

УДК 582.264.1:577.152.193:581.133.

## **АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ У МИКРОВОДОРОСЛИ *DUNALIELLA SALINA* TEOD. ПРИ ИНДУКЦИИ КАРОТИНОГЕНЕЗА ДЕФИЦИТОМ АЗОТА И ФОСФОРА**

© 2010 г. С. П. Антоненко, В. П. Комаристая

*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина*  
(Харьков, Украина)

Определяли активность каталазы в клетках культур *Dunaliella salina*, выращенных в условиях индукции каротиногенеза дефицитом азота и фосфора, а также при различной обеспеченности этими биогенами. Дефицит азота и дефицит обоих биогенов приводил к снижению активности каталазы в расчете как на белок, так и на клетку. При дефиците фосфора каталазная активность сохранялась на уровне контроля в расчете на клетку, но, вследствие накопления в клетках белка, снижалась в расчете на белок. При избытке фосфора происходило снижение каталазной активности в расчете на белок, которое не сопровождалось индукцией каротиногенеза. Обсуждается возможная специфичная роль  $\beta$ -каротина при дефиците биогенов, которая заключается в ингибировании пероксидного окисления липидов при дефиците азота и гашении синглетного кислорода при дефиците фосфора.

**Ключевые слова:** *Dunaliella salina*, каталаза,  $\beta$ -каротин, азот, фосфор

Предполагают, что участие в системе антиоксидантной защиты является возможной функцией  $\beta$ -каротина в клетках микроводоросли *Dunaliella salina* Teod., способной к сверхсинтезу этого пигмента при неблагоприятных условиях произрастания (Lamers et al., 2008). Роль  $\beta$ -каротина у этой микроводоросли окончательно не установлена. Изучению механизмов антиоксидантной защиты у данного организма посвящен ряд работ (Миронюк, 1969 а, 1969 б; Миронюк и др., 1980; White, Jahnke, 2002; Abd El-Baky et al., 2004; Nikookar et al., 2004; Али-заде, 2009; Алиева и др., 2009).

Недавние исследования показали, что дефицит азота является ведущим фактором каротиногенеза у *D. salina*. В присутствии азота не отмечалась индукция накопления  $\beta$ -каротина высокой интенсивностью света и соленостью (Coesel et al., 2008). Дефицит фосфора, по-видимому, является еще одним важным фактором каротиногенеза, поскольку может вызывать накопление  $\beta$ -каротина в клетках *D. salina*

даже в присутствии азота (Комаристая и др., 2010). Активность систем антиоксидантной защиты *D. salina* при дефиците биогенов в качестве единственного фактора индукции каротиногенеза не изучалась.

Нами была отработана схема индукции каротиногенеза у *D. salina* дефицитом азота, фосфора и обоих биогенов при благоприятных условиях солености, освещенности и температуры (Комаристая и др., 2010). В основе настоящего исследования лежит рабочая гипотеза о том, что недостаток биогенов, и в первую очередь азота, может приводить к снижению активности ферментативных механизмов антиоксидантной защиты и накоплению  $\beta$ -каротина в качестве компенсаторной реакции.

Один из важных ферментов системы антиоксидантной защиты – каталаза (КФ 1.11.1.6). Этот фермент катализирует реакцию превращения перекиси водорода в воду и кислород в две стадии. Снижение активности каталазы ведет к образованию гидроксильного радикала, который вызывает перекисное окисление липидов. Активность этого фермента является одной из основных характеристик состояния системы антиоксидантной защиты клетки.

## АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ У МИКРОВОДОРОСЛИ

Задача настоящего исследования – определить активность каталазы в клетках культур *D. salina*, выращенных в условиях индукции каротиногенеза дефицитом азота и фосфора, а также при различной обеспеченности этими биогенами.

### МЕТОДИКА

Объектом исследования была клоновая культура *D. salina*, выделенная из штамма IBSS, который поддерживается в коллекции культур микроводорослей кафедры ботаники ХНУ на среде, приготовленной из морской соли (плотность среды 1,15 г/см<sup>3</sup>) без дополнительного внесения биогенов (Догадина, Комаристая, 2005). Инокулят отбирали из культуры на стационарной фазе роста и высевали с исходной концентрацией клеток 3 тыс. кл./мл на среду, содержащую 116 г/л NaCl, 50 г/л MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O (плотность среды 1,11 г/см<sup>3</sup>) и раствор микроэлементов (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> – 2 мг/л; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O – 2 мг/л; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O – 0,025 мг/л; CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O – 0,015 мг/л; FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O – 5 мг/л; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O – 0,08 мг/л; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> – 0,03 мг/л; Na<sub>2</sub>ЭДТА – 5 мг/л).

Для индукции каротиногенеза использовали ранее предложенную схему культивирования, которая предполагает исключение из питательной среды азота и фосфора, либо одного из биогенов при поддержании концентрации другого на постоянном уровне. В опыт также включали вариант с поддержанием постоянной концентрации обоих биогенов и вариант с избыточной концентрацией фосфора (Комаристая и др., 2010).

Азот вносили в форме KNO<sub>3</sub> в зависимости от варианта опыта (без внесения – исключение азота, 80 мг/л), фосфор – в форме KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (без внесения – исключение фосфора, 45 мг/л – избыток фосфора). Поглощение биогенов клетками из питательной среды компенсировали добавлением маточных растворов биогенов, как описано (Комаристая и др., 2010).

Культуры выращивали в течение 48 сут в колбах Эрленмейера объемом 25 мл, плотно закрытых фольгой для предотвращения испарения, 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°C. Воспроизводимость отработанной схемы индукции каротиногенеза контролировали по содержанию β-каротина в расчете на клетку (Комаристая и др., 2010).

Для определения ферментативной активности клетки отделяли от культуральной среды центрифугированием при 3000 об./мин, промывали дистиллированной водой и гомогенизировали с помощью стеклянного гомогенизатора в 0,05 М трис-HCl буфере (pH=7,8), содержащем Тритон X-100 (0,25%). Полноту гомогенизации контролировали под микроскопом.

Об активности каталазы судили по динамике уменьшения концентрации H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в присутствии гомогената. Для этого готовили реакционную смесь, содержащую 1 мл 0,006% либо 0,003% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и 0,1 мл гомогената, и инкубировали ее при 25°C. Через определенные промежутки времени реакцию останавливали внесением 0,25 мл раствора FeSO<sub>4</sub> (3 г/л). Концентрацию Fe<sup>3+</sup>, образовавшегося в результате окисления Fe<sup>2+</sup> неразложившейся перекисью водорода, определяли по реакции с KSCN (Lei et al., 2006). На линейном участке кривой динамики определяли убыль H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в единицу времени.

В гомогенате клеток, а также в аликвоте культуры после подсчета числа клеток в камере Горяева, их осаждения центрифугированием и экстракции пигментов по Bligh, Dyer (1959) определяли содержание белка (Lowry et al., 1951). Это позволило рассчитать каталазную активность как снижение содержания H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> за единицу времени на мг белка и на клетку.

Прокипяченный гомогенат не вызывал снижения концентрации H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в реакционной смеси, что доказывает ферментативный характер дезактивации перекиси в присутствии нативных гомогенатов.

Опыты по определению концентрации клеток, содержания в них β-каротина и белка проводили в 13-кратной повторности в период с сентября 2009 по апрель 2010, активности каталазы – в 4-кратной повторности в январе-апреле 2010 года. Соответствие распределения экспериментальных данных нормальному определяли при помощи критерия Шапиро-Уилка. Данные, характеризовавшиеся нормальным распределением (содержание белка, активность каталазы), анализировали с помощью параметрического дисперсионного анализа и сравнивали, используя критерий НСР. Для них на графиках представлены средние значения и ошибки среднего. Данные, распределение которых было отлично от нормального (содержание β-каротина, концентрация клеток), анализировали при помощи непараметрического дисперсионного анализа и сравнивали, исполь-

зую критерий Краскла-Уоллиса. Для этих данных на графиках представлены средние значения и 95% доверительный интервал.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные по концентрации клеток в культуре (рис. 1), а также по содержанию  $\beta$ -каротина в клетках (рис. 2) на 48 сут культивирования во всех вариантах опыта подтверждают полученные ранее результаты (Комаристая и др., 2010). Дефицит обоих биогенов, дефицит азота и дефицит фосфора ингибировали рост культуры и индуцировали каротиногенез (рис. 1, 2). При внесении в среду обоих биогенов культура характеризовалась максимальным урожаем клеток, но минимальным содержанием в них  $\beta$ -каротина (рис. 1, 2). Эту культуру рассматривали в качестве контрольной. Избыток фосфора не приводил к индукции каротиногенеза (рис. 2).

Как было ранее показано, концентрации азота и фосфора в среде культивирования *D. salina* не оказывали взаимного влияния на их поглощение клетками. Это позволило предположить, что азот и фосфор оказывают на метаболизм *D. salina* независимый специфический эффект (Комаристая и др., 2010), который может выражаться в различном влиянии дефицита

и избытка этих биогенов на антиоксидантную защиту клетки.

В качестве показателя активности системы антиоксидантной защиты определяли активность каталазы.

Клетки, выращенные на питательных средах без внесения азота и фосфора, а также с разным уровнем этих биогенов различались по каталазной активности, которую рассчитывали на белок (рис. 3). Дефицит обоих биогенов, только азота и только фосфора, а также избыток фосфора (45 мг/л) приводили к снижению активности каталазы в расчете на белок в два и более раза по сравнению с контролем (рис. 3).

Полученные результаты не подтверждают данные литературы о том, что в условиях индукции каротиногенеза у *D. salina* активность каталазы в расчете на белок может возрастать почти вдвое (Abd El-Baky et al., 2004). Вероятно, это связано с тем, что каротиногенез индуцировали дефицитом одного или двух биогенов, а не совместным действием дефицита азота, повышенной солености среды и ультрафиолетового излучения, как в работе (Abd El-Baky et al., 2004). В однофакторных экспериментах было показано, что увеличение солености среды (Алиева и др., 2009) и ультрафиолетовое облучение (Али-заде, 2009) сами по себе

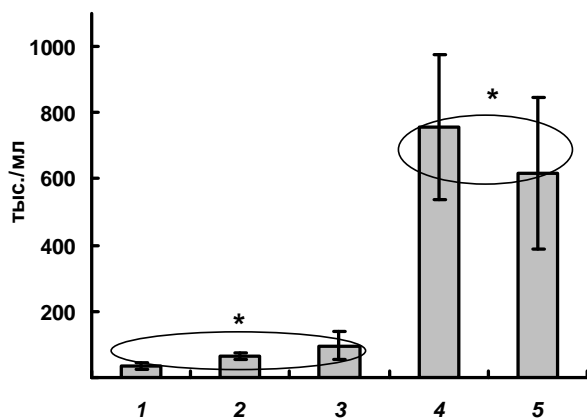


Рис. 1. Концентрация клеток в культуре *D. salina* (тыс./мл) на 48 сут роста в зависимости от содержания источников биогенов в среде культивирования.

Здесь и на рис. 2-5: 1 – исключение азота и фосфора; 2 – исключение азота, 9 мг/л  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ; 3 – исключение фосфора, 80 мг/л  $\text{KNO}_3$ ; 4 – контроль (80 мг/л  $\text{KNO}_3$ , 9 мг/л  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ); 5 – 80 мг/л  $\text{KNO}_3$ , избыток фосфора (45 мг/л  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ).

○ – значимые различия не выявлены;

\* – различия значимы при  $p \leq 0,05$ .

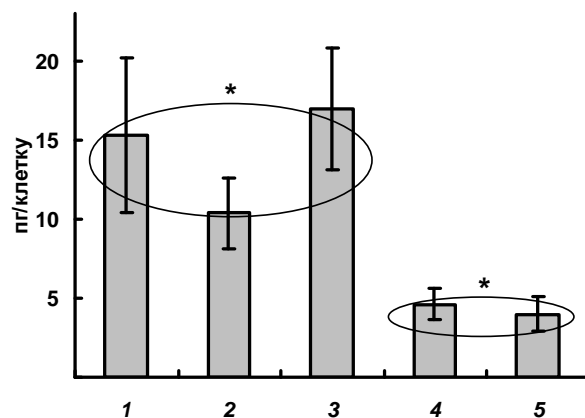
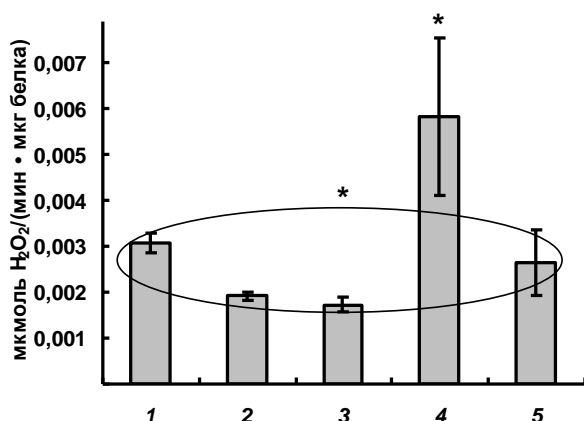


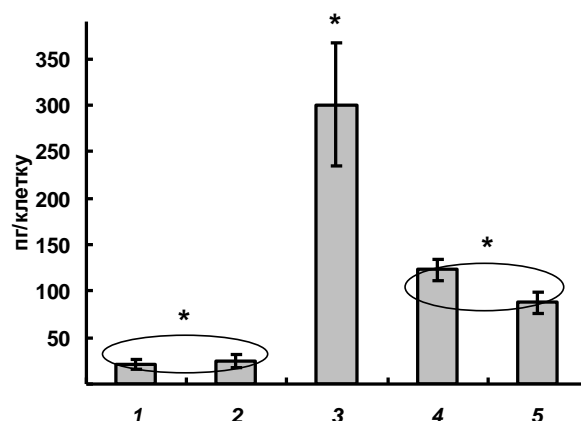
Рис. 2. Содержание  $\beta$ -каротина (пг/клетку) в культуре *D. salina* на 48-е сутки роста культуры в зависимости от содержания источников биогенов в среде культивирования.

Обозначения как на рис. 1.

## АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ У МИКРОВОДОРОСЛИ



**Рис. 3.** Активность каталазы (мкмоль  $H_2O_2$ /(мин · мкг белка)) в культуре клеток *D. salina* в зависимости от содержания источников биогенов в среде культивирования. Обозначения как на рис. 1.



**Рис. 4.** Содержание белка (пг/клетку) в культуре *D. salina* в зависимости от содержания источников биогенов в среде культивирования. Обозначения как на рис. 1.

являются факторами, вызывающими рост каталазной активности у *D. salina*.

Кроме того, при интерпретации показателей, рассчитанных на белок, необходимо принимать во внимание, что в клетках *D. salina* содержание белка может существенно варьировать в зависимости от условий. Увеличение концентрации хлористого натрия в питательной среде вызывало нарушение белкового обмена, сопровождающееся накоплением белка в клетках этой микроводоросли (Мушак, 1968). Добавление ионов меди в питательную среду снижало концентрацию белка в клетках *D. salina* почти вдвое (Божков и др., 1992).

При различной обеспеченности азотом и фосфором клетки *D. salina* также содержали разное количество белка (рис. 4). Максимальное накопление белка наблюдалось в клетках, выращенных при дефиците фосфора. Исключение азота из среды лимитировало синтез белка как в варианте с дефицитом только азота, так и при дефиците обоих биогенов. При избытке фосфора содержание белка в клетках не отличалось от контрольного (рис. 4).

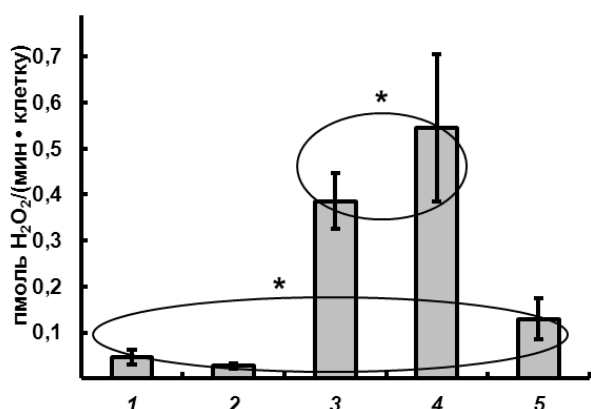
В связи с этим, более показательной характеристикой состояния антиоксидантной системы будет служить каталазная активность в расчете на клетку (рис. 5).

По активности каталазы в расчете на клетку варианты опыта можно разделить на две статистически значимо различные группы (рис. 5). Первая группа объединяет контроль и клетки, выращенные при дефиците фосфора. В последних активность каталазы в расчете на клетку

не отличалась от контрольного уровня (рис. 5), несмотря на то, что содержание белка в клетках было почти в три раза выше контрольного (рис. 4). Вероятно, накопление белка в клетках, лимитированных по фосфору, связано с какими-то специфическими белковыми фракциями, а содержание каталазы в клетках при дефиците фосфора не изменяется.

Вторая группа объединяет варианты опыта с дефицитом обоих биогенов, дефицитом азота и избытком фосфора. В них активность каталазы в расчете на клетку в несколько раз меньше, чем в контроле и при дефиците фосфора (рис. 5). При дефиците азота и обоих биогенов снижается как содержание белка в клетках (рис. 4), так и активность каталазы в расчете на белок (рис. 3). При избытке фосфора уменьшение каталазной активности в расчете на клетку (рис. 5), вероятно, связано с изменением соотношения белковых фракций, так как содержание белка на клетку не отличалось от контрольного (рис. 4).

Активность ферментов антиоксидантной защиты *D. salina*, в частности, каталазы, в расчете как на белок, так и на клетку, в условиях индукции каротиногенеза исследовалась Миролюк (1969а; 1969б). Было показано снижение активности каталазы как на белок, так и на клетку, в желтых клетках, взятых из 45-суточных и 80-85-суточных культур, выращенных при повышенной солености среды (4 М NaCl). Эти результаты совпадают с данными, полученными в настоящей работе для культур, выращенных при дефиците азота, возможно потому, что в 45-85-суточных культурах, кото-



**Рис. 5. Активность каталазы (пмоль  $H_2O_2$ /(мин · клетку)) в культуре *D. salina* в зависимости от содержания источников биогенов в среде культивирования.**

Обозначения как на рис. 1.

рые выращивались без компенсации убыли биогенов в среде, мог иметь место дефицит азота.

Известно, что клеточные механизмы дезактивации различных активных форм кислорода могут заменять, дополнять и дублировать друг друга. Например,  $H_2O_2$  дезактивируется ферментами каталазой и различными пероксидазами. Синглетный кислород гасится  $\beta$ -каротином,  $\alpha$ -токоферолом, глутатионом и аскорбатом (Клеточные ..., 2003). Исходя из этого, можно предположить, что недостаточная активность какого-либо из звеньев антиоксидантной защиты может привести к активации другого звена.

Вместе с тем, отдельные компоненты антиоксидантной системы обладают полифункциональностью. Например,  $\beta$ -каротин способен гасить синглетный кислород  $^1O_2$  и адсорбировать избыток энергии возбужденного хлорофилла, рассеивая его в виде тепла (Клеточные ..., 2003). Кроме того,  $\beta$ -каротин реагирует с пероксидными радикалами, обрывая цепь свободнорадикального окисления (Поляков, Лёшина, 2006).

Исходя из этого, представляется вероятным, что  $\beta$ -каротин может выполнять различные функции в системе антиоксидантной защиты клеток *D. salina*, а индукция накопления  $\beta$ -каротина в клетках различными факторами может происходить посредством специфичных по отношению к ним механизмов.

Полученные нами результаты показали, что накопление  $\beta$ -каротина в клетках *D. salina* может сопровождаться как снижением активности каталазы (при дефиците азота), так и поддержанием контрольного уровня каталазной активности в индивидуальной клетке (при дефиците фосфора) (рис. 2, 5). Это свидетельствует в пользу специфического действия дефицита азота и дефицита фосфора на индукцию каротиногенеза. Снижение каталазной активности может приводить к образованию гидроксил-радикалов и индукции перекисного окисления липидов. В этом случае функцией  $\beta$ -каротина, накапливающегося в клетках *D. salina*, может быть взаимодействие с пероксидными радикалами. При дефиците фосфора, возможно, наблюдается дефицит АДФ и НАДФ, что приводит к сверхвосстановленности электрон-транспортной цепи хлоропластов и генерации синглетного кислорода. В данном случае накапливающийся в клетках  $\beta$ -каротин может выполнять функцию гасителя синглетного кислорода.

При избытке фосфора снижение активности каталазы не сопровождается накоплением  $\beta$ -каротина (рис. 2, 5). Возможно, в данном случае индуцируются другие звенья антиоксидантной защиты либо снижается интенсивность генерирования активных форм кислорода.

Комплексные исследования разных компонентов системы антиоксидантной защиты *D. salina* при действии дефицита биогенов, а также в сочетании с другими факторами каротиногенеза, позволят выяснить функции  $\beta$ -каротина в клетке *D. salina*, механизмы индукции его накопления и разработать приемы управления каротиногенезом в культуре.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что дефицит азота и дефицит обоих биогенов приводил к накоплению  $\beta$ -каротина и снижению активности каталазы в расчете как на белок, так и на клетку *D. salina*. При дефиците фосфора также наблюдалось накопление  $\beta$ -каротина в клетках; при этом каталазная активность сохранялась на уровне контроля в расчете на клетку, но, вследствие накопления в клетках белка, снижалась в расчете на белок. При избытке фосфора, который не вызывал индукции каротиногенеза, происходило снижение каталазной активности в расчете на белок. Возможно, при дефиците биогенов  $\beta$ -каротин выполняет в клетках *D. salina* две различные специфичные функции, которые заключаются в ингибировании ПОЛ при дефици-

## АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ У МИКРОВОДОРОСЛИ

те азота и гашении синглетного кислорода при дефиците фосфора.

### ЛИТЕРАТУРА

- Алиева Д.Р., Бабаев Г.Г., Азизов И.В.* Влияние повышения концентрации NaCl на фотосинтез и активность каталазы клеток *Dunaliella salina* // Вісн. Дніпр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2009. – Т. 1, вип. 17. – С. 3-9.
- Али-Заде Г.И.* Влияние УФ-С и УФ-В излучений на первичные процессы фотосинтеза и каталазную активность в клетках *Dunaliella* // Совр. проблемы науки и образования. – 2009. – № 4. – С. 18-25.
- Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях / Под ред. Е.Л. Кордюм.* – Киев: Наук. думка. – 2003. – 277 с.
- Божков А.И., Ляшенко Т.Е., Догадина Т.В.* Влияние ионов меди на интенсивность выделения белков и фенолов в среду двумя видами водорослей рода *Dunaliella* Теод. // Биол. науки. – 1992. – № 1. – С. 126-132.
- 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. – Вип. 2 (7). – С. 121-130.
- Комаристая В.П., Антоненко С.П., Рудась А.Н.* Культивирование *Dunaliella salina* Теод. при субоптимальных концентрациях азота и фосфора и исключении их из среды // Альгология. – 2010. – Т. 20, № 1. – С. 42-55.
- Миронюк В.И.* Деякі особливості окисно-відновних систем одноклітинної зеленої водорості *Dunaliella salina* Теод. // Укр. ботан. журн. – 1969а. – Т. 26, № 1. – С. 54-59.
- Миронюк В.И.* Каталаза та пероксидаза *Dunaliella salina* Теод. // Укр. ботан. журн. – 1969б. – Т. 26, № 2. – С. 92-95.
- Миронюк В.И., Масюк Н.П., Акоюнц Н.С.* Вплив рН і деяких інгібіторів на активність каталази оліго- та гіпергалобних водоростей // Укр. ботан. журн. – 1980. – Т. 39, № 3. – С. 60-62.
- Мушак П.О.* Вміст та стан нуклеїнових кислот у водорості *Dunaliella salina* Теод. залежно від концентрації NaCl // Укр. бот. журн. – 1968. – Т. 25, № 2. – С. 91-95.
- Поляков Н.Э., Лёшина Т.В.* Некоторые аспекты реакционной способности каротиноидов. Окислительно-восстановительные процессы и комплексобразование // Успехи химии. – 2006. – Т. 75, № 12. – С. 1175-1192.
- Abd El-Baky H.H., El Baz F.K., El-Baroty G.S.* Production of antioxidant by the green alga *Dunaliella salina* // Int. J. Agri. Biol. – 2004. – V. 6. – P. 49-57.
- Bligh E., Dyer W.* A rapid method of total lipid extraction and purification // Can. J. Biochem. Physiol. – 1959. – V. 37. – P. 911-917.
- Coesel S.N., Baumgartner A.C., Teles L.M. et al.* Nutrient limitation is the main regulatory factor for carotenoid accumulation and for *Psy* and *Pds* steady state transcript levels in *Dunaliella salina* (Chlorophyta) exposed to high light and salt stress // Mar. Biotechnol. – 2008. – V. 10. – P. 602-611.
- Lamers P.P., Janssen M., De Vos R.C.H. et al.* Exploring and exploiting carotenoid accumulation in *Dunaliella salina* for cell-factory applications // Trends Biotechnol. – 2008. – V. 26. – P. 631-638.
- Lei A., Hu Z., Wong Y., Tam N.F.* Antioxidant responses of microalgal species to pyrene // J. Appl. Phycol. – 2006. – V. 18. – P. 67-78.
- Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L. et al.* Protein measurement with the Folin phenol reagent // J. Biol. Chem. – 1951. – V. 193. – P. 265-275.
- Nikookar K., Moradshahi A., Knarati M.* Influence of salinity on the growth, pigmentation and ascorbate peroxidase activity of *Dunaliella salina* isolated from Maharlu salt lake in Shiraz // Iranian J. of Sci. and Techn. – 2004. – Vol. 28, № A1. – P. 117-125.
- White A.L., Jahnke L.S.* Contrasting effects of UV-A and UV-B on photosynthesis and photoprotection of  $\beta$ -carotene in two *Dunaliella* spp. // Plant and Cell Physiol. – 2002. – V. 43. – P. 877-884.

Поступила в редакцию  
29.06.2010 г.

**АНТОНЕНКО, КОМАРИСТАЯ**

**CATALASE ACTIVITY IN MICROALGA  
*DUNALIELLA SALINA* TEOD. UNDER CAROTENOGENESIS  
INDUCTION BY LACK OF NITROGEN AND PHOSPHORUS**

S. P. Antonenko, V. P. Komaristaya

*V.N. Karazin Kharkiv National University  
(Kharkiv, Ukraine)*

Catalase activity in the cells of *Dunaliella salina* cultures grown under conditions inducing carotenogenesis, such were the lack of nitrogen and phosphorus, and different supply with this biogens was estimated. The nitrogen lack and the lack of both biogens led to the catalase activity decrease per cell and per protein. The catalase activity remained at the control level per cell, but as the result of protein accumulation in the cells decreased per protein under the phosphorus lack. The phosphorus excess decreased catalase activity per protein without carotenogenesis induction. The possible specific role of  $\beta$ -carotene under the biogens lack is discussed, which consists in the lipid peroxidation inhibition under the nitrogen lack and singlet oxygen scavenging under the phosphorus lack.

**Key words:** *Dunaliella salina*, catalase,  $\beta$ -carotene, nitrogen, phosphorus

**АКТИВНІСТЬ КАТАЛАЗИ У МІКРОВОДОРСТІ  
*DUNALIELLA SALINA* ТЕОД. ПРИ ІНДУКЦІЇ КАРОТИНОГЕНЕЗУ  
ДЕФІЦИТОМ АЗОТУ Й ФОСФОРУ**

С. П. Антоненко, В. П. Комариста

*Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна  
(Харків, Україна)*

Визначали активність каталази в клітинах культур *Dunaliella salina*, вирощених в умовах індукції каротиногенезу дефіцитом азоту й фосфору, а також при різній забезпеченості цими біогенами. Дефіцит азоту й дефіцит обох біогенів призводив до зниження активності каталази у розрахунку як на білок, так і на клітину. При дефіциті фосфору каталазна активність зберігалася на рівні контролю у розрахунку на клітину, але, внаслідок нагромадження в клітинах білка, знижувалася у розрахунку на білок. При надлишку фосфору відбувалося зниження каталазної активності у розрахунку на білок, що не супроводжувалося індукцією каротиногенезу. Обговорюється можлива специфічна роль  $\beta$ -каротину при дефіциті біогенів, що полягає в інгібуванні пероксидного окиснення ліпідів при дефіциті азоту й гасінні синглетного кисню при дефіциті фосфору.

**Ключові слова:** *Dunaliella salina*, каталаза,  $\beta$ -каротин, азот, фосфор