

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2016, 26(2):152–162

<http://dx.doi.org/10.15407/alg26.02.152>

УДК 58.03:577.15(582.232+582.263)

**КУРЕЙШЕВИЧ А.В.<sup>1</sup>, НЕЗБРИЦКАЯ И.Н.<sup>1</sup>, СТАНИСЛАВЧУК А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт гидробиологии НАН Украины,  
просп. Героев Сталинграда, 12, Киев 04210, Украина  
e-mail: ALischuk@ Rambler.ru

<sup>2</sup>Тернопольский национальный педагогический ун-т им. В. Гнатюка,  
ул. М. Кривоноса, 2, Тернополь 46027, Украина

### **АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ-АНТИОКСИДАНТОВ ЦИАНОПРОКАРИОТ И ЗЕЛЕННЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ПРИ ИХ КУЛЬТИВИРОВАНИИ В УСЛОВИЯХ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУР**

Исследовано влияние разных температурных режимов культивирования (20, 26 и 32 °С) на активность ферментов антиоксидантной защиты: супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ) и глутатионпероксидазы (ГПО) некоторых видов *Cyanoprokaryota* (*Aphanocapsa planctonica* (G.M. Sm.) Komárek et Anagn., *Phormidium autumnale* (C. Agardh) Gomont f. *uncinata* (C. Agardh) N.V. Kondrat.) и *Chlorophyta* (*Desmodesmus communis* (E. Hegew.) E. Hegew., *Tetraedron caudatum* (Corda) Hansg.). Установлено, что активность ферментов-антиоксидантов зависит от температуры, продолжительность роста культуры и ее видовой принадлежности. При максимальной температуре (32 °С) функциональная активность СОД, КАТ и ГПО у цианопрокариот и зеленых микроводорослей была значительно подавлена, особенно у культур водорослей, выращиваемых более длительный период. Показано, что у обоих представителей *Cyanoprokaryota* и *Chlorophyta* в условиях исследуемых температур динамика показателей активности СОД и КАТ не совпадает, а чаще находится в противофазе. Ферментативная активность ГПО у более старых культур *Chlorophyta* и *Cyanoprokaryota* при 20 и 26 °С значительно выше по сравнению с молодыми. В то же время при максимальной температуре (32 °С) активность фермента у более старых культур практически полностью ингибируется.

Ключевые слова: *Cyanoprokaryota*, *Chlorophyta*, температура, ферменты, антиоксидантная защита, супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза.

#### **Введение**

При воздействии неблагоприятных факторов среды в клетках всех живых организмов развивается окислительный стресс, связанный с повышенным содержанием в клетках активных форм кислорода (АФК).

© А.В. Курейшевич, И.Н. Незбрицкая, А.В. Станиславчук, 2016

Как известно, АФК являются продуктами нормальной жизнедеятельности клетки, а в ряде случаев могут даже выполнять функции вторичных посредников (Физиология ..., 2012). Вместе с тем, их избыток, образующийся под воздействием абиотических стрессоров (ионизирующая радиация, высокая и низкая температуры и т.д.), может вызвать ряд неблагоприятных изменений (Половникова, 2010). Обезвреживание АФК у водорослей и цианобактерий эффективно обеспечивается многоступенчатой системой антиоксидантной защиты, в которой участвуют специфические ферменты и низкомолекулярные соединения. К важнейшим ферментам детоксикации АФК и их продуктов относятся супероксиддисмутаза, каталаза и глутатионпероксидаза (Latifi et al., 2009; Sirikhachornkit, Niyogi, 2010). Их функционирование направлено на снижение уровня окислительного стресса, предотвращая негативные последствия его действия (Губаренко, Бильчук, 2010). Уровень активности этих ферментов может быть адекватной оценкой физиологического состояния гидробионтов в стрессовых условиях (Шахматова, 2004). В литературе имеются немногочисленные данные об изменениях функциональной активности указанных выше ферментов у пресноводных видов водорослей и цианобактерий под воздействием высоких температур. Они представляют значительный интерес в связи с глобальными изменениями климата и существенным повышением летних температур водных объектов.

Целью нашей работы было выяснение особенностей влияния разных температур (20, 26 и 32 °С) на активность ферментов антиоксидантной защиты (супероксиддисмутаза, каталаза и глутатионпероксидаза) у некоторых видов *Cyanoprokaryota* и *Chlorophyta*, распространенных в пресных водоемах Украины.

### Материалы и методы

В опытах использовали альгологически чистые культуры *Cyanoprokaryota*: *Aphanocapsa planctonica* (G.M. Sm.) Komárek et Anagn. (= *Microcystis pulvereae* (Wood) Forti emend. Elenkin HPDP-30 и *Phormidium autumnale* (C. Agardh) Gomont f. *uncinata* (C. Agardh) N.V. Kondrat. HPDP-36, а также *Chlorophyta* – *Desmodesmus communis* (E. Hegew.) E. Hegew. HPDP-109 и *Tetraedron caudatum* (Corda) Hansg. IBASU-A 277. Исследуемые культуры выращивали на среде Фитцджеральда № 11 в модификации Цендера и Горхема (Методы ..., 1975), при освещенности 3000 лк (с чередованием светового и темного периодов 16:8) при температуре 20, 26 и 32 °С, в течение 28 сут. Пробы отбирали на 14-е и 28-е сутки роста культур. Активность супероксиддисмутазы (СОД; КФ 1.15.1.1) определяли по уровню ингибирования ферментом процесса восстановления нитротетразолия синего при наличии NADH и феназинметасульфата (Чевари и др., 1991). Активность каталазы (КАТ; КФ 1.11.1.6.) – по способности пероксида водорода образовывать с аммониймолибдатом

устойчивый окрашенный комплекс (Королюк, 1988), активность глутатионпероксидазы (ГПО; КФ 1.11.1.9) – по методу Моина (Моин, 1986). Содержание белков в пробах оценивали методом Лоури (Lowry et al., 1951). Полученные данные обрабатывали статистически.

### Результаты и обсуждение

Супероксиддисмутаза обеспечивает первичную защиту клеток водорослей от окислительной деструкции, катализируя реакцию дисмутации супероксидного анион-радикала, и тем самым останавливая процесс окисления клеточных макромолекул еще на стадии инициирования (Alscher et al., 2002; Latifi et al., 2009). У цианопрокариот максимальная активность СОД наблюдалась при температуре 20 °С. У *A. planctonica* на 14-е и 28-е сутки культивирования при этой температуре уровень активности СОД был выше, чем при 26 °С в 8,1 и 1,4 раза соответственно, а у *P. autumnale* f. *uncinata* – в 4 и 3,5 раза соответственно (рис. 1, А, Б). Согласно результатам предыдущих экспериментов, температура 20 °С, по сравнению с 26 °С, является менее благоприятной для роста цианопрокариот (Незбрицька та ін., 2015). Увеличение активности СОД при минимальной температуре может быть обусловлено активацией ее латентных форм и/или синтезом новых молекул (Бараненко, 2006).

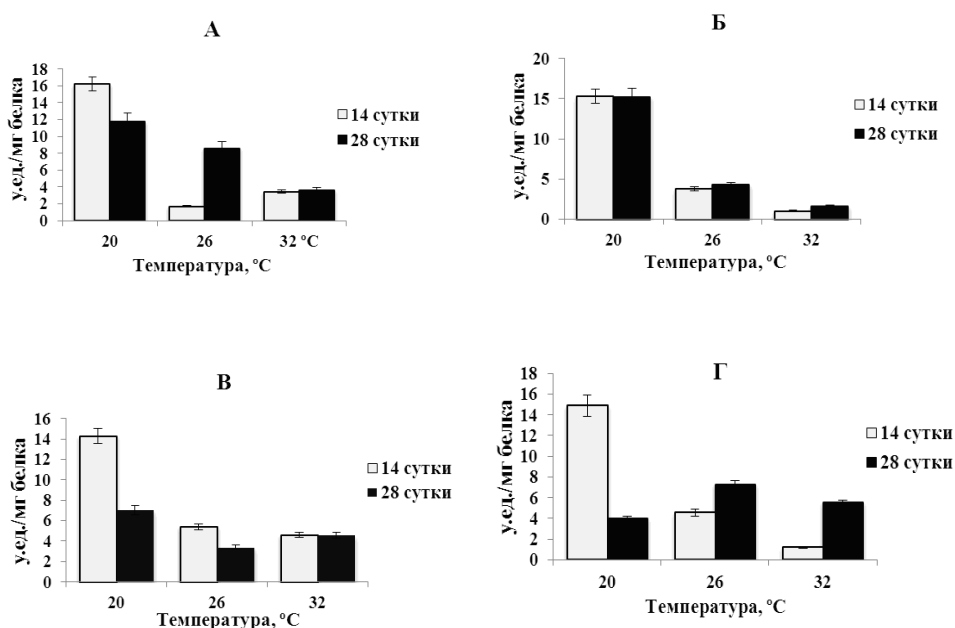


Рис. 1. Изменение активности супероксиддисмутазы у представителей Цианопроккариота (*Aphanocapsa planctonica* – А; *Phormidium autumnale* f. *uncinata* – Б) и Chlorophyta (*Desmodesmus communis* – В; *Tetraedron caudatum* – Г) при различных температурных условиях культивирования

При температуре 32 °С у *A. planctonica* на 14-е сутки культивирования активность СОД была выше, чем при 26 °С, а на 28-е сутки – существенно ниже. У *P. autumnale* f. *uncinata* в этих температурных условиях по сравнению с другими исследуемыми (20 и 26 °С), наблюдалась подавленная функциональная активность СОД в течение всего эксперимента. Уменьшение активности фермента может быть следствием снижения синтеза и (или) повышения деградации молекул СОД. Причиной снижения активности СОД может быть также истощение пула фермента вследствие усиленного его расходования на гашение супероксидного радикала (Бараненко, 2006).

Как известно, в результате супероксиддисмутазной реакции образуется пероксид водорода ( $H_2O_2$ ) – биологически активный интермедиат кислорода, поэтому при участии СОД антиоксидантная защита обеспечивается не полностью. В поддержании физиологически нормального уровня  $H_2O_2$  в клетке важную роль играет каталаза (Россихина, 2006). Этот фермент катализирует расщепление пероксида водорода до кислорода и воды, предотвращая его токсический эффект (Грохольська та ін., 2011). Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменения активности КАТ цианопрокариот при исследуемых температурах, по сравнению с изменениями активности СОД, имеют противоположный характер. При температуре 20 °С у *A. planctonica* и *P. autumnale* f. *uncinata* уровень активности КАТ значительно ниже, чем при 26 °С, особенно на 14-е сутки культивирования (рис. 2, А, Б).

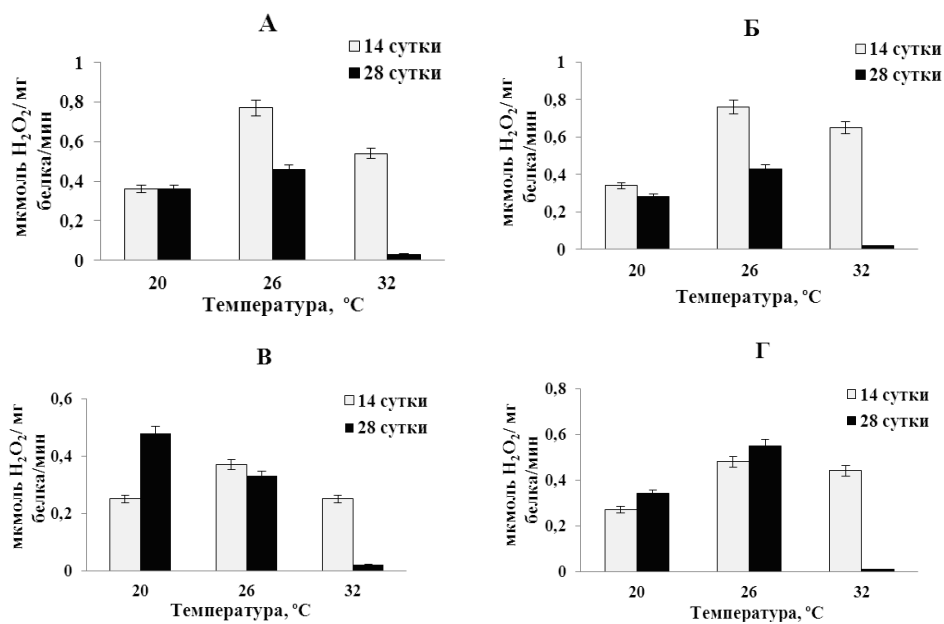


Рис. 2. Изменение активности каталазы у представителей *Cyanoprokaryota* (*Aphanocapsa planctonica* – А; *Phormidium autumnale* f. *uncinata* – Б) и *Chlorophyta* (*Desmodesmus communis* – В; *Tetraedron caudatum* – Г) при различных температурных условиях культивирования

Таким образом, в этих температурных условиях на фоне значительного повышения активности СОД происходит снижение активности КАТ. Для каталазы супероксидный анион-радикал является отрицательным эффектором, а пероксид водорода – положительным, в то же время для СОД – наоборот (Дубинина, 1998).

При температуре 32 °С на 14-е сутки роста культур активность КАТ была достоверно выше, чем при 20 °С, но ниже, чем при 26 °С. В более старых культурах *Cyanoprokaryota* при температуре 32 °С наблюдалась тенденция к значительному снижению величины исследуемого показателя по сравнению с его значениями при 26 и 20 °С. У *A. planctonica* на 28-е сутки культивирования при этой температуре, по сравнению с 26 °С, уровень активности КАТ уменьшался в 15 раз, а у *P. autumnale* f. *uncinata* – в 24 раза. Снижение активности каталазы, согласно О.В. Ситар (2010), может быть вызвано угнетением экспрессии ее гена вследствие повышенного генерирования АФК.

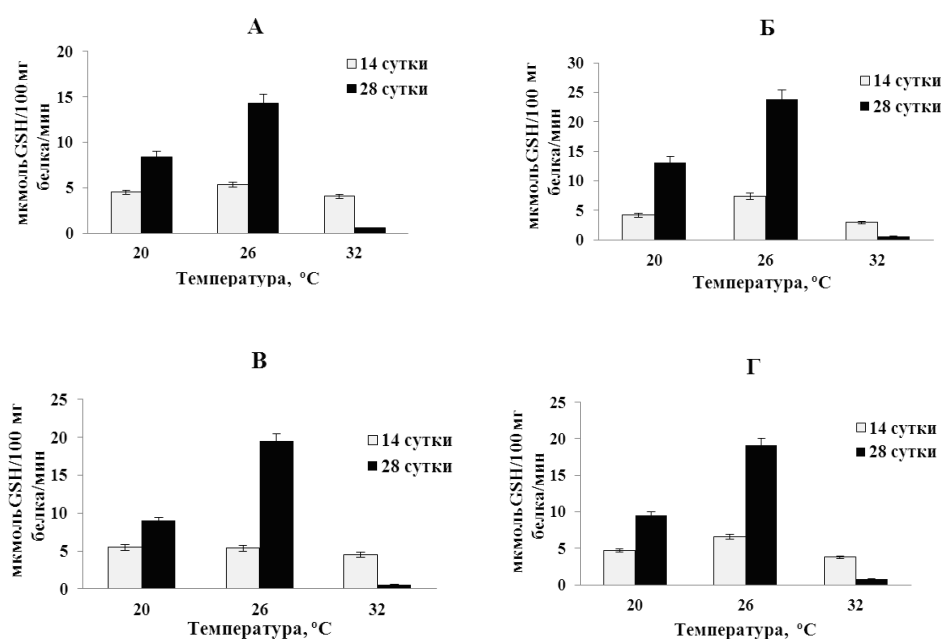


Рис. 3. Изменение активности глутатионпероксидазы у представителей *Cyanoprokaryota* (*Aphanocapsa planctonica* – А; *Phormidium autumnale* f. *uncinata* – Б) и *Chlorophyta* (*Desmodesmus communis* – В; *Tetraedron caudatum* – Г) при различных температурных условиях культивирования

В детоксикации активных форм кислорода, образующихся при окислительном стрессе, участвует еще один важный антиоксидантный фермент – глутатионпероксидаза, которая катализирует реакцию расщепления перекиси водорода и органических пероксидов без образования свободных радикалов, используя в качестве донора водорода восстановленный глутатион (Половникова, 2010). Самые высокие показатели

активности ГПО у цианопрокариот наблюдались при температуре 26 °С. При минимальной температуре функциональная активность ГПО, как и КАТ, была подавлена. Так, на 14-е сутки роста *A. planctonica* при температуре 20 °С величина исследуемого показателя была меньше чем при 26 °С в 1,2 раза, а на 28-е сутки – в 1,7 раза (рис. 3, А). У *P. autumnale* f. *uncinata* в течение всего периода культивирования при этой температуре активность ГПО была ниже, чем при 26 °С в 1,8 раза (рис. 3, Б). При температуре 32 °С уровень активности ГПО у *A. planctonica* и *P. autumnale* f. *uncinata* был минимальным. Активность других исследуемых ферментов антиоксидантной защиты при данном температурном режиме культуральной среды у цианопрокариот также подавлялась. Возможно, в этих условиях ключевая роль в защите метаболизма от АФК принадлежит низкомолекулярным антиоксидантам. Ранее нами было показано, что при температуре 32 °С на стационарной фазе роста *P. autumnale* f. *uncinata* существенно увеличивается содержание фикобилипротеинов, которые, как известно, являются сильными низкомолекулярными антиоксидантами (Незбрицька, Курейшевич, 2015).

Проведенные исследования показали, что у представителей *Chlorophyta* и *Cyanoprokaryota* на 14-е сутки роста при температуре 26 °С активность СОД была значительно ниже (рис. 1, В, Г), чем при 20 °С. Однако показатели роста зеленых микроводорослей при температуре 20 °С были выше, чем при температуре 26 °С (Незбрицька та ін., 2015). Снижение активности СОД при повышенной температуре культуральной среды связано, вероятно, с увеличением в клетках водорослей концентрации пероксида водорода, поскольку в таких условиях активируются ферменты, которые его расщепляют, и инактивируются системы, которые его производят (Бацманова та ін., 2008; Vanacker et al., 2006). Это подтверждают полученные нами результаты исследования активности КАТ. Из рис. 2, В, Г видно, что у *D. communis* на 14-е сутки культивирования при 26 °С реакционная способность КАТ была выше, чем при 20 °С в 1,5 раза, а у *T. caudatum* – в 1,8 раза.

На 28-е сутки роста культур *Chlorophyta* при температуре 26 °С, по сравнению с 20 °С, изменения активности СОД и КАТ носили одинаковый характер. Однако если у *D. communis* при повышенной температуре (26 °С) отмечалось угнетение активности этих ферментов, то у *T. caudatum* – увеличение активности СОД и КАТ.

У *D. communis* на 14-е сутки роста при температуре 26 °С ферментативная активность ГПО практически не изменилась относительно зарегистрированной при 20 °С, а на 28-е сутки значительно увеличилась (в 2,2 раза) (рис. 3, В). Это свидетельствует о том, что динамика активности ГПО у микроводоросли при исследуемой температуре не совпадала с динамикой активности КАТ. У водоросли *T. caudatum* в результате повышения температуры выращивания с 20 °С до 26 °С активность ГПО, как и КАТ, увеличивалась (рис. 2, Г; 3, Г). На

14-е сутки культивирования микроводоросли при температуре 26 °С уровень активности фермента был выше в 1,4 раза, а на 28-е – в 2 раза, чем при 20 °С.

Известно, что сродство глутатионпероксидазы с пероксидом водорода выше, чем каталазы, поэтому первая более эффективна при низких концентрациях субстрата, в то же время в защите клеток от окислительного стресса, вызванного высокими его концентрациями, ключевая роль принадлежит каталазе (Чеснокова и др., 2006). Глутатионпероксидаза обезвреживает не только пероксид водорода, но и разные органические липидные пероксиды, которые образуются при активации перекисного окисления липидов (Gill, Tuteja, 2010).

По нашему мнению, значительная активация ГПО у культур *D. communis* и *T. caudatum*, выращиваемых более длительный период в условиях повышенной температуры культуральной среды (26 °С), связана именно с ростом содержания органических пероксидов в их клетках.

При 32 °С у *D. communis* на 14-е сутки культивирования активность СОД была ниже в 3,1 раза, чем при 20 °С, тогда как активность КАТ и ГПО оставалась на уровне этих значений. На 28-е сутки у микроводоросли при температуре 32 °С, по сравнению с 20 °С, наблюдалась пониженная активность всех исследованных ферментов антиоксидантной защиты. При этом изменения активности КАТ и ГПО были более существенными, чем СОД. Уменьшение функциональной активности указанных ферментов свидетельствует об истощении их пула и угнетении его синтеза во время эксперимента.

У *T. caudatum* при температуре 32 °С на 14-е сутки роста культуры уровень активности СОД и ГПО был ниже, чем при 20 °С (в 7,5 и 1,2 раза соответственно), а КАТ, наоборот, выше в 1,7 раза. На 28-е сутки у водоросли происходила практически полная инактивация КАТ и ГПО, однако увеличивалась функциональная активность СОД по сравнению с отмеченной при 20 °С. По-видимому, ключевую роль в адаптации *T. caudatum* к наиболее высокой температуре играет СОД.

Из полученных результатов следует, что разные виды *Chlorophyta* отличаются характером изменений активности ферментов антиоксидантной защиты при повышении температуры культуральной среды.

## Выводы

Активность ферментов антиоксидантной защиты (супероксиддисмутаза, каталаза и глутатионпероксидаза) культур цианопрокариот и зеленых микроводорослей зависит от температуры их выращивания (20, 26 и 32 °С), продолжительность роста культуры и их видовой принадлежности.

При максимальной температуре (32 °С) функциональная активность ферментов-антиоксидантов у представителей *Cyanoprokaryota* (*Aphanocapsa planctonica*, *Phormidium autumnale* f. *uncinata*) и *Chlorophyta* (*Desmodesmus communis*, *Tetraedron caudatum*) была значительно ниже,

чем при 20 и 26 °С. Очевидно, в этих условиях главная роль в защите метаболизма от активных форм кислорода принадлежит низкомолекулярным антиоксидантам.

При исследуемых температурах у цианопрокариот и зеленых микроводорослей динамика показателей активности СОД в большинстве случаев находится в противофазе с динамикой активности КАТ. Это объясняется тем, что для каталазы супероксидный анион-радикал является отрицательным эффектором, а  $H_2O_2$  – положительным, в то же время для СОД – наоборот.

Изменения активности ГПО при температуре 20, 26 и 32 °С у культур *A. planctonica*, *P. autumnale* f. *uncinata* и *T. caudatum* совпадали с динамикой активности КАТ, что можно объяснить участием обоих ферментов в расщеплении пероксида водорода. Вместе с тем, у культуры *D. communis* изменения этих показателей при указанных температурах имели разный характер.

Функциональная активность ГПО у более старых культур *Chlorophyta* и *Cyanoprokaryota* при 20 и 26 °С значительно выше по сравнению с более молодыми, что связано, очевидно, с увеличением в их клетках содержания органических пероксидов по мере старения культур. При максимальной из исследуемых температур (32 °С) активность фермента с увеличением продолжительности роста культур практически полностью подавлялась.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бараненко В.В. Супероксиддисмутаза в клетках растений // Цитология. – 2006. – 48(6). – С. 465–474.
- Бацманова Л.М., Таран Н.Ю., Мусієнко М.М. Прооксиданти-антиоксиданти в листках пшениці степового еко типу за дії пероксиду водню // Укр. бот. журн. – 2011. – 68(2). – С. 259–264.
- Грохольська О., Гащишин В., Терек О. Каталаза як компонент антиоксидантної системи рослин за дії іонів важких металів та регулятора росту трептолему // Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування: Мат. конф. – Львів: Вид-во Львів. політех., 2011. – С. 44–46.
- Губаренко Ю.Ю., Більчук В.С. Стан антиоксидантної системи в меристемах кукурудзи за дії сполук кадмію та гіпертермії // Strategiczne pytania swiatowej nauki: Mat. konf. – Przemysl, 2010. – С. 65–67.
- Дубинина Е.Е. Активные формы кислорода и их роль в развитии оксидативного стресса // Фундаментальные и прикладные аспекты современной биохимии: Тр. науч. конф. – С.Пб., 1998. – С. 386–398.
- Королюк М.А. Метод определения активности каталазы // Лаб. дело. – 1988. – (1). – С. 16–19.
- Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Л.А. Сиренко, А.И. Сакевич, Л.Ф. Осипов и др. – Киев: Наук. думка, 1975. – 247 с.



- Моин В.М. Простой и специфический метод определения активности глутатионпероксидазы в эритроцитах // Лаб. дело. – 1986. – (12). – С. 724–727.
- Незбрицька І.М., Курейшевич А.В. Вплив температурного чинника на вміст фікобілінових пігментів у *Phormidium autumnale* f. *uncinata* (C. Agardh) N.V. Kondrat. // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2015. – 64(3–4). – С. 495–499.
- Незбрицька І.М., Курейшевич А.В., Василенко О.В. Вплив температурних умов на ростові процеси та активність глутаматдегідрогенази у деяких видів *Chlorophyta* і *Cyanoprokaryota* // Гидробиол. журн. – 2015. – 51(5). – С. 112–120.
- Половникова М.Г. Экофизиология стресса. – С.Пб.: Изд-во Марийск. ун-та, 2010. – 256 с.
- Россихіна Г.С. Стан антиоксидантної системи *Zea mays* під впливом гербіцидів // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. Біол., екол. – 2006. – 1(14). – С. 149–154.
- Ситар О.В. Регулювання адаптивних реакцій проростків сої сіркою за умов свинцевого забруднення // Физиол. и биохим. культ. раст. – 2010. – 42(5). – С. 443–449.
- Физиология растений / Ред. С.С. Медведев. – С.Пб.: БХВ-Петербург, 2012. – 512 с.
- Чевари С., Анделян Т., Штенгер Я. Определение антиоксидантных параметров крови и их диагностическое значение в пожилом возрасте // Лаб. дело. – 1991. – (10). – С. 9–13.
- Чеснокова Н.П., Понукалина Е.В., Бизенкова М.Н. Молекулярно-клеточные механизмы инактивации свободных радикалов в биологических системах // Усп. соврем. естествознания. – 2006. – (7). – С. 29–36.
- Шахматова О.О. Активність антиоксидантної системи деяких чорноморських гідробіонтів у прибережній акваторії Севастополя: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. – Севастополь, 2004. – 21 с.
- Alscher R.G., Erturk N., Heath L.S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants // J. Exp. Bot. – 2002. – 53(372). – P. 1331–1341.
- Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants // Plant Physiol Biochem. – 2010. – 48(12). – P. 909–930.
- Latifi A., Ruiz M., Zhang C.C. Oxidative stress in cyanobacteria // FEMS Microbiol. Rev. – 2009. – 33(2). – P. 258–278.
- Lowry O.H., Rosenbroug N.I., Farr A.L., Randall R.I. Protein measurement with the folin phenol reagent // J. Biol. Chem. – 1951. – 193(1). – P. 265–275.
- Sirikhachornkit A., Niyogi K.K. Antioxidants and photo-oxidative stress responses in plants and algae // The chloroplast: basics and applications. – Dordrecht: Springer, 2010. – P. 379–396.
- Vanacker H., Sandalio L., Jiménez A. Oxidative Modifications to Cellular Components in Plants // J. Exp. Bot. – 2006. – 57(8). – P. 1747–1758.

Поступила 25 января 2016 г.

Подписала в печать Е.И. Шнюкова

## REFERENCES

- Alscher R.G., Erturk N., and Heath L.S., *J. Exp. Bot.*, 2002, 53(372):1331–1341.
- Baranenko V.V., *Tsitologiya*, 2006, 48(6):465–474.
- Batsmanova L.M., Taran N.Yu., and Musiyenko M.M., *Ukr. Bot. J.*, 2011, 68(2):259–264.

- Chesnokova N.P., Ponukalina E.V., and Bizenkova M.N., *Usp. sovrem. estestvoznaniya*, 2006, (7):29–36.
- Chevari S., Andelyan T., and Shtenger Ya., *Lab. delo*, 1991, (10):9–13.
- Dubiniina E.E., *Fundamentalnye i prikladnye aspekty sovremennoy biokhimii: Trudy nauch. konf. [Fundamental and applied aspects of modern biochemistry: Mat. sci. conf.]*. – S.Pb., 1998, pp. 386–398. (In Rus.)
- Fiziologiya rasteniy [Physiology of plants]*, Ed. S.S. Medvedev, BKhV-Peterburg, S.Pb., 2012, 512 p. (In Rus.)
- Gill S.S. and Tuteja N., *Plant Physiol Biochem.*, 2010, 48(12):909–930.
- Grokholska O., Gashchishin V., and Terek O., *Zakhist navkolishnogo seredovishcha. Zbalansovane pryrodokorystuvannya: Mat. konf. [Environmental Protection. Balanced Nature: Mat. conf.]*, Vid-vo Lviv. politekh., Lviv, 2011, pp. 44–46. (In Ukr.)
- Gubarenko Yu.Yu. and Bilchuk V.S., *Strategiczne pytanja swiatowej nauki: Mat. konf. [Strategic questions of world science: Mat. conf.]*, Przemysl, 2010, pp. 65–67. (In Pol.)
- Korolyuk M.A., *Lab. delo*, 1988, (1):16–19.
- Latifi A., Ruiz M., and Zhang C.C., *FEMS Microbiol. Rev.*, 2009, 33(2):258–278.
- Lowry O.H., Rosenbroug N.I., Farr A.L., and Randall R.I., *J. Biol. Chem.*, 1951, 193(1):265–275.
- Metody fiziologo-biokhimicheskogo issledovaniya vodorosley v gidrobiologicheskoy praktike [Methods of physiological and biochemical studies of algae in hydrobiological practice]*, L.A. Sirenko, A.I. Sakevich, L.F. Osipov (Eds), Nauk. dumka Publ., Kiev, 1975, 247 p. (In Rus.)
- Moin V.M., *Lab. delo*, 1986, (12):724–727.
- Nezbrytska I.M. and Kureyshevich A.V., *Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu. Ser. Biol.*, 2015, 64(3–4):495–499.
- Nezbrytska I.M., Kureyshevich A.V., and Vasilenko O.V., *Hydrobiol. J.*, 2015, 51(5): 112–120.
- Polovnikova M.G., *Ekofiziologiya stressa [Ecophysiology of stress]*, Izd-vo Mariysk. un-ta, S.Pb., 2010, 256 p. (In Rus.)
- Rossikhina G.S., *Visn. Dnipropetr. univer. Ser. Biol., ekol.*, 2006, 1(14):149–154.
- Shakhmatova O.O., *Aktivnist antioksidantnoi sistemi deyakikh chornomorskikh gidrobiontiv u priberezhnyi akvatoriyi Sevastopolya: Avtoref. Diss. kand. biol. nauk [The activity of some antioxidant system in the Black Sea coastal aquatic waters of Sevastopol: Abstr. Dr. Sci. (Biol.) Thesis]*, Sevastopol, 2004, 21 p. (In Ukr.)
- Sirikhachornkit A. and Niyogi K.K., *The chloroplast: basics and applications*, Springer, Dordrecht, 2010, pp. 379–396.
- Sitar O.V., *Fiziol. i biokhim. kult. rast.*, 2010, 42(5):443–449.
- Vanacker H., Sandalio L., and Jiménez A., *J. Exp. Bot.*, 2006, 57(8):1747–1758.

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2016, 26(2):152–162

<http://dx.doi.org/10.15407/alg26.02.152>

Kureishevich A.V.<sup>1</sup>, Nezbrytskaya I.N.<sup>1</sup>, Stanislavchuk A.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine,  
12, Geroyev Stalingrada Prosp., Kiev 04210, Ukraine

<sup>2</sup>V. Hnatiuk Ternopol National Pedagogical University,  
2, M. Krivonis St., Ternopol 46027, Ukraine

## ACTIVITY OF ANTIOXIDANT ENZYMES OF CYANOPROKARYOTA AND GREEN MICROALGAE WHEN CULTURING UNDER DIFFERENT TEMPERATURE CONDITIONS

The effect of different temperature conditions of cultivation (20, 26 and 32 ° C) on the activity of antioxidant enzymes: superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathioneperoxidase (GPO), of some species of *Cyanoprokaryota* (*Aphanocapsa planctonica* (G.M. Sm.) Komárek et Anagn., *Phormidium autumnale* (C. Agardh) Gomont f. *uncinata* (C. Agardh) N.V. Kondrat.) and *Chlorophyta* (*Desmodesmus communis* (E. Hegew.) E. Hegew., *Tetraedron caudatum* (Corda) Hansg.) was studied. The activity of antioxidant enzymes depends on the temperature, culture age and species affiliation. At the maximal temperature (32 °C), as compared to 20 and 26 °C, the activity of SOD, CAT and GAP in *Cyanoprokaryota* and green microalgae was significantly inhibited, especially in older cultures. It has been shown that under the studied temperatures the peaks of SOD and CAT activity of both representatives of *Cyanoprokaryota* and *Chlorophyta* do not coincide, and mainly are in the antiphase. At 20 and 26 °C in older cultures of *Cyanoprokaryota* and *Chlorophyta* the enzymatic activity of GAP is significantly higher as compared to younger ones. At the same time, at the maximal temperature (32 °C) its enzymatic activity was almost completely inhibited.

**Key words:** *Cyanoprokaryota*, *Chlorophyta*, temperature, antioxidant enzymes superoxide dismutase, catalase, glutathioneperoxidase.

---

## НОВЫЕ КНИГИ

---

**Руководство по изучению морского микрофитобентоса и его применению для контроля качества среды** / Е.Л. Неврова, А.А. Снигирева, А.Н. Петров, Г.В. Ковалева / Под ред. А.В. Гаевской. – Севастополь; Симферополь: Н. Орианда, 2015. – 176 с.

Книга содержит методические рекомендации по отбору, обработке и различным видам анализа бентосных микроводорослей Черного моря. Предложено использовать индикационные возможности микрофитов при оценке воздействия экологических стрессоров на показатели количественного развития, распределения и таксономическую структуру таксоценов. Обсуждено применение различных формализованных методов, в том числе индекса таксономической отличительности (TaxDI), для оценки биоразнообразия и состояния среды с помощью основных компонентов сообществ микрофитобентоса. Приложения содержат перечень публикаций, используемых при идентификации видов, аппроксимацию к геометрическим фигурам и поправочные коэффициенты для диатомовых, формулы расчета объема и площади поверхности одноклеточных водорослей, список видов микрофитобентоса северо-западной части Черного моря (*Cyanobacteria*, *Ochrophyta*, *Dinophyta*, *Cryptophyta*, *Haptophyta*, *Bigyra*, *Euglenozoa*, *Protozoa Incertae Sedis*, *Chlorophyta*, *Vacillariophyta*).

Для специалистов в области мониторинга и охраны окружающей среды, экологов, ботаников, гидробиологов, преподавателей и студентов высших учебных заведений.