

АКТИВНОСТЬ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ И КАТАЛАЗЫ В ТАЛЛОМАХ ЛИШАЙНИКОВ С РАЗНЫМ СОСТАВОМ ФОТОБИОНТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Андросова В.И.¹, Свирида А.Н.¹, Быкова А.Д.¹

¹Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия,
vera.androsova28@yandex.ru, anastasia.svirida@yandex.ru

ACTIVITIES OF SUPEROXIDE DISMUTASE AND CATALASE IN THALLOME OF LICHENS WITH DIFFERENT COMPOSITION OF PHOTOBIONTS UNDER POLLUTED CONDITIONS

Androsova V.I.¹, Svirida A.N.¹, Bykova A.D.¹

*Data on the activity of superoxide dismutase and catalase in the thalli of the cyanolichen *Peltigera praetextata* and the green algal lichen *Hypogymnia physodes* in communities under conditions of pollution of a mining enterprise. Catalase activity increases in thalli of both species under polluted conditions compared to background areas. Differences were found between lichen species in the reaction of protein content and superoxide dismutase activity.*

Виды лишайников *Peltigera praetextata* (Flörke ex Sommerf.) Zopf и *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. – популярные модельные объекты различных исследований, в том числе мониторинга состояния окружающей среды. Это широкораспространенные в бореальных лесах листоватые лишайники различаются составом фотобионтов: *Peltigera praetextata* – цианолишайник, его фотобионтом являются цианобактерии рода *Nostoc*, *Hypogymnia physodes* – хлоробионтный лишайник, фотобионт представлен зелеными водорослями рода *Trebouxia*. Ферменты супероксиддисмутаза и каталаза относятся к антиоксидантной системе и их активность служит индикатором функционального состояния организма (Никерова и др., 2016). Скорость реакции данного параметра позволяет оценивать состояние организма даже при небольшом и непродолжительном воздействии на него негативных факторов (Weissman *et al.*, 2006).

Целью исследования являлось изучение активности ферментов супероксиддисмутаза и каталазы в талломах лишайников *Hypogymnia physodes* и *Peltigera praetextata* в условиях загрязнения растительных сообществ горнодобывающем предприятием.

Образцы талломов для анализа были собраны в сосняках черничных зеленомошных в районе действующего карьера «Сунский» (Кондопожский р-н, Республика Карелия), где около 10 лет происходит добыча диабазов буровзрывным способом. Основным загрязняющим веществом является пыль неорганическая с содержанием оксида кремния SiO₂ около 67 т/год, а также оксиды азота (NO, NO₂), углерода (CO, CO₂) и серы (SO₂) вырабатываемые при работе техники. Было заложено 2 пробные площади (ПП2 – в максимальной близости от зоны разработки, ПП4 – расположенная на удалении 600 м). Образцы талломов *P. praetextata* были собраны только с ПП 4. Биохимические исследования выполнены на базе лаборатории кафедры ботаники и физиологии растений и лаборатории научно-исследовательского центра аквакультуры Института биологии, экологии и агротехнологий ПетрГУ. Талломы лишайников гомогенизировали в среде фосфатного буфера и ЭДТА, в соотношении ткань: буфер – 1: 10. После 20-минутной экстракции при 4°C

гомогенат дважды центрифугировали при 10000 g в течение 20 мин. Об активности супероксиддисмутазы судили по ингибированию фотовосстановления нитросинего тетразолия (Никерова и др., 2019), об активности каталазы – по ферментативному разложению перекиси водорода (Никерова и др., 2016). Содержание белка определяли по методу Бредфорда (Bradford, 1976). Все анализы выполнены в трехкратной повторности. Объем полученной выборки составил 99 образцов. Статистическая обработка проведена с помощью функционала программ MS Excel, R, Past. В ходе анализа сравнивали полученные данные изученных показателей в условиях загрязнения с данными для *H. physodes* и *P. praetextata* из условно фонового района – государственного природного заповедника «Кивач» (Кондопожский р-н, Республика Карелия) (Андросова и др., 2024).

Согласно полученным результатам, содержание белка в талломах лишайника *H. physodes* (мкг/ г сух. веса) в исследованных выборках составило в среднем 1106.42 ± 22.41 для ПП2 и 1229.19 ± 12.31 – для ПП4. При сравнении с данными, полученными для талломов *H. physodes* из условно фонового района – природного заповедника «Кивач», в которых содержание белка в среднем составляло 2629.82 ± 52.59 мкг/ г сух. веса, выявлено уменьшение содержания белка в условиях загрязнения.

Значения активности супероксиддисмутазы в талломах *H. physodes* (усл. ед./мг белка) в сообществах вблизи карьера в среднем составило 0.19 ± 0.01 для ПП2 и 0.17 ± 0.01 – для ПП4. В сравнении с данными для талломов гипогимнии из сообществ заповедника «Кивач», где активность супероксиддисмутазы составляла 0.09 ± 0.01 усл. ед./мг белка, можно отметить значительное увеличение активности данного фермента в условиях загрязнения.

Исследование активности каталазы в талломах *H. physodes* (H_2O_2 /мкг белка) показало, что средние значения составляли 1.95 ± 0.24 для ПП2 и 2.62 ± 0.22 – для ПП4. Можно также отметить значительное увеличение активности каталазы по сравнению с данными для талломов гипогимнии из заповедника «Кивач», где значение активности данного фермента в среднем составляло 0.49 ± 0.07 H_2O_2 /мкг белка.

Таким образом, в условиях загрязнения исследованных сообществ вблизи горнодобывающего предприятия, при сравнении с фоновыми сообществами в талломах *H. physodes* содержание белка достаточно сильно снижается (в 2 раза). Активности антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы и каталазы в 2–3 раза выше в сообществах вблизи предприятия, в сравнение с фоновыми. Повышение активности исследованных антиоксидантных ферментов в талломах лишайника *H. physodes* в условиях пылевого загрязнения карьера обусловлено увеличением выработки свободных радикалов при стрессовом воздействии на организм.

Согласно полученным данным, содержание белка в талломах *P. praetextata* из сообществ вблизи горнодобывающего предприятия, в среднем составило 1356.71 ± 25.01 мкг/ г сух. веса. При сравнении с данными, полученными для талломов пельтигеры из сообществ заповедника «Кивач», в которых содержание белка составило 1069.81 ± 90.80 мкг/ г сух. веса, выявлено увеличение этот показателя в условиях загрязнения.

Активность супероксиддисмутазы талломов *P. praetextata* в сообществах вблизи карьера составила в среднем 0.32 ± 0.15 усл. ед./мг белка, что сопоставимо со значениями, зарегистрированными для талломов из заповедника «Кивач». Среднее значение активности каталазы исследованных талломов *P. praetextata* составило 2.52 ± 0.82 мкмоль H_2O_2 /мкг белка. Активность этого фермента в талломах в условиях загрязнения выше, чем в заповеднике «Кивач», где значения активности каталазы достигали 1.95 ± 0.48 мкмоль H_2O_2 /мкг белка.

Таким образом, в условиях загрязнения исследованных сообществ вблизи горнодобывающего предприятия, при сравнении с фоновыми сообществами в талломах *P. praetextata* содержание белка увеличивается, активности супероксиддисмутазы не изменяется, а каталазы увеличивается в сообществах вблизи предприятия, в сравнение с фоновыми.

В ходе исследования были получены различия в изученных показателях у видов лишайников с разными фотобионтами в условиях загрязнения горнодобывающего предприятия.

Литература

Bradford M.M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding // Anal. Biochem, 1976. № 72. P. 248–254.

Weissman L., Fraiberg M., Shine L., Garty J. Responses of antioxidants in the lichen *Ramalina lacera* may serve as an early-warning bioindicator system for the detection of air pollution stress // FEMS Microbiology Ecology, 2006. V. 58. P. 41–53.

Андросова В.И., Теребова Е.Н., Быкова А.Д. Активность супероксиддисмутазы и каталазы в лишайниках с разным составом фотобионтов // Вест. Томского гос. университета. Биология, 2024. № 66. С. 173–192. DOI: 10.17223/19988591/66/9

Никерова К.М., Галибина Н.А., Мощенская Ю.Л., Бородин М.Н., Софронова И.Н. Определение активности супероксиддисмутазы и полифенолоксидазы в древесине *Betula pendula* var. *carelica* (Betulaceae) при разной степени нарушения ксилогенеза // Растительные ресурсы, 2019. Том 55, № 2. С. 213–230. DOI: 10.1134/S0033994619020134

Никерова К.М., Галибина Н.А., Мощенская Ю.Л., Новицкая Л.Л., Подгорная М.Н., Софронова И.Н. Каталазная активность в листовом аппарате у семян березы повислой разных форм (*Betula pendula* Roth): var. *pendula* и var. *carelica* (Mercklin) // Труды КарНЦ РАН. Сер. Экспериментальная биология, 2016. № 11. С. 68–77. DOI: 10.17076/eb460.

ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОГО СОСТАВА ЛИШАЙНИКОВ И БЛИЗКОРОДСТВЕННЫХ ГРИБОВ НА ЕЛИ (*PICEA* SP.) В РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ (СЕВЕРО-ЗАПАД РОССИИ)

Андросова В.И.¹, Беляева Т.А.¹

¹Петрозаводский государственный университет, vera.androsova28@yandex.ru,
talbeliaeva@yandex.ru

DIVERSITY OF LICHENS AND ALLIED FUNGI ON SPRUCE (*PICEA* SP.) IN PLANT COMMUNITIES OF ARKHANGELSK REGION (NORTH-WEST OF RUSSIA)

Androsova V.I.¹, Beliaeva T.A.¹

The aim of the study is analysis of the data from long-term studies of lichen species richness on spruce in the Arkhangelsk region (North-West of Russia). In total, 269 species of lichens and allied fungi were recorded on spruce in Arkhangelsk region in period from