазе роста методом периодического разбавления. Продолжительность адаптации составляла 7 суток, в течение которых исходные клетки начинали активно размножаться, следовательно, за этот период культура водорослей полностью адаптировалась к заданному световому режиму.

Концентрацию клеток в культуре определяли микроскопически в камере Горяева. Объем клеток измеряли при помощи окуляр-микрометра. Внутриклеточное содержание углерода рассчитывали по Menden-Deuer [8], исходя из среднего объёма клетки. Скорость роста клеток вычисляли по Финенко З.З., Ланской Л.А. [6].

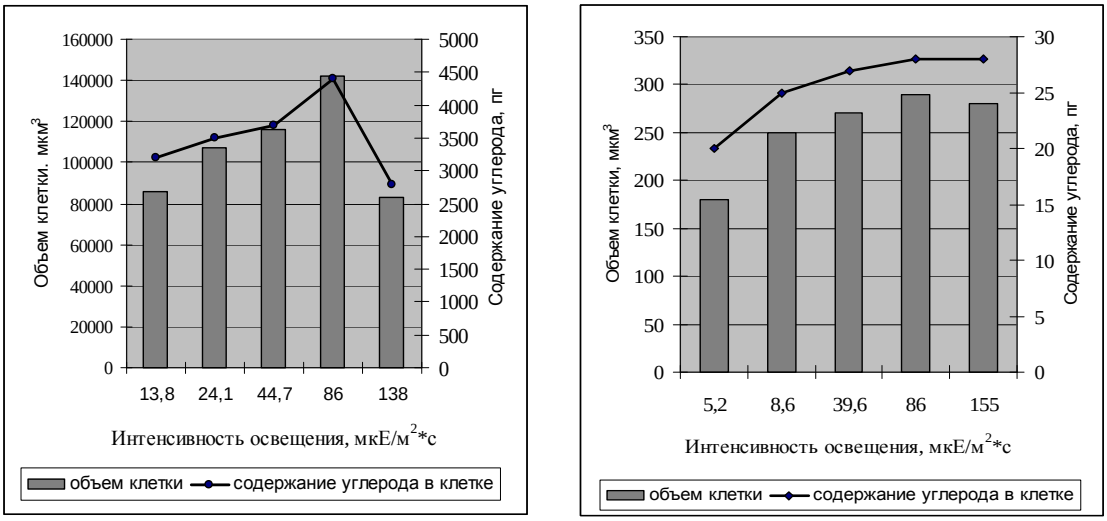
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Клетки *Ditylum brightwellii* и *Sceletonema costatum* имеют разные морфометрические характеристики. Объём клеток дитилума при начальном уровне освещения (13,8 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$) был больше, чем у сцелетонемы, в среднем в 470 раз (рис. 1).

Изменение интенсивности освещения оказало существенное воздействие на величину клеток исследуемых объектов. Так, максимальные размеры клеток *D. brightwellii*, средний объем которых составил 142·10^3 мкм^3, были зафиксированы при 86,0 мкЕ·м$^{-2}$· с$^{-1}$. При самом высоком уровне освещенности (138,0 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$) показатели объемов клеток дитилума были близки к первоначальным (рис. 1, А).

Объём клеток *S. costatum* с возрастанием освещённости от 5,2 до 86,0 мкЕ·м$^{-2}$· с$^{-1}$ увеличивался соответственно со 180 мкм^3 до максимального значения 280-290 мкм^3 (рис. 1, Б). При дальнейшем возрастании освещенности до 155,0 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$ размеры клеток сцелетонемы начинали постепенно уменьшаться.

Таким образом, оптимальная освещенность для обоих видов исследуемых микроводорослей, при которой отмечался максимальный объем их клеток, составила 86,0 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$.



А Б

Рис. 1. Изменение объема клеток и содержания в них углерода у *Ditylum brightwellii* (А) и *Sceletonema costatum* (Б) при разной интенсивности освещения

Возрастание размеров клеток при оптимальном уровне освещения обеих культур, очевидно, связано с накоплением диатомовыми водорослями пула пластических веществ, используемых в конструктивном обмене. Для большинства автотрофных организмов основными источниками органического углерода являются продукты фотосинтеза – углеводы. Содержание углерода в клетках дитилума и сцелетонемы при возрастании интенсивности света от первоначального уровня до 86,0 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$ увеличивалось на 38-40% (рис. 1). При максимальном уровне освещенности (138,0 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$) концентрация углерода в клетках *D. brightwellii* снижалась в среднем на 12,5 %, в то время, как у *S. costatum* при наибольшей интенсивности света (155,0 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$) изменений данного показателя по сравнению с предыдущим уровнем освещенности не наблюдалось.

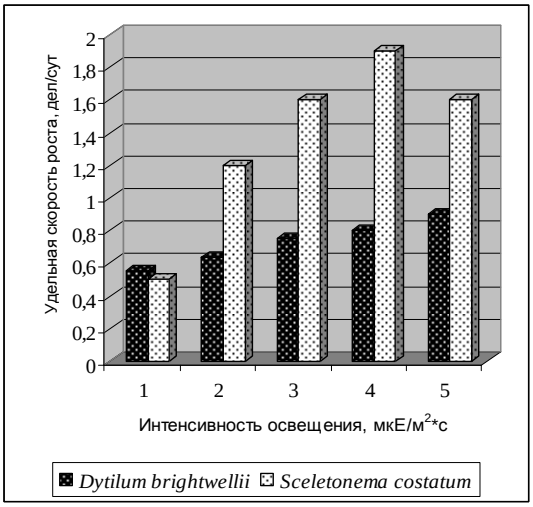
Количественное выражение динамики прироста биомассы, накапливаемой фитопланктоном, зависит как от размеров и массы каждой отдельной клетки микроводоросли, так и от общей численности клеток, связанной со скоростью их размножения (Langdon, 1988).

Согласно данным, приведённым Финенко З.З., Ланской Л.А. (1971), динамика роста клеток водорослей в основном зависит от скорости биохимических реакций, обусловливающих синтез белков и нуклеиновых кислот, которые в отличие от запасных веществ являются активной частью протоплазмы [6]. Суммарным выражением скорости биосинтетических реакций популяции одноклеточных водорослей может служить скорость деления клеток, поскольку рост отдельной клетки ограничен известным пределом. Для того, чтобы контролировать условия роста, водоросли выращивают в чистых культурах на средах, содержащих все необходимые элементы для их жизнедеятельности. Развитие водорослей в этих условиях отличается рядом особенностей, которые не имеют места в природе. В условиях *in vitro* у всех видов

водорослей различают индивидуальный и популяционный рост. Один из классических примеров, поясняющих понятие индивидуального роста клеток, дают диатомовые водоросли. Для них характерно наличие кремниевого панциря, состоящего из двух створок. При делении одна дочерняя клетка оказывается в более крупной створке, а другая – в более мелкой. В следующем поколении более мелкая клетка делится таким же образом, так что одна из её дочерних клеток оказывается ещё мельче. Этот процесс продолжается до тех пор, пока, в конце концов, либо сбрасывается панцирь (при образовании ауксоспор), либо такие клетки оказываются неспособными к дальнейшему делению и погибают, когда их размеры выходят за пределы критического минимума [2].

Популяционный рост описывается, как правило, S-образной кривой. Во время роста культуры водорослей в лимитированных объёмах различают следующие фазы роста: 1) лаг- фаза, на протяжении которой увеличения численности клеток не происходит; 2) экспоненциальная, или логарифмическая, фаза; 3) фаза замедленного роста; 4) стационарная фаза, характеризующаяся максимальной величиной биомассы и максимальной суммарной численностью клеток; 5) фаза отмирания. Все фазы являются результатом взаимодействия клетки и окружающей среды.

Диатомеи быстро реагируют на изменения условий, в которых они развиваются, и, в первую очередь, на колебания уровня освещенности. Световая адаптация этих водорослей проявляется в вариациях показателей скорости роста клеточной популяции, которые вычислялись в логарифмической фазе роста культур, характеризующейся постоянной максимальной скоростью деления клеток, за счет чего их численность увеличивается в геометрической прогрессии (рис. 2).



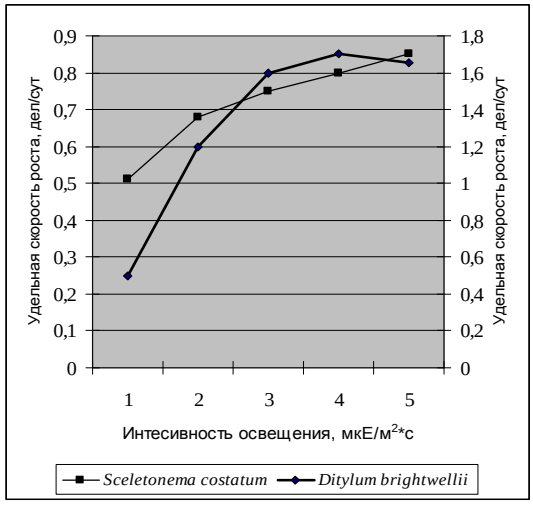


Рис. 2. Удельная скорость роста клеточной популяции *Ditylum brightwellii* и *Sceletonema costatum* при разной интенсивности освещения (левый рисунок).

Рис. 3. Влияние разных режимов освещенности на рост клеточной популяции диатомовых водорослей (правый рисунок).

В ходе проведенных экспериментов установлено, что при начальном уровне освещенности удельная скорость роста клеточной популяции обоих исследуемых видов микроводорослей была одинаковой (0,5 дел·сут$^{-1}$) (рис. 2).

С возрастанием интенсивности освещения до 86,0 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$ этот показатель постепенно увеличился, достигнув максимальных значений – 0,85 и 1,9 дел·сут$^{-1}$ у *Ditylum brightwellii* и *Sceletonema costatum* соответственно. С увеличением освещенности до 155,0 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$ удельная скорость роста популяции сцелетонемы снижалась до 1,6 дел·сут$^{-1}$, в то время, как у дитилума клетки при заданном режиме освещенности продолжали интенсивно размножаться (рис. 2).

Важным показателем, характеризующим зависимость скорости роста от степени освещенности, является насыщающая рост водорослей интенсивность света. Для *.D. brightwellii* и *S. costatum* насыщающая интенсивность света, при которой наблюдался выход кривой роста на плато, соответствующий стационарной фазе, составила 20,8 и 15 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$ соответственно (рис. 3). Эти показатели по своей величине меньше данных, приведённых в литературе, согласно которым насыщающая интенсивность света для фитопланктона составляет 70-140 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$ [1].

Подобное несоответствие объясняется тем, что при сопоставлении экспериментальных результатов необходимо учитывать при освещении соотношение светового и темнового периодов. Для того, чтобы исключить влияние разных световых режимов, следует сопоставлять скорость роста не с интенсивностью света, а с продолжительностью освещения в течение суток, которая в нашем эксперименте составляла 24 часа.

Длина светового дня (непрерывное освещение в течение 24 часов) оказала существенное влияние на скорость роста клеток исследуемых видов диатомей. Согласно Langdon C. (1988), при 16-ти часовом фотопериоде удельная скорость роста для *Ditylum brightwellii* составляет 2,1 дел·сут$^{-1}$, при непрерывном освещении этот показатель уменьшается до 0,84 дел·сут$^{-1}$ [7], что подтверждается экспериментально полученными значениями скорости роста для *Ditylum brightwellii* (0,8-0,9 дел·сут$^{-1}$). Таким образом, продолжительность фотопериода свыше 16 часов оказывает угнетающее воздействие на рост диатомовых.

Следует отметить, что результатом адаптации клеток *Ditylum brightwellii* и *Sceletonema costatum к* условиям освещённости, различающимся на порядок, является поддержание относительно постоянной скорости роста в течение всего эксперимента.

ВЫВОДЫ

1. Представители черноморских видов диатомовых водорослей *Ditylum brightwellii* и *Sceletonema costatum* реагируют на колебания условий освещенности изменением размеров клеток и численности клеточных популяций, показатели которых при возрастании интенсивности освещения постепенно увеличиваются.
2. Максимальные значения морфометрических характеристик клеток обеих исследованных культур (высота, диаметр, объем) отмечены при интенсивности освещения 86 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$. Сверхоптимальный уровень освещенности вызывает торможение роста клеток диатомей.

3. Более крупные клетки дитилума при оптимальном уровне освещенности накапливают большее количество органического углерода, чем мелкие клетки сцелетонемы.
4. Удельная скорость роста клеточной популяции, характеризующая динамику прироста биомассы, в условиях световой адаптации у *Ditylum brightwellii* в 1,8-2,1 раза ниже, чем у *Sceletonema costatum.*
5. При непрерывном 24-х часовом освещении темпы процессов роста популяций дитилума и сцелетонемы замедляются.

Список литературы

1. Берсенева Г.П., Сергеева Л.М., Финенко З.З. Адаптация морских планктонных водорослей к свету // Океанология. – 1978. – Т. 18. – Вып. 2. – С. 298-306.
2. Жизнь растений / Под ред Федорова Ал. А. – М: Просвещение, 1977. – Т.3. – С. 111-127.
3. Ланская Л.А. Культивирование водорослей / В сб.: Экологическая физиология морских планктонных водорослей. Под ред. Грезе В.Н. – Киев: Наукова думка, 1971. – С. 5-22.
4. Парсонс Т.Р., Такахаши М., Харгрейв Б. Биологическая океанография. – М.: Легкая промышленность, 1982. – 432 с.
5. Сорокин Ю.И., Ведерников В.И. Сезонные изменения черноморского планктона. – М.: Наука, 1983. – С. 5-11.
6. Финенко З.З., Ланская Л.А. Рост и скорость деления водорослей в лимитированных объемах воды / В сб.: Экологическая физиология морских планктонных водорослей. Под ред. Грезе В.Н. – Киев: Наукова думка, 1971. – С. 22-51.
7. Langdon C. On the causes of interspecific differences in the grows-irradiance relationship for phytoplankton // J. of Plankton Research. – 1988. – Vol. 10. – № 6. – P. 38-44.
8. Menden-Deuer, E.J. Lessard. Carbon to volume Relationships for dinoflagellates, diatoms and other protest plankton // Limnol. Oceanogr. – 2002. – Vol. 45 (3). – P. 569-579.

Отуріна І.П., Єрьоміна О.І., Чурілова Т.Я. **Особливості світлової адаптації діатомових водоростей** // Учені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. – 2007. – Серія «Біологія, хімія». – Т. 20 (59), № 1. – С. 135-140.

Досліджено показники, що характеризують процеси світлової адаптації діатомових водоростей *Ditylum Brightwellii* і *Sceletonema costatum.* Встановлено, що при оптимальному рівні освітленості обох культур (86,0 мкЕ·м$^{-2}$·с$^{-1}$) розміри клітин і чисельність клітинної популяції мікроводоростей зростають. Великі клітини *Ditylum Brightwellii* накопичують більше органічного вуглецю, чим дрібні клітини *Sceletonema costatum.* Питома швидкість росту клітинної популяції в умовах світлової адаптації в *Ditylum Brightwellii* нижче, ніж у *Sceletonema costatum.*

***Ключові слова*:** діатомові водорості, світлова адаптація, питома швидкість росту

***Oturina I.P. Yeromina A.I., Churilova T.Ya.* Fetures of photic adaptation of Diatoms** // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Series “Biology, chemistry”. – 2007. – Vol. 20 (59), № 1. – P. 135-140.

The processes of photic adaptation diatoms *Ditylum Brightwellii* and *Sceletonema costatum* are investigated. Given research has established that at the optimum level of illuminance of both cultures (86,0 mkE·m^{-2}·s^{-1}) the sizes of cells and quantity of mikroalgae cellular population increase. The large cells of *Ditylum Brightwellii* accumulate more of organic carbon, than small cells of *Sceletonema costatum.* During photic adaptation specific growth rate of cellular population is less at *Ditylum Brightwellii*, than at *Sceletonema costatum.*

Keywords: diatoms, photic adaptation, specific growth rate