

**Участие ферментативной и неферментативной антиоксидантных систем в стрессовом ответе лишайника *Peltigera canina* на действие повышенной температуры**

**Валитова Ю. Н.<sup>А\*</sup>, Хабибрахманова В. Р.<sup>А</sup>, Гурьянов О. П.<sup>А</sup>,  
Уваева В. Л.<sup>А</sup>, Хайруллина А. Ф.<sup>А</sup>, Рахматуллина Д. Ф.<sup>А</sup>,  
Галеева Е. И.<sup>А</sup>, Трифонова Т. В.<sup>А</sup>, Викторова Л. В.<sup>А</sup>,  
Минибаева Ф. В.<sup>А</sup>**

<sup>А</sup> Казанский институт биохимии и биофизики Федерального исследовательского центра Казанского научного центра РАН, г. Казань, Россия.

\*E-mail: yulavalitova@mail.ru

Растения-экстремофилы вызывают живой интерес исследователей уже в течение многих лет. К ним относятся и лишайники, представляющие собой симбиотические ассоциации между грибами (микобионтами) и водорослями и/или цианобактериями (фотобионтами). Температурный стресс является достаточно обычным явлением для лишайников, произрастающих в неблагоприятных условиях, причем в высушенном состоянии большинство лишайников чрезвычайно устойчивы к повышенной температуре, тогда как гидратированные талломы обладают значительно большей чувствительностью [1]. Пельтигеровые лишайники обитают в умеренном климате, и можно предположить, что они обладают повышенной чувствительностью к перепадам температур. К тому же, для них характерны высокие темпы роста и индексы метаболической активности. Одним из известных представителей пельтигеровых является эпигейный двухкомпонентный цианолишайник *Peltigera canina*, который был выбран в качестве объекта исследований.

Известно, что важной составляющей стрессового ответа живого организма на воздействие абиотических стрессовых факторов является увеличение образования активных форм кислорода (АФК) и развитие окислительного стресса, который сопровождается перекисным окислением липидов и повреждением клеточных мембран. В настоящей работе были изучены стресс-индуцированные изменения редокс-статуса лишайника *P. canina*, а также изменения его липидного состава при действии повышенной температуры.

Показано, что воздействие неблагоприятной температуры на гидратированные талломы лишайника приводило к увеличению содержания перекиси водорода, фенолоксидазной активности, а также повышению уровня перекисного окисления липидов, что является важной составляющей стрессового ответа лишайника. Для живых организмов характерны две принципиальные стратегии, которые обеспечивают защиту от окисли-

тельного повреждения, причем они действуют независимо или совместно [2]. Первая включает изменение молекулярного состава мембран, что влечет за собой изменение проницаемости и, соответственно, доступности клеточных компонентов для токсичных продуктов, вторая основана на активации систем, обеспечивающих химическую детоксикацию АФК и свободных органических радикалов. Стресс-индуцированное изменение редокс-статуса талломов лишайника стимулировало увеличение содержания антиоксидантных агентов липофильной природы: резко возростал уровень  $\alpha$ -токоферола, увеличивалось содержание каротиноидов, в частности  $\beta$ -каротина. Известно, что токоферолы тормозят перекисное окисление липидов, снижают проницаемость мембран, а также связывают свободные жирные кислоты, избыток которых дестабилизирует мембранную структуру [3]. Важным участником неферментативной антиоксидантной системы являются также каротиноиды, которые способны утилизировать свободные радикалы. Каротиноиды принимают участие в защите клеточных структур от фотодеструкции, а также могут взаимодействовать с органическими радикалами жирных кислот, действуя как ловушки [4]. Каротиноиды и токоферолы проявляют как синергизм в защите липидов от повреждающего действия свободных радикалов, так и отдельно токоферол может защищать каротиноиды от окисления, взаимодействуя с их радикалами [5].

Таким образом, при действии повышенной температуры на талломы лишайника *P. canina* наблюдается изменение редокс-статуса клеток талломов и развитие окислительного стресса, который приводит к активизации неферментативной антиоксидантной системы лишайника, в частности происходит увеличение содержания низкомолекулярных антиоксидантов липофильной природы, что является липид-опосредованным стрессовым ответом лишайника на действие повышенной температуры.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22- 14 - 00362.

### **Библиографические ссылки**

1. Stress physiology and the symbiosis / R.P. Beckett, I. Kranner, F.V. Minibayeva // Lichen biology / ed. T.H. Nash III. Cambridge: Cambridge University Press.- 2008.- P. 134–151.
2. Mechanisms of metal tolerance in plants: physiological adaptations for exclusion of metal ions from the cytoplasm / J.R. Gunning, G.J. Taylor // Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms / eds R.G. Alcher, J.R. Gunning. New York: Wiley-Liss.- 1990.- P. 329–356.
3. Vitamin E and its function in membranes / X. Wang, P.J. Quinn // Progress in Lipid Research.- 1999.- Vol. 38.- N 4.- P. 309–336.

4. Antioxidant effect of carotenoids *in vivo* and *in vitro*: an overview / P. Palozza, N.I. Krinsky // Methods in enzymology Carotenoids (Part A. Chemistry, separation, quantitation, and antioxidation) / ed. L. Packer. San Diego: Academic Press.- 1992.- Vol. 213.- P. 403–420.

5. Гомбоева, С.Б. Некоторые природные и синтетические антиоксиданты как стабилизаторы превращения  $\beta$ -каротина в витамин А/ С.Б. Гомбоева, Н.Н. Гесслер, К.Б. Шумаев, Т.И. Хомич, А.Г. Мойсеенок, В.Я. Быховский // Биохимия.- 1998.- Т. 63.- N 2.- С. 224–229.

### **Характеристика фотосинтетических реакций проростков *Hordeum vulgare* при совместном воздействии *Fusarium culmorum* и повышенной температуры**

**Вачинская А. В.<sup>А\*</sup>, Русакович А. А.<sup>А</sup>, Пшибытко Н. Л.<sup>А</sup>**

<sup>А</sup> Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь. \*E-mail: alina6805830@gmail.com

Одним из наиболее распространённых абиотических стрессовых факторов, с которым сталкиваются растения, является повышенная температура. Особую актуальность эта проблема приобретает в связи с глобальным потеплением климата. На сегодняшний день более 40% территорий умеренной климатической зоны Земли испытывают периодические воздействия повышенных температур, вызывающих стресс у растений [1]. Более того, ухудшение экологической ситуации на планете приводит к возникновению все большего количества стрессовых воздействий и их комбинаций. Грибы рода *Fusarium* Link относятся по способу питания к факультативным паразитам, которые способны поражать растения, начиная с момента прорастания зерновок и до конца их вегетации, вызывая как корневые гнили, так и фузариоз колоса. Для нашей республика показана их высокая вредоносность в посевах зерновых культур: пшеницы, ячменя, ржи [2]. Степень поражения болезнями варьирует в зависимости от погодных условий. Поэтому исследование совместного действия стрессовых факторов биотической и абиотической природы имеет как фундаментальное, так и практическое значение.

В представленной работе исследовано влияние повышенной температуры (40°C в течение 3 ч ежедневно на протяжении четырех суток), заражения *Fusarium culmorum* и их совместного действия на параметры флуоресценции хлорофилла в проростках *Hordeum vulgare* L. сорта «Гонар». Растения выращивались в стандартизированных условиях при температуре 24°C, освещении 120-140  $\mu\text{моль квантов м}^{-2} \text{с}^{-1}$ , фотопериоде день/ночь 16/8 ч, на обеднённой среде (водопроводная вода). На 7 день проростки инокулировались спорами гриба *Fusarium culmorum*. Раствор