

ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ РОСТА ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА В КУЛЬТУРАХ ДИНОФИТОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ

И.М. Мансурова

Институт биологии южных морей
НАН Украины,
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: iren9362@yandex.ru

Определены основные ростовые характеристики пяти видов динофитовых водорослей: удельная скорость и эффективность роста, начало светового насыщения роста. Показана способность некоторых видов расти с высокой скоростью (более $0,67 \text{ сут}^{-1}$). Выявлена зависимость эффективности роста и удельной скорости роста от объема клетки микроводорослей.

Введение. Динофитовые водоросли являются важным компонентом морского фитопланктона. Изучение их ростовых характеристик в культурах служит основой для выявления закономерностей изменения этих показателей в море. Однако до настоящего времени данные характеристики изучены недостаточно. Поэтому, вероятно, результаты по скорости роста динофитовых водорослей, представленные в литературе, противоречивы [1 – 4].

Цель настоящей работы – изучить зависимость удельной скорости роста от интенсивности света в альгологически чистых культурах динофитовых водорослей, выделенных из планктона Черного моря.

Материал и методика. Объектом исследования являлись пять видов альгологически чистых культур динофитовых водорослей: *Prorocentrum corollatum* (Ostenfeld, 1901), *P. micans* (Ehrenberg, 1833), *P. pusillum* (Schiller, 1928), *Gyrodinium fissum* (Levander, 1894), *Glenodinium foliaceum* (Stein, 1883) из коллекции отдела экологической физиологии водорослей ИнБЮМ НАН Украины. Водоросли выращивали в конических колбах объемом 1 л на среде f/2 при непрерывном искусственном освещении на шести различных интенсивностях

света (от 0 до $350 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$). Световые условия создавались с помощью люминесцентных ламп PHILIPS TL RS 20W/54-765. Адаптация к каждой интенсивности света осуществлялась в течение 2 – 8 суток. Температура в экспериментах составляла $19 - 22^\circ\text{C}$. Культуры находились в логарифмической фазе роста, что обеспечивалось путем постоянного их разбавления свежей питательной средой.

Удельную скорость роста микроводорослей рассчитывали по приросту численности клеток в экспериментальных сосудах по уравнению

$$\mu = \ln(N_0/N_t)/t, \quad (1)$$

где N_0 – исходная численность клеток; N_t – численность клеток через время t .

Численность клеток оценивали с помощью двухлучевого регистрирующего спектрофотометра Specord UV-VIS (Karl Zeiss, ГДР). Для каждого вида водорослей осуществлялась калибровка путем сопоставления данных по оптической плотности на длине волны 750 нм с численностью клеток, полученной методом прямого счета под световым микроскопом ZEISS Primo Star. В качестве примера на рис. 1 представлена калибровка фотометра для вида *P. pusillum*.

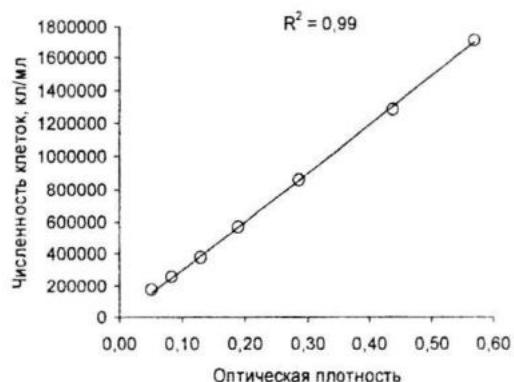


Рис. 1. Калибровочный график для определения численности клеток *P. pusillum* по оптической плотности сусpenзии при 750 нм

После завершения световой адаптации водорослей проводилось измерение линейных размеров клеток под световым микроскопом в 20-ти повторностях.

Объем клеток рассчитывали по формулам, представленным в работе [5].

Для описания зависимости удельной скорости роста от интенсивности света использовали функцию Пуассона [6], которая позволяет определить три основные параметра роста микроводорослей: максимальную удельную скорость роста (μ_{\max} , сут⁻¹), интенсивность света, при которой наблюдается начало светового насыщения по росту (E_k , мкЭ·м⁻²·с⁻¹), и эффективность роста, (α , сут⁻¹/(мкЭ·м⁻²·с⁻¹)), которая соответствует углу наклона кривой роста на ее линейном участке.

Эффективность роста рассчитывалась по формуле

$$\alpha = \mu_{\max}/E_k. \quad (2)$$

Результаты и обсуждение. По данным некоторых авторов, динофитовые водоросли дают невысокие значения удельной скорости роста. Так, у *P. micans* по данным [1] максимальная удельная скорость роста составила 0,18 сут⁻¹, у *Karłodinium micrum* – 0,35 сут⁻¹ [3], а у *Gonyaulax tamarensis* – 0,41 сут⁻¹ [2].

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что динофитовые водоросли могут расти как с низкой, так и с высокой скоростью (рис. 2).

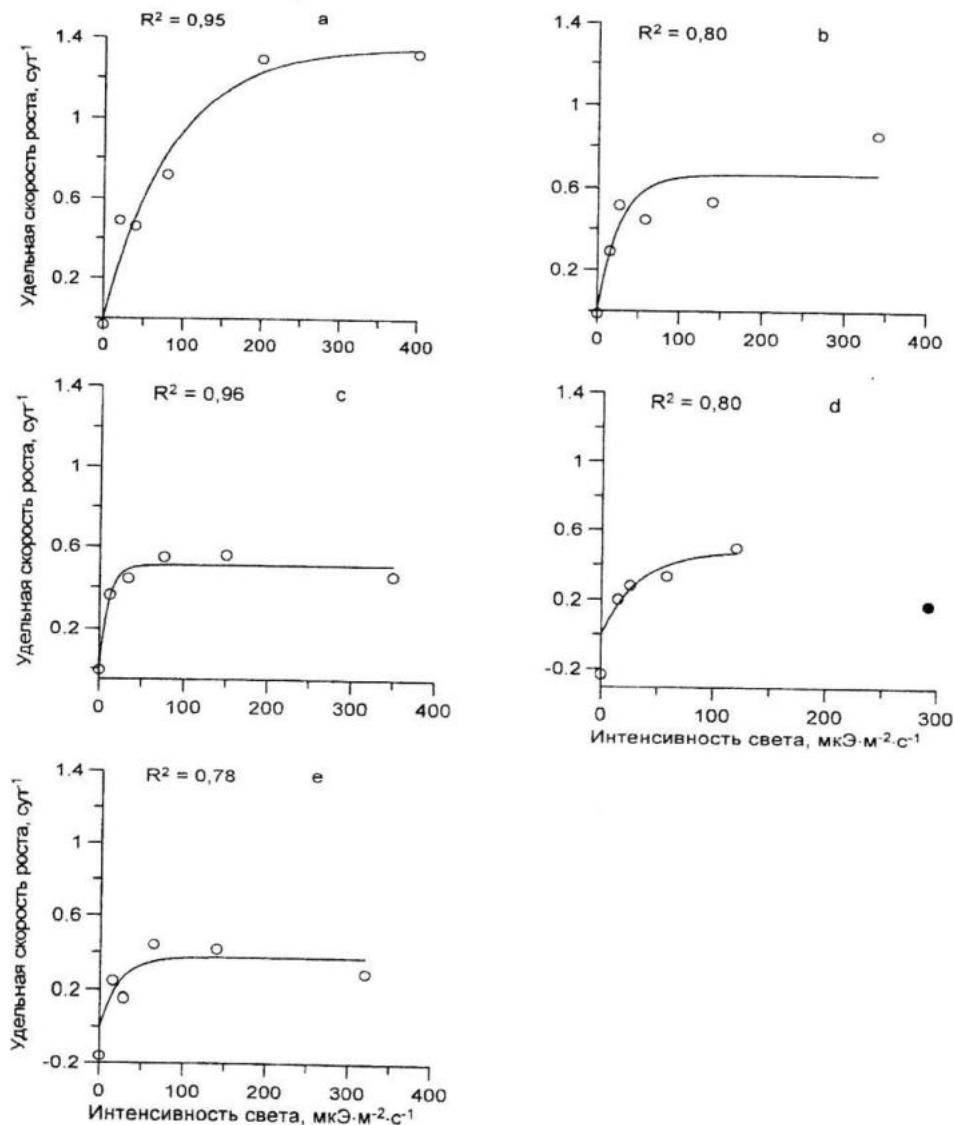


Рис. 2. Зависимость удельной скорости роста от интенсивности света для *P. cordatum* (а), *G. fissum* (б), *P. pusillum* (в), *P. micans* (г), *G. foliaceum* (е)

Самые высокие значения максимальной удельной скорости роста ($1,36 \text{ сут}^{-1}$) отмечены у *P. cordatum*, что соответствует почти двум клеточным делениям. У *G. fissum* значения максимальной удельной скорости роста были в 2 раза ниже, чем у *P. cordatum*. Самая мелкая из исследованных водорослей — *P. pusillum*. Объем ее клетки составил в среднем 44 мкм^3 . Несмотря на это, μ_{\max} у этого вида была невелика ($0,51 \text{ сут}^{-1}$), что, вероятно, связано с низкой интенсивностью фотосинтеза, отмеченной у этого вида водорослей. Практически такая же максимальная удельная скорость роста получена у *P. micans* ($0,48 \text{ сут}^{-1}$). Это единственный вид водорослей, у кото-

рого наблюдалось световое угнетение роста при $300 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Самая низкая максимальная удельная скорость роста, составившая $0,38 \text{ сут}^{-1}$, была отмечена у *G. foliaceum*. Среди исследованных видов это один из самых крупных. Средний объем клетки составил приблизительно 16000 мкм^3 .

Самое большое значение начала светового насыщения роста наблюдалось у *P. cordatum* ($85,22 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$), тогда как самое низкое — у *P. pusillum* ($10,55 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$). Для остальных видов были отмечены промежуточные значения данного параметра (табл. 1).

Таблица 1

Параметры роста микроводорослей для исследованных культур

Вид	μ_{\max} , сут $^{-1}$	V, мкм^3	α , сут $^{-1}/(\text{мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1})$	E_k $\text{мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$	$\mu(E_k)$, сут $^{-1}$
<i>P. cordatum</i>	1,36	1682 ± 324	0,018	85,22	0,86
<i>P. pusillum</i>	0,51	44 ± 7	0,048	10,55	0,32
<i>G. fissum</i>	0,67	15233 ± 4097	0,025	26,63	0,42
<i>G. foliaceum</i>	0,38	15863 ± 2976	0,017	22,84	0,24
<i>P. micans</i>	0,48	4912 ± 726	0,014	33,44	0,30

Одним из основных параметров, характеризующих зависимость роста от света, является эффективность роста или α . В условиях непрерывного освещения и температуре $19 - 22^\circ\text{C}$ эффективность роста у видов *P. micans*, *G. foliaceum*, *P. cordatum* была минимальна и изменялась от 0,014 до 0,018 сут $^{-1}/(\text{мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1})$. Практически при таких же условиях близкое значение α было получено ранее у *K. micrum* [3]. По нашим данным, у *P. pusillum* наблюдалось максимальное значение данного параметра. В пределах линейного участка удельная скорость роста возрас- тала на $0,048 \text{ сут}^{-1}$ при увеличении интенсивности света на $1 \text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Промежуточная величина α была получена у *G. fissum*. Однако, выращивание водорослей в условиях чередования светового и темнового периодов приводило к снижению α . Так, по данным Лангдона [2] при длительности светового периода 14 часов и температуре 15°C у динофитовой водоросли *G. tamarensis* эффек-

тивность роста была ниже по сравнению с нашими результатами и составляла $0,0034 \text{ сут}^{-1}/(\text{мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1})$.

На основе полученных нами данных по эффективности роста и величине начала светового насыщения роста можно заключить, что наиболее эффективное использование света на рост наблюдалось у самой мелкой водоросли *P. pusillum*.

Известно, что по мере увеличения объема клетки максимальная удельная скорость роста как диатомовых, так и динофитовых водорослей закономерно снижается [7, 8]. Полученные нами данные подтверждают эту зависимость не только для μ_{\max} , но и для эффективности роста (рис. 3). Видно, что с увеличением клеточного объема α и μ_{\max} снижаются. Исключение составляет *P. pusillum*. Несмотря на то, что у этого вида объем клетки был самым маленьким и составил 44 мкм^3 , его максимальная удельная скорость роста была невелика.

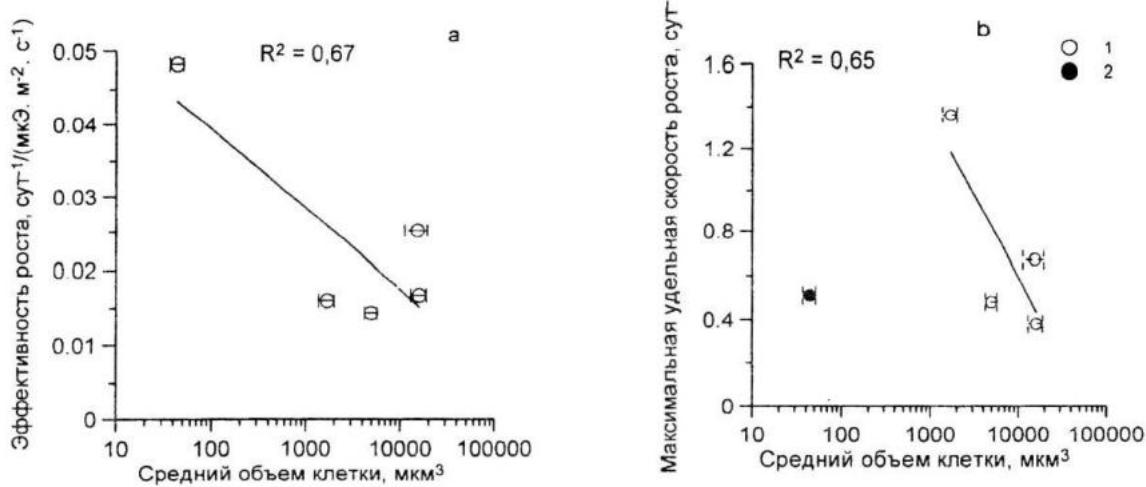


Рис. 3. Зависимость эффективности роста (а) и максимальной удельной скорости роста (б) от объема клетки для видов: 1 – *P. cordatum*, *G. fissum*, *G. foliaceum*, *P. micans*; 2 – *P. pusillum*

Заключение. Показано, что для исследованных видов динофитовых водорослей наблюдались как высокие, так и низкие удельные скорости роста. Наиболее эффективное использование света на рост отмечено у самой мелкой водоросли *P. pusillum*. Получена количественная связь между μ_{\max} и α с одной стороны и объемом клетки с другой, которая показывает, что по мере увеличения клеточного объема максимальная удельная скорость роста водорослей и эффективность их роста снижаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Falkowski, P.G., Dubinsky, Z. & Wyman, K. Growth-irradiance relationship in phytoplankton // Limnol. Oceanogr. – 1985. – 30. – P. 311 – 321.
2. Langdon, C. On the causes of inter-specific differences in the growth-irradiance relationship for phytoplankton // J. Plankton Res. – 1987. – 9(3). – P. 459 – 482.
3. Adolf, J.E., Stoecker, D.K. & Harding, L.W., Jr. Autotrophic growth and photoacclimation in *Karlodinium micrum* (Dinophyceae) and *Storeatula major* (Cryptophyceae) // J. Phycol. – 2003. – 39. – P. 1101 – 1108.
4. Финенко З.З., Ланская Л.А. Рост и скорость деления водорослей в лимитированных объемах воды // Экологическая физиология морских планктонных водорослей. – 1971. – С. 22 – 50.
5. Брянцева Ю.В., Лях А.М., Сергеева А.В. Рассчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря // Севастополь: Препр. ИнБЮМ НАН Украины – 2005. – 25 с.
6. MacIntyre, H.L., Kana, T.M., Anninig, T., Geider, R. Photoacclimation of photosynthesis irradiance response curves and photosynthetic pigments in microalgae and cyanobacteria // J. Phycol. – 2002. – 38. – P. 17 – 38.
7. Banse, K. Cell volumes, maximal growth rates of unicellular algae and ciliates, and the role of ciliates in the marine pelagic // Limnol. Oceanogr. – 1982. – 27(6). – P. 1059 – 1071.
8. Стельмах Л.В., Куфтаркова Е.А., Акимов А.И., Бабич И.И., Кожемяка А.Б. Использование переменной флуоресценции *in vivo* для оценки функционального состояния фитопланктона // Системы контроля окружающей среды. – 13. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. – С. 263 – 268.