

С. П. АНТОНЕНКО, Т. В. ДОГАДИНА, В. П. КОМАРИСТАЯ

### ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ *DUNALIELLA SALINA* В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ

Выявлена изменчивость размеров и формы, биохимических показателей *Dunaliella salina* в зависимости от обеспеченности культуры азотом и фосфором. Рассматривается возможность использования этих признаков для индикации содержания биогенов в природных водоёмах.

**Ключевые слова:** морфометрические признаки, *Dunaliella salina*, азот, фосфор.

Основными диагностическими признаками для выделения видов рода *Dunaliella* являются наличие и тип стигмы, форма хлоропласта, расположение в клетке светопреломляющих гранул, а также форма и размер клетки. Выделение внутривидовых таксонов, подвигов и форм *D. salina* основано исключительно на морфометрических признаках [8]. Известно, что эти признаки в связи с отсутствием плотных клеточных оболочек у представителей рода *Dunaliella* характеризуются широкой амплитудой модификационной изменчивости. В литературе имеются данные по влиянию солёности среды, рН, некоторых фитогормонов (гибберелловая кислота) на длину и ширину клеток *D. salina* [8 – 10]. Влияние концентраций биогенов на морфометрические признаки представителей рода практически не изучалось. Известно только, что истощение биогенов в старых культурах может приводить к изменению соотношения длины и ширины клеток [8]. Концентрации биогенов, в частности азота и фосфора, определяют трофность природных водоёмов, которая может быть различной для разных водоёмов, в которых обитает *D. salina*. Данный вид встречается в гипергалинных водоёмах практически в монокультуре. Особенности морфологии, а точнее размеры, форма, соотношение длины и ширины клетки, этой водоросли водоросли могут иметь значение для индикации трофности гипергалинных водоёмов, а также для индикации дефицита биогенов в культуре.

В задачи данной работы входило изучение и выявление зависимости размеров и формы клеток *D. salina* в условиях индукции каротиногенеза дефицитом азота и фосфора, а также при различной обеспеченности культур этими биогенами.

**Материал и методы.** Объектом исследования была клоновая культура *Dunaliella salina* Teod., выделенная из штамма IBSS-1, который поддерживается в коллекции культур микроводорослей кафедры ботаники Харьковского Национального Университета на среде, приготовленной из морской соли (плотность среды  $1,15 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ ) без дополнительного внесения биогенов [6]. Инокулят отбирали из культуры на стационарной фазе роста и высевали на среду, содержащую  $116 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1} \text{ NaCl}$ ,  $50 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1} \text{ MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (плотность среды  $1,11 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ ) и раствор микроэлементов ( $\text{H}_3\text{BO}_3 - 2 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ;  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} - 2 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 0,025 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - 0,015 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} - 0,08 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ;  $(\text{NH}_4)\text{MoO}_4 - 0,03 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ;  $\text{Na}_2\text{ЭДТА} - 5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ). Азот вносили в форме  $\text{KNO}_3$  в зависимости от варианта опыта (без внесения – исключение азота, 20, 40 и 80  $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ), фосфор – в форме  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (без внесения – исключение фосфора, 4, 9 и 45  $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ). Концентрации биогенов в среде в ходе культивирования поддерживали на относительно неизменном уровне, как описано [7]. Культуры выращивали в течение 42 суток в колбах Эрленмейера объёмом 25 мл, по 15 мл культуры в колбе, при круглосуточном освещении интенсивностью 5 кЛк от 4 ламп «Maxus» с цветовой температурой 2700 К мощностью 32 Вт, температура 24 – 28 °С. Эксперимент повторяли 3 раза.

В каждом варианте измеряли длину и ширину 100 живых подвижных клеток при помощи окуляр-микрометра. Клетки перед измерением не фиксировались во избежание

© С. П. Антоненко, Т. В. Догадина, В. П. Комаристая, 2010

искажения формы и размеров клеток [8]. Форму клеток аппроксимировали вытянутым сфероидом, или, в случае равенства длины и ширины, шаром [4].

Площадь поверхности клеток каплевидной формы вычислялась по формуле:

$$S = \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot \left( d + h \cdot \frac{\arcsin(\rho)}{\rho} \right),$$

где  $S$  – площадь поверхности клетки, мкм<sup>2</sup>;  $d$  – диаметр сфероида, мкм;  $h$  – высота сфероида; мкм,  $\rho$  – радиус кривизны сфероида

$$\rho = \frac{\sqrt{h^2 - d^2}}{h}.$$

Объём таких клеток ( $V$ , мкм<sup>3</sup>) определяли по формуле:

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot d^2 \cdot h.$$

Площадь поверхности сферических клеток определяли по формуле:

$$S = \pi \cdot d^2,$$

где  $S$  – площадь поверхности шара, мкм<sup>2</sup>;  $d$  – диаметр шара, мкм.

Объём сферических клеток ( $V$ , мкм<sup>3</sup>) определяли по формуле из [4]:

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot d^3.$$

Индекс формы клеток определяли по формуле:

$$\omega = 4,836 \cdot V^{0,667}/S,$$

где  $\omega$  – индекс формы;  $V$  – объём клетки, мкм<sup>3</sup>;  $S$  – площадь поверхности клетки, мкм<sup>2</sup>.

Для определения концентрации  $\beta$ -каротина аликвоты центрифугировали при 3 тыс. об. · мин<sup>-1</sup>. Осадки клеток экстрагировали этилацетатом. Оптическую плотность экстрактов определяли при 440 нм. Содержание  $\beta$ -каротина рассчитывали, используя удельный коэффициент экстинкции  $E_{1\%}^{1\text{cm}} = 2500$  [13]. Содержание  $\beta$ -каротина выражали в пг на клетку водорослей. Число клеток измеряли подсчетом в камере Горяева. Динамика роста культур приведена в работе [7]. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа. Обсуждаемые в тексте различия достоверны на уровне значимости 95 %.

**Результаты и обсуждение.** Разные авторы описывают форму клетки *D. salina* как каплевидную, эллипсоидную, овальную, яйцевидную, грушевидную, удлинённо-яйцевидную, удлинённо-эллипсоидную, удлинённо-цилиндрическую, иногда шаровидную, цилиндрическую или веретеновидную, изредка асимметричную [3 – 5, 8].

Форма и размеры клеток *D. salina* могут изменяться в зависимости от солёности среды. Ещё Е. Теодореско, а впоследствии В. Лерхе отмечали округление клеток, то есть уменьшение отношения длины к ширине, как типичную реакцию на опреснение среды, а удлинение клеток – увеличение отношения длины к ширине – характерным ответом на повышение её концентрации [8]. Исследования природных вод подтвердили эти наблюдения. В период паводка в планктоне Чёрного моря встречаются клетки изменённой, округлой формы, при солёности вод на поверхности моря 17,99 ‰ клетки *D. salina* имеют яйцевидную форму и длину 8 – 10 мкм, ширину 6 – 8 мкм, а при солёности 18,1 ‰ клетки, сохраняя яйцевидную форму, увеличиваются в размерах: длина 8 – 14 мкм, а ширина 5 – 10 мкм. В гипергалинных водоёмах клетки достигают максимальных размеров: длина от 11 до 27 мкм, а ширина от 5 до 19 мкм [11].

Образование шаровидных форм, равно как веретеновидных, асимметричных или форм с оттянутыми концами, является неспецифической ответной реакцией на неблагоприятные условия среды. Изучение влияния pH на форму клеток *D. salina* показало не-

специфическую реакцию округления клеток при pH 3,0; 4,0; 5,0 [10]. Согласно наблюдениям Н. П. Масюк, также изменяется форма клеток этого вида и при внесении сублетальных концентраций гибберелловой кислоты в питательную среду [9].

Однако, несмотря на широкую модификационную изменчивость, форма клеток является устойчивым к мутагенезу признаком. Эксперименты с воздействием сильных мутагенов (нитрозометил мочевины, ультрафиолетовые и рентгеновские лучи) не привели к наследственному закреплению изменения формы клеток [12].

Типичная, специфическая для многих видов *Dunaliella* форма клеток может проявляться лишь в молодых культурах на фоне условий, благоприятных для их роста. При этом для определения вида следует учитывать не только типичную форму, проявляющуюся в оптимальных для роста и развития условиях, но и норму реакции вида на изменение этих условий.

В диагнозе вида для *D. salina* приводятся такие данные: длина – 12 – 28 мкм, ширина – 9,5 – 17 мкм [5]. В своем описании Н. П. Масюк [8] для вида *D. salina* приводит более широкий интервал размеров: длина клеток 5 – 29 мкм, ширина – 3,8 – 20,3 мкм; а для лабораторной культуры *D. salina*, выращенной на ОПС при освещенности 5 – 6 кЛк и температуре  $28 \pm 2$  °С, длина клеток варьирует в пределах (3,8) – 5,1 – 22,9 мкм; ширина – 3,8 – 20,3 мкм [8]. По нашим данным, размеры клеток, выращенных на средах с различным содержанием биогенов, не выходят за пределы диапазона, указанного Н. П. Масюк.

В коллекции ИнБЮМ штамм IBSS-1, выращенный на среде Ben-Amotz, обладает шириной  $9,38 \pm 0,42$  мкм и длиной (максимальный размер)  $12,48 \pm 0,49$  мкм [4]. Пределы варьирования в наших экспериментах для данного штамма составляли: ширина –  $10,06 \pm 0,034$  мкм, длина –  $13,49 \pm 0,035$ , что несколько превышает таковые, приведенные для коллекционной культуры ИнБЮМ.

Нами установлено, что концентрации азота и фосфора значимо влияют на морфометрические показатели клеток. Так, наибольшую среднюю длину, 15 – 16 мкм, имели клетки, выращенные на среде при дефиците фосфора (рис.1). Добавление фосфора в среду вызвало заметное уменьшение длины клеток, исключение составляют лишь клетки, выращенные при полном дефиците азота с добавлением  $9 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1} \text{KN}_2\text{PO}_4$ , длина которых также достигала 15 мкм. Минимальную длину (11,5 мкм) имели клетки, выращенные на среде с добавлением  $45 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1} \text{KN}_2\text{PO}_4$  на фоне полного дефицита азота. Во всех остальных вариантах длина клеток составляла 12 – 13 мкм (рис. 1).

Наибольшую среднюю ширину 11 – 12 мкм имели клетки, выращенные при дефиците и при избытке фосфора. Исключение составляли варианты с концентрацией источника азота  $40 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ , а также клетки в варианте с минимальной длиной – при дефиците азота и избытке фосфора. Во всех остальных вариантах ширина клеток составляла 8 – 10 мкм (рис. 1).

Полученные данные отчасти подтверждают общее наблюдение, что мелкоклеточные формы делятся быстрее крупноклеточных [14]. Как показано ранее, дефицит фосфора, а также внесение  $\text{KN}_2\text{PO}_4$  в концентрации  $45 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  ингибируют рост культуры по сравнению с вариантами, в которых концентрация источника фосфора составляла  $4 – 9 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ , а концентрации источника азота 20 – 80  $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$  [7].

Таким образом, длина и ширина клеток могут служить показателями обеспеченности культуры фосфором: «длинные» и «широкие» клетки характерны для дефицита фосфора, «короткие» и «узкие» – для избытка фосфора (в присутствии азота), «короткие» и «узкие» – для нормальной обеспеченности культуры биогенами. Для различной обеспеченности культуры азотом столь четких закономерностей не выявлено.

Клетки всех исследованных культур довольно неоднородны по размерам и форме, об этом свидетельствует размах вариации на рис.1. Распределение данных обладает асимметрией. Особенно велика положительная асимметрия для культур с довольно

крупными средними размерами и наличием обоих биогенов в среде культивирования (источников фосфора в различных концентрациях на фоне 20 и 80 мг · л<sup>-1</sup> KNO<sub>3</sub>, а также 45 мг · л<sup>-1</sup> KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> и 40 мг · л<sup>-1</sup> KNO<sub>3</sub>). Такое распределение может быть связано с действием какого-то фактора, вызывающего изменение распределения в сторону крупных клеток в остальных культурах, где клетки сохраняют довольно крупные размеры и высокое содержание каротина.

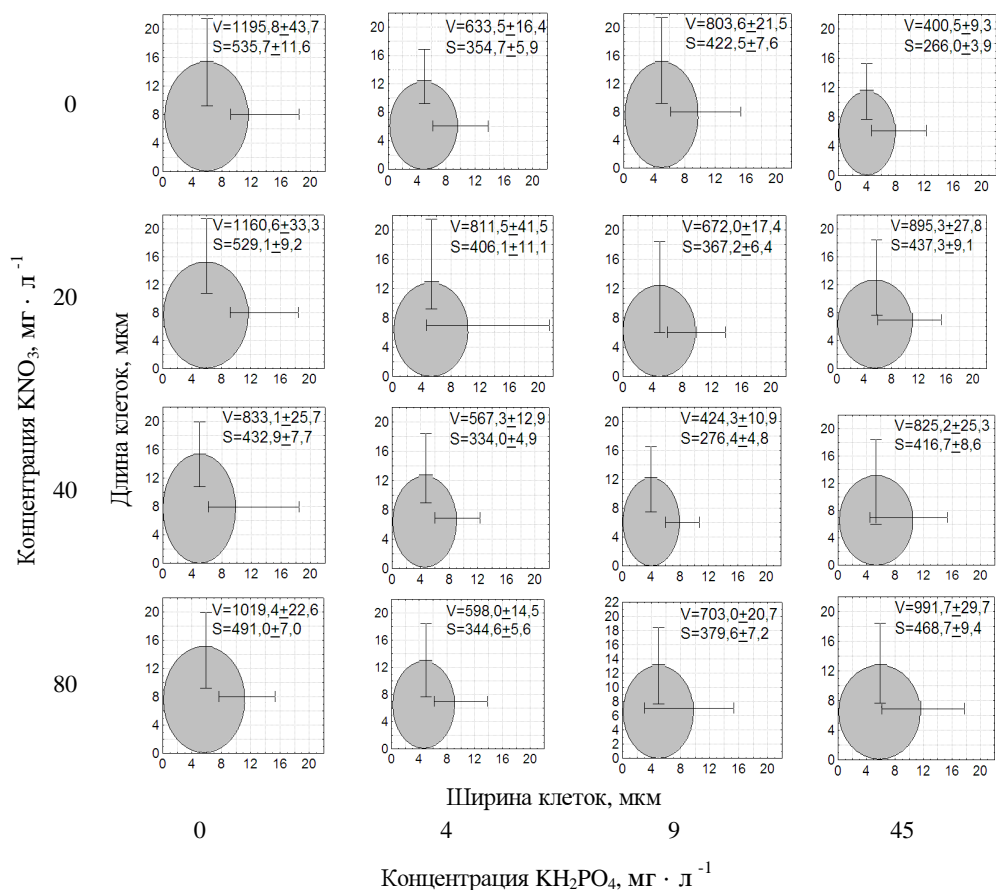


Рисунок 1. Размеры клеток *Dunaliella salina* при разных концентрациях источников азота и фосфора в среде (V – объём клеток, мкм<sup>3</sup>, S – площадь поверхности клеток, мкм<sup>2</sup>)  
 Figure 1. Size of *Dunaliella salina* cells under different concentrations of nitrogen and phosphorus sources in the medium (V – volume of cells, mkm<sup>3</sup>, S – surface area of cells, mkm<sup>2</sup>)

Клетки, выращенные при дефиците фосфора, характеризовались также наибольшим объёмом и площадью поверхности, чуть меньше были объём и поверхность клеток, выращенных при избытке фосфора (кроме варианта с дефицитом азота) (рис. 1). Остальные варианты характеризовались меньшими значениями объёма и площади поверхности клеток (рис. 1). В паспорте штамма IBSS-1 приведены такие данные: средний объём клетки – 552,01 ± 56,37 мкм<sup>3</sup>; площадь поверхности – 327,67 ± 22,25 мкм<sup>2</sup> [3]. В наших исследованиях значения объёма и площади поверхности штамма IBSS-1 до двух раз превышают приведенные в паспорте.

Для одноклеточных водорослей, поглощающих питательные вещества всей поверхностью клетки, увеличение площади поверхности ведет к повышению поглотительной эффективности. На ряде видов диатомовых водорослей показано, что уровень по-

глощения  $^{14}\text{C}$ -меченого  $\text{CO}_2$  был пропорциональным площади клеточной поверхности [14]. Но увеличение площади поверхности клетки также неразрывно связано с увеличением объема. Известно, что отношение площадь поверхности/объем коррелирует с интенсивностью поглощения веществ и их использованием для роста клетки.

**Таблица 1. Соотношения объема и площади поверхности, длины и ширины и индекс формы клеток *Dunaliella salina*, выращенных при различных концентрациях источников азота и фосфора, на 42 сутки культивирования**

**Table 1. The ratios of volume and surface area, length and width and shape index of *Dunaliella salina* cells, grown under different concentrations of sources of nitrogen and phosphorus by 42 days of cultivation**

Концентрация $\text{KNO}_3$ , $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$	0	S/V	0,494±0,005	0,605±0,006	0,575±0,007	0,699±0,005
		l/d	1,373±0,016	1,368±0,021	1,616±0,020	1,491±0,019
		$\omega$	0,982561±0,0012	0,981025±0,0016	0,963112±0,0016	0,972691±0,0015
	20	S/V	0,488±0,004	0,575±0,007	0,593±0,007	0,544±0,007
		l/d	1,330±0,011	1,316±0,022	1,300±0,016	1,171±0,014
		$\omega$	0,986818±0,0007	0,984708±0,0016	0,986663±0,0011	0,994211±0,0009
	40	S/V	0,563±0,005	0,623±0,005	0,704±0,007	0,568±0,008
		l/d	1,621±0,021	1,456±0,020	1,588±0,021	1,313±0,018
		$\omega$	0,962261±0,0017	0,975402±0,0015	0,965569±0,0018	0,985843±0,0013
	80	S/V	0,507±0,004	0,617±0,006	0,604±0,009	0,519±0,006
		l/d	1,385±0,012	1,447±0,016	1,454±0,032	1,125±0,010
		$\omega$	0,982869±0,0009	0,977375±0,0012	0,973347±0,0024	0,997437±0,0006
		0	4	9	45	
		Концентрация $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$				

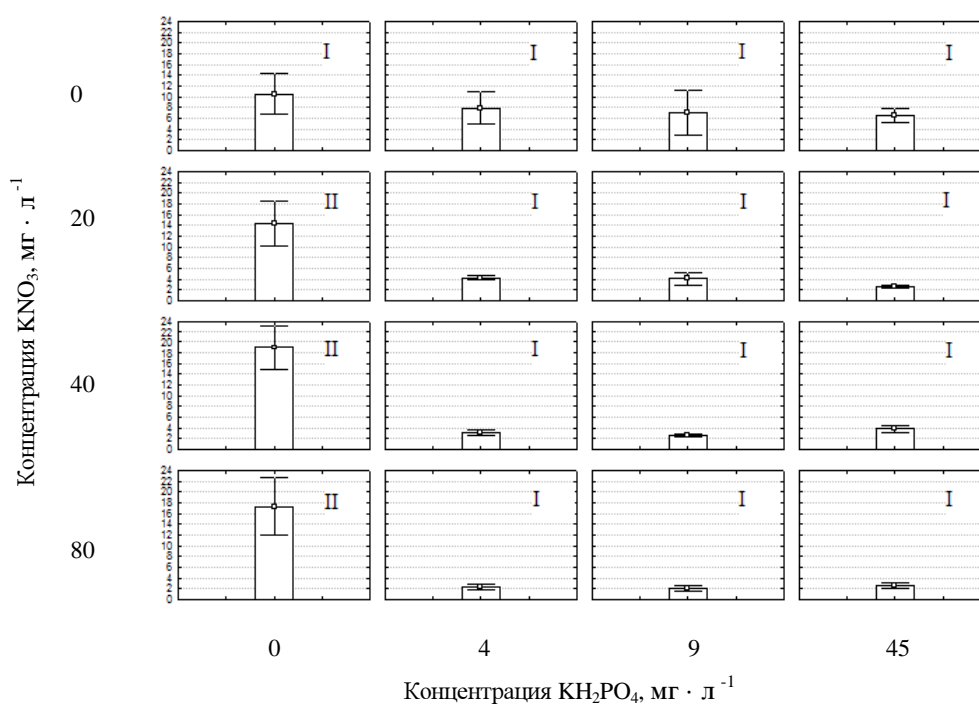
Максимальным коэффициентом S/V в наших опытах характеризовались клетки культур, выращенных на средах со средней обеспеченностью азотом и фосфором. Для них этот показатель составлял от  $0,575 \pm 0,007$  до  $0,704 \pm 0,007$  (табл. 1). Действительно, эти культуры характеризовались высокой скоростью роста относительно остальных [7]. Меньшим коэффициентом S/V обладали клетки, выращенные на средах с избытком фосфора ( $45 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1} \text{ KH}_2\text{PO}_4$ ), кроме варианта без внесения азота, –  $0,519 \pm 0,006$  –  $0,568 \pm 0,008$ , а самым низким – клетки при дефиците фосфора –  $0,488 \pm 0,004$  –  $0,563 \pm 0,005$  (табл. 1). В таких клетках снижена интенсивность обмена в расчете на единицу объема, но также минимизирована требующая защиты поверхность соприкосновения с окружающей средой.

По мнению Н. П. Масюк [8], уменьшение отношения средней длины к средней ширине клеток – первый признак угнетенного состояния водорослей, неспецифическая реакция организмов на воздействие экстремальных значений различных факторов среды. Наши данные не позволяют сделать такого однозначного вывода (табл. 1).

Возможно, шарообразная форма клетки – это универсальная реакция на стрессовые условия, каковым является дефицит биогенов, а возможно, напротив, оптимальная форма клетки, обеспечивающая минимально возможную площадь поверхности при данном объеме [2]. В качестве нового морфометрического критерия Ю. С. Брянцева пред-

ложила индекс формы ( $\omega$ ), не зависящий от размеров клетки и используемый для оценки состояния отдельных культур микроводорослей. Индекс формы, полученный нами для экспериментальных культур (табл. 1), соответствует приведенному для штамма IBSS-1 –  $0,977 \pm 0,01$  [4]. Такой высокий индекс свидетельствует о максимальной приближенности формы клеток к шаровидной, несмотря на размах вариации, характерный для их размеров.

Содержание биогенов в питательной среде обуславливает также и уровень синтеза каротина, и окраску клеток (рис. 2). Самые крупные клетки, выращенные при дефиците обоих биогенов, содержали  $13 \text{ пг} \cdot \text{кл}^{-1}$   $\beta$ -каротина. Однако эта культура имела самые низкие темпы роста. Чуть ниже содержание каротина в клетках, выращенных при дефиците азота в среде, а в клетках, культивируемых с добавлением  $45 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$ , стимуляция каротиногенеза была незначительной. Максимальным в наших исследованиях было содержание каротина в клетках, выращенных на средах с исключением источников фосфора, –  $22 \text{ пг} \cdot \text{кл}^{-1}$ . Минимальное содержание каротина характерно для клеток, культивируемых с добавлением обоих биогенов, и не достигало  $5 \text{ пг} \cdot \text{кл}^{-1}$ . Эти же культуры имели самые высокие темпы роста, и только  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  в концентрации  $45 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  ингибировал рост культур.



**Рисунок 2.** Содержание  $\beta$ -каротина на 42 сутки культивирования в клетках *Dunaliella salina*, выращенных при различных концентрациях источников азота и фосфора (I – значимые различия не выявлены, II – различия значимы при  $p < 0,05$ )

**Figure 2.** The content of  $\beta$ -carotene for 42 days of cultivation in the *Dunaliella salina* cells, grown under different concentrations of nitrogen and phosphorus sources (I – significant differences have not been identified, II – the differences are significant at  $p < 0,05$ )

Таким образом, содержание  $\beta$ -каротина, обуславливающее окраску клеток, может служить дополнительным индикатором содержания биогенов в среде. Зелёные клетки свидетельствуют об обеспеченности обоими биогенами, мелкие оранжевые клетки указывают на дефицит азота, крупные оранжевые – на дефицит фосфора.

Еще одним биохимическим маркером трофности водоёмов может служить содержание белка в клетках *D. salina* [1]. Крупные клетки культуры, выращенной на среде при дефиците азота и фосфора, содержали очень низкие концентрации белка, а те, что были выращены с добавлением  $80 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1} \text{ KNO}_3$ , напротив, очень высокие, в 2 – 15 раз больше, чем в остальных культурах [1].

Таким образом, биохимические показатели, наряду с морфологическими, варьируют в зависимости от обеспеченности культуры биогенами. Сопоставляя морфометрические (размер и форма клеток) и биохимический (содержание в клетках каротина) признаки, возможно оценить содержание биогенов в питательном растворе или природной рапе. Крупные красные клетки (с высоким содержанием  $\beta$ -каротина и белка) свидетельствуют об истощении источников фосфора в водоёме, в то время как мелкие красные – об отсутствии источников азота. Мелкие зелёные клетки, длина которых, как правило, превышает ширину в 1,5 и более раз, встречаются в среде, содержащей азот и фосфор в количествах, способствующих полноценному росту и делению клеток представителей этого вида.

Приведённые данные позволяют предположить, что модификационная изменчивость размеров и формы клеток *D. salina*, наблюдаемая Н. П. Масюк в природных водоёмах и культурах, могла быть, по крайней мере, отчасти, обусловлена содержанием азота и фосфора в природных водах и питательных средах.

**Выводы. 1.** Размеры и форма клеток *D. salina* варьируют в зависимости от условий индукции каротиногенеза дефицитом азота и фосфора, а также при различной обеспеченности культур этими биогенами. **2.** Вариабельность размеров и формы клеток, отмеченная для *D. salina*, может быть обусловлена содержанием источников азота и фосфора в природных водоёмах и культуральной среде. **3.** Размер и форму клеток в сочетании с содержанием белка и каротина в клетках можно использовать для индикации условий обеспеченности биогенами при оценке водоёмов как потенциальных баз для открытого промышленного культивирования *D. salina*.

1. Антоненко С. П., Оксюта Ю. И. Содержание белка в клетках микроводоросли *Dunaliella salina* Teod. при индукции каротиногенеза дефицитом биогенов // Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів: Матеріали XI конференції молодих вчених (22 – 24 червня, 2010 р., г. Київ) – Київ, 2010. – С. 279 - 280.
2. Брянцева Ю. В. Индекс формы одноклеточных водорослей как новый морфометрический критерий // Экология моря. – 2005. – Вып. 67. – С. 27 - 31.
3. Брянцева Ю. В., Сиренко Л. А. Макет паспорта штамма морских микроводорослей на примере *Dunaliella salina* (Dunal) Teod. // Экология моря. – 2005. – Вып. 67. – С. 32 - 34.
4. Геворгиз Р. Г., Брянцева Ю. С., Боровков А. Б. Коллекция культур микроводорослей. – Севастополь, 2007. – 52 с. (Препринт ИнБЮМ НАНУ).
5. Дедусенко-Щеголева Н. Т., Матвиенко А. М., Шкорбатов Л. А. Определитель пресноводных водорослей СССР, вып. 8. Зелёные водоросли. Класс Вольвоксовые. – Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 224 с.
6. Догадина Т. В., Комаристая В. П. Каталог культур микроводорослей в коллекции кафедры ботаники Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина // Вісн. Харків. націон. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2005. – 2, № 7. – С. 121 - 130.
7. Комаристая В. П., Антоненко С. П., Рудась А. Н. Культивирование *Dunaliella salina* Teod. при субоптимальных концентрациях азота и фосфора и исключении их из среды // Альгология. – 2010. – 20, №1. – С. 42 - 55.
8. Масюк Н. П. Морфология, систематика, экология, географическое распространение рода *Dunaliella* Teod. – К.: Наук. думка, 1973. – 244 с.
9. Масюк Н. П. Про вплив гібереллової кислоти на водорість *Dunaliella salina* Teod. // Укр. бот. журн. – 1961. – 18, № 5. – С. 62 - 64.
10. Масюк Н. П., Юрченко В. В. Вплив концентрації водневих йонів на водорість *Dunaliella salina* Teod. // Укр. бот. журн. – 1962. – 19, № 4. – С. 91 - 95.

11. Сеничева М. И. Зелёная водоросль *Dunaliella salina* в природных условиях // Экология моря. – 2005. – Вып. 67. – С. 61 - 62.
12. Юркова Г. Н. Радиочувствительность клеток видов рода *Dunaliella* Teod. (Polyblepharidaceae, Chlorophyceae) // Укр. бот. журн. – 1970. – 27, № 4. – С. 450 - 455.
13. Carotenoids. – IARC Working Group on the Evaluation of Cancer Preventive Agents. Intern. Agency Res. Cancer, 1998. – 2. – 326 p.
14. Fogg G. F., Thake B. Algal cultures and phytoplankton ecology. – Wisconsin: The University of Wisconsin Press, 1987. – 273 p.

Кафедра ботаники и экологии растений  
Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина,  
г. Харьков, Украина

Получено 24.06.2010 г.

С. П. АНТОНЕНКО, Т. В. ДОГАДИНА, В. П. КОМАРИСТА

#### МІНЛИВІСТЬ МОРФОМЕТРИЧНИХ ОЗНАК *DUNALIELLA SALINA* В УМОВАХ КУЛЬТУРИ

##### Резюме

Виявлено мінливість розмірів і форми, біохімічних показників *Dunaliella salina* залежно від забезпеченості культури азотом і фосфором. Розглядається можливість використання цих ознак для індикації змісту біогенів у природних водоймах.

**Ключові слова:** морфометричні ознаки, *Dunaliella salina*, азот, фосфор.

S. P. ANTONENKO, T. V. DOGADINA, V. P. KOMARISTAYA

#### MORPHOMETRIC SIGNS VARIABILITY OF *DUNALIELLA SALINA* IN CULTURE CONDITIONS

##### Summary

Size, shape and biochemical characteristics variability of *Dunaliella salina* cells depending on nitrogen and phosphorus culture supply was revealed. The possibility of these signs use for indication of biogens content in natural ponds is considering.

**Key words:** morphometric signs, *Dunaliella salina*, nitrogen, phosphorus.