

from *Medicago truncatula* root plasma membranes: a proteomic study reveals the presence of a raft-associated redox system // *Plant Physiol.* 2007. Vol. 144. P. 402–418.

8. Lindblom G., Oradd G., Filippov A. Lipid lateral diffusion in bilayers with phosphatidylcholine, sphingomyelin and cholesterol. An NMR study of dynamics and lateral phase separation // *Chem. Phys. Lipids.* 2006. Vol. 141, P. 179–184.

9. Mongrand S., Morel J., Laroche J., Claverol S., Carde J., Hartmann M., Bonneau M., Simon-Plast F., Lessire R., Bessoule J. Lipid rafts in higher plant cells // *Biol. Chem.* 2004. Vol. 279, № 35. P. 36277–36286.

10. Mongrand S., Stanislas T., Bayer E. M. F., Lherminier J., Simon-Plast F. Membrane rafts in plant cells // *Trends in Plant Science.* 2010. Vol. 15, № 12. P. 656–663.

11. Morel J., Claverol S., Mongrand S., Furt F., Fromentin J., Bessoule J., Blein J., Simon-Plast F. Proteomics of plant detergent-resistant membranes // *Mol Cell Proteomics.* 2006. Vol. 5, № 8. P. 1396–1411.

12. Ozolina N. V., Nesterkina I. S., Kolesnikova E. V., Salyaev R. K., Nurminsky V. N., Rakevich A. L., Martynovich E. F., Chernyshov M. Y. Tonoplast of *Beta vulgaris* L. contains detergent-resistant membrane microdomains. // *Planta.* 2013. Vol. 237, № 3. P. 859–71.

13. Simons K., Ikonen E. (1997) Functional rafts in cell membranes // *Nature.* 1997. Vol. 387. P. 569–571.

14. Zurzolo C., van Meer G., Mayor S. The order of rafts. Conference on microdomains, lipid rafts and caveolae // *EMBO Rep.* 2003. Vol. 4, № 12. P. 1117–1121.

RAFTS IN THE STRUCTURE OF BIOLOGICAL MEMBRANES

I. S. NESTERKINA, E. V. KOLESNIKOVA

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk

Summary. It is known that biological membranes are asymmetric in their structure. In the last decade the raft model of biological membrane structure has become the most popular. Rafts are specific regions of membrane. Its lipids have liquid ordered phase state, and they are more dense than the left part of the membrane, and therefore they drift freely in the surrounding membrane space. Mostly rafts in plants are studied in plasma membrane and Golgi apparatus. We first have proved the presence of rafts in the plant vacuolar membrane.

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДОВОГО ЗАКАЛИВАНИЯ НА УРОВЕНЬ УГЛЕВОДОВ И ПРОЛИНА В ПРОРОСТКАХ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ГИПЕРТЕРМИИ

В. В. ПАРХОМЕНКО, А. В. ОЩЕПКОВА

Пермский государственный национально-исследовательский университет

E-mail: 16vera_91@mail.ru

Явление закаливания растений известно довольно давно, однако до сих пор его молекулярно-биохимические механизмы остаются до конца не выясненными.

Лучше изучена физиология и биохимия теплового закаливания, тогда как метаболические особенности предварительной обработки пониженной температурой (холодовое закаливание) практически не исследованы. Известно, что физиологической основой закаливания являются неспецифические реакции, которые вызывают генетическое перепрограммирование на запуск адаптационных программ. Среди таких реакций особую роль отводят синтезу низкомолекулярных протекторов (НМП): пролин, полиамины, вещества фенольной природы, органические кислоты, моносахариды [3, 5].

Целью нашей работы было изучение влияния холодового закаливания на содержание пролина, глюкозы и крахмала в проростках пшеницы в процессе их адаптации (стадии стресс-реакции и специализированной адаптации) к последующей гипертермии.

Исследования проводили на недельных проростках пшеницы мягкой (сорт Иргина), которые выращивали в климатической камере ШН-М на вермикулите при температуре 22 °С, влажности 75–80 % и освещенности люминесцентными лампами 15 ч в сутки (1-й вариант – контроль). Затем часть проростков подвергали температурным воздействиям по следующей схеме: 2-й вариант – 8 °С (6 ч) (низкая закалывающая температура); 3-й вариант – 45 °С (4 ч) (повреждающая гипертермия); 4-й вариант – холодовое закаливание (8 °С, 6 ч) и сразу гипертермия (45 °С, 4 ч).

Для анализа брали растения через 12 ч (стадия стресс-реакции) и 72 ч (стадия адаптации) после окончания всех обработок.

Анализировали прирост проростков за 3 суток, первичную теплоустойчивость по методу Ф. Ф. Мацкова [4], количество глюкозы фотометрическим методом Вознесенского [1] количество крахмала – фотометрическим методом [1], содержание пролина – по методу L. S. Bates et al [6]. Повторность анализов – двух-трехкратная. Результаты обрабатывали статистически с использованием однофакторного дисперсионного анализа. Определяли достоверность различий между некоторыми вариантами по наименьшей существенной разнице (HCP_{05}).

Анализ полученных нами данных показал, что монодействие гипертермии практически полностью ингибировало рост надземной части проростков.

Предварительное холодовое закаливание уменьшило рост-ингибирующий эффект гипертермии. При этом первичная теплоустойчивость, о которой мы судили по степени разрушения хлорофилла при холодовом закаливании, повышалась до уровня контроля.

Следовательно, уже в начальный период холодового закаливания в растениях начинаются адаптивные преобразования, часть из которых носит неспецифический характер, что, очевидно, и вызывает дополнительное повышение устойчивости при последующем действии на растения высокой температуры.

Сложилось мнение, что свободный пролин при стрессе обладает полифункциональным биологическим эффектом осмопротектор, стабилизатор макромолекул и мембран, дополнительный источник энергии и азота, антиоксидант и др. [2].

Полученные нами результаты (рис. 1) показали достоверно повышенное содержание пролина во всех опытных вариантах на этапе стресс-реакции. На этапе адаптации количество пролина в 3-м и 4-м вариантах снизилось до уровня контроля.

Уровень глюкозы у всех опытных растений был пониженным по сравнению с контролем (рис. 2). Особенно существенно количество глюкозы уменьшалось на третий день после гипертермического воздействия, т. е. на стадии адаптации.

Анализ соотношения пулов крахмала и глюкозы показал осуществление гидролиза крахмала с образованием глюкозы на стадии адаптации. Можно предположить, что гидролиз крахмала в листьях осуществляется тогда, когда потребности в энергии выше, чем может дать фотосинтез.

На основании полученных нами результатов и данных литературы можно считать, что в развитии теплоустойчивости растений после предварительной холодной обработки активно функционирует многокомпонентная протекторная система, включающая регуляцию пула глюкозы, пролина и других низкомолекулярных соединений. Синтез нескольких НМП имеет важное преимущество, поскольку эти соединения выполняют как общую протекторную функцию, так и высоко специализированную физиологическую роль при адаптации растений к стрессорам различной природы. Это создает возможность их функциональной взаимозаменяемости.

На основании полученных результатов можно сделать следующие основные выводы:

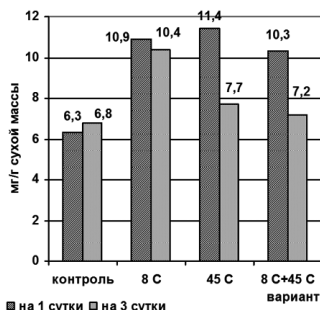


Рис. 1. Изменение содержания пролина в проростках пшеницы при закаливании и гипертермии

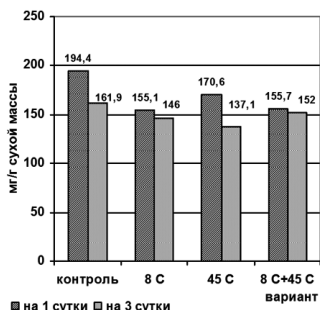


Рис. 2. Изменение количества глюкозы в проростках пшеницы при закаливании и гипертермии

1. Холодовое закаливание (8 °C, 6 ч) проростков пшеницы повышает их теплоустойчивость, что выражается в снижении рост-ингибирующего эффекта и уменьшении степени деструкции хлорофилла при последующей гипертермии (45 °C, 3ч).
2. Установлен различный вклад изучаемых НМП в механизм холодового закаливания. Так, на стадии стресс-реакции основную протекторную роль выполняет пролин, а на стадии специализированной адаптации – глюкоза.

Функциональная взаимозаменяемость глюкозы и пролина является эффективным механизмом физиологической адаптации к гипертермии.

Литература

1. Большой практикум «Биохимия»: лабораторные работы / сост. М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2012. С. 26–35.
2. Кузнецов В. В., Шевякова Н. И. Проллин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция // Физиология растений. 1999. Т. 46, № 2. С. 321–336.
3. Титов А. В., Таланова В. В. Устойчивость растений и фитогормоны. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2009. 206 с.
4. Физиология устойчивости растений к экстремальным факторам: мет. указ. к лабораторным работам / сост. Л. А. Чудинова, Л. А. Филатова. Пермь, 1991. С. 12–13.
5. Чиркова Т. В. Физиологические основы устойчивости растений: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. С. 58–68.
6. Bates L. S., Waidren R. P., Tear J. D. Rapid determination of free proline for water stress studies // Plant and Soil. 1973. Vol. 39, № 1. P. 205.

EFFECT OF COLD HARDENING ON THE LEVEL OF CARBOHEDRATES AND PROLINE IN WHEAT SEEDLINGS DURING SUBSEQUENT HYPERTHERMIA

V. V. PARHOMENKO, A. V. OSHCHERKOVA
Perm State University, Perm

Summary. Presents the results of the impact on wheat term low hardening (4 °C) and high damaging temperature (45 °C). Established the formation of cross-adaptation sequential action of hypo- and hyperthermia. The observed decrease in the glucose level particularly during the adaptation hyperthermia, which to some extent offset by the intensive accumulation of proline.

ДЕЙСТВИЕ ИОНОВ КАДМИЯ В ГРАДИЕНТЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РОГОЛИСТНИКА

К. А. ПОМОРЦЕВА

Уральский федеральный университет, Екатеринбург
E-mail: pomor-a.ksieniiia@list.ru

В современных условиях все более значимыми становятся исследования по выяснению изменений в растениях в ответ на повышенные концентрации тяжелых металлов (ТМ), поступающих в окружающую среду в результате хозяйственной деятельности человека. Ведь ТМ представляют серьезную угрозу для биоты вследствие их токсичности для организмов и постепенного накопления до опасного уровня. Попадая в водные объекты, они резко ухудшают их экологическое состояние.

В связи с этим целью данной работы было оценить влияние ионов кадмия в градиенте концентрации на физиолого-биохимические показатели высшего водного растения.

Объект исследования – роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.). Эксперимент проводили в лабораторных условиях. Растения помещали в дистиллированную воду с добавлением сульфата кадмия в градиенте концентрации (0,1; 1,0; 10 мг/л Cd^{2+}). Контролем служили растения, инкубированные в дистиллированной воде без внесения токсиканта.

Усредненную пробу листьев отбирали не менее чем с 7–10 растениями. Определяли интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ), активность гваякол-пероксидазы, содержание фотосинтетических пигментов и растворимого белка через одни и трие суток инкубации.

О степени повреждения биологических мембран судили по количеству продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-РП) [3]. Активность гваякол-пероксидазы оценивали по скорости полимеризации гваякола до тетрагваякола [2]. Содержание хлорофиллов и каротиноидов определяли спектрофотометрически, экстрагируя пигменты из листьев 80 % ацетоном [1]. Каждое измерение осуществлено в трехкратной аналитической повторяемости.

Как известно, при стрессовых условиях начинает образовываться большее количество активных форм кислорода (АФК), чем в норме. Это влечет за собой повреждение мембран и нарушения в работе фотосинтетического аппарата.