

УДК 581.1.036.2

## **СОДЕРЖАНИЕ ПЕРОКСИДОВ В КОРНЯХ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПРИ ГИПЕРТЕРМИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАЛЬЦИЕВОГО СТАТУСА ИХ КЛЕТОК**

© 2008 г. Ю. В. Карпец<sup>1,2</sup>, Ю. Е. Колупаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева  
(Харьков, Украина)*

<sup>2</sup>*Украинский научно-исследовательский институт  
лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.М. Высоцкого  
(Харьков, Украина)*

Изучали влияние кратковременного теплового закаливания сублетальной температурой (42°C, 10 мин) и обработки хлоридом кальция на содержание пероксидов в корнях проростков пшеницы и их теплоустойчивость. Закаливание и обработка раствором соли кальция вызывали временное усиление образования пероксидов (в основном H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) в корнях. Этот эффект устранялся блокатором кальциевых каналов хлоридом лантана. Предполагается, что увеличению содержания активных форм кислорода (АФК), происходившему сразу после действия закаливающей температуры, предшествовало поступление кальция в цитозоль через кальциевые каналы. Воздействие экзогенного кальция и теплового закаливания увеличивало выживание проростков после повреждающего нагрева. Обсуждаются взаимоотношения между ионами кальция и АФК как внутриклеточными мессенджерами при формировании теплоустойчивости растений.

**Ключевые слова:** *Triticum aestivum L.*, кальций, активные формы кислорода, пероксиды, закаливание, теплоустойчивость

Кальций, как универсальный внутриклеточный мессенджер, задействован в разнообразных функциях растительных клеток, в т.ч. в реакциях на действие стрессоров. Имеются многочисленные сведения о повышении устойчивости растений к низким [21], высоким температурам [11, 15], засухе [28] и другим неблагоприятным факторам [18] под действием экзогенных ионов кальция.

Установлена тесная связь между ионами кальция и активными формами кислорода (АФК) как интермедиатами сигнальных систем [10]. Так, показано, что усиление притока кальция в цитозоль может индуцироваться АФК [29], в т.ч. экзогенным пероксидом водорода [25]. С другой стороны, установлено, что экзогенный кальций может усиливать генерацию АФК (супероксидного радикала и пероксида

водорода) растительными клетками [19]. Таким образом, между образованием АФК и изменениями кальциевого статуса клеток могут быть как прямые, так и обратные связи: в одних случаях Ca<sup>2+</sup> индуцирует образование АФК, в других – АФК вызывают выход кальция в цитозоль [4].

Эффект теплового закаливания растений кратковременным воздействием повреждающих температур сопровождается обратимым повышением содержания пероксидов в тканях. При этом угнетение такой «окислительной вспышки» антиоксидантом нивелирует и повышение теплоустойчивости растений [3]. В то же время в литературе имеются сведения, что уже через 1 мин после воздействия на растения пшеницы теплового шока (температуры 37°C) регистрировалось увеличение внутриклеточной концентрации свободных ионов кальция [22]. На примере проростков табака показано, что содержание цитозольного кальция увеличивалось при световых и температурных воздейст-

---

*Адрес для корреспонденции:* Карпец Юрий Викторович, Харьковский национальный агроуниверситет, п/о «Коммунист-1», Харьков, 62483, Украина;  
e-mail: [plant\\_biology@mail.ru](mailto:plant_biology@mail.ru)

виях за 0,3-60 с, при этом максимальный лаг-период составлял всего 60 с [30]. В этих работах, однако, не исследовалось содержание АФК в растительных клетках.

Учитывая связь между кальцием и АФК как сигнальными мессенджерами, можно полагать, что индуцируемое кратковременным закаливанием усиление образования АФК и процесс формирования теплоустойчивости зависят от кальциевого статуса растительных клеток. Проверка этого предположения и явилась целью работы, в которой исследовали раздельное и сочетанное влияние закаливания, блокатора кальциевых каналов и экзогенного кальция на динамику содержания пероксидов в корнях и теплоустойчивость проростков пшеницы.

## МЕТОДИКА

Объектом исследования служили этиолированные проростки озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Донецкая 48. Семена проращивали при температуре  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  в течение 4 сут. Кратковременное закаливание осуществляли путем одноминутного прогрева проростков в ванне ультратермостата при  $42,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ . Через 24 ч после закаливания проводили тестирующее нагревание в водном термостате в течение 10 мин при температуре  $45,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ . Как было установлено в предварительных опытах, максимальная теплоустойчивость проростков развивались именно через 24 ч после закаливания [2].

В качестве блокатора кальциевых каналов использовали ионы лантана в форме  $\text{LaCl}_3$  [15]. Известно, что ионы лантана блокируют преимущественно кальциевые каналы плазмалеммы [13]. Экзогенный кальций вводили в виде  $\text{CaCl}_2$ . Концентрации этих солей, модифицирующие теплоустойчивость проростков пшеницы, установлены нами ранее [2]. Обработку проростков хлоридами лантана и/или кальция начинали за 22-24 ч до закаливания, выдерживая корневую систему в соответствующих растворах. В варианте с сочетанным действием ионов кальция и блокатора кальциевых каналов обработку проростков последним начинали за 2 ч до добавления в среду хлорида кальция. После закаливания до тестирующего нагревания растительный материал опытных вариантов также выдерживали на растворах исследуемых соединений. Контрольные проростки инкубировали на дистиллированной воде.

Содержание пероксидов (основная форма – пероксид водорода) в корнях проростков оп-

ределяли по методу Sagisaka [27]. Анализы проводили через 0,25, 1 и 24 ч после закаливания, а также через 1 и 24 ч после тестирующего (повреждающего) нагрева.

Выживание проростков определяли через 4 сут после повреждающего нагрева. В каждом варианте оценивали не менее 30 проростков.

Повторность независимых опытов четырехкратная. В таблице и на рисунке приведены средние значения и их стандартные отклонения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Содержание пероксидов в корнях проростков контрольного варианта в течение периода наблюдений существенно не изменялось, лишь через 72 ч от начала эксперимента имело место незначительное увеличение их количества в корнях (таблица), что может быть связано с флуктуациями содержания пероксидов в процессе развития проростков [6].

Через 0,25 ч после действия закаливающей температуры  $42^\circ\text{C}$  наблюдалось повышение содержания пероксидов в корнях, однако уже через 1 ч после закаливания этот показатель мало отличался от соответствующей величины в контрольном варианте. Через 24 и 48 ч после закаливания содержание пероксидов также практически не отличалось от контроля.

24 часовая обработка корней проростков хлоридом кальция вызывала повышение количества пероксидов в них (таблица). Через 48 ч от начала воздействия  $\text{CaCl}_2$  содержание АФК в корнях несколько уменьшалось. Через 24 ч после прекращения обработки хлоридом кальция (72 ч от начала эксперимента) количество пероксидов в корнях не отличалось от данного показателя в контрольном варианте.

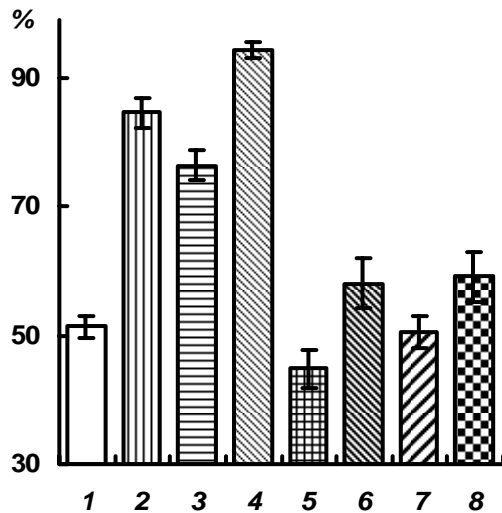
В корнях проростков, предварительно обработанных хлоридом кальция, через 0,25 – 1 ч после закаливания происходило снижение содержания пероксидов.

Обработка проростков раствором блокатора кальциевых каналов  $\text{LaCl}_3$  сама по себе несколько уменьшала содержание пероксидов в них и полностью снимала вызываемое кальцием увеличение количества этой АФК. Кроме того, воздействие лантана подавляло эффект повышения содержания пероксидов в корнях через 0,25 ч после закаливания. В варианте с сочетанным действием закаливания, ионов кальция и лантана также отмечались пониженные значения содержания пероксидов. Через 48 ч

## СОДЕРЖАНИЕ ПЕРОКСИДОВ

Содержание пероксидов (мкмоль  $H_2O_2$ /г сухого вещества) в корнях проростков пшеницы

Вариант опыта	Время от начала эксперимента, ч									
	24,00	24,25	25,00	48,00	49,00	72,00	72,00	72,00		
	До закаливания	Время после закаливания, ч		Время после повреждения, ч			Через 48 ч после закаливания или 70 ч от начала обработки $CaCl_2$ и/или $LaCl_3$			
	0,25	1	24	1	1	24	1	24	24	
Контроль	2,71±0,14	—	2,73±0,17	2,59±0,12	2,43±0,16	3,51±0,13	2,82±0,14			
Закаливание	—	3,26±0,15	2,70±0,14	2,56±0,13	2,28±0,17	2,21±0,11	2,76±0,14			
$CaCl_2$	3,24±0,12	—	3,17±0,15	2,77±0,11	2,40±0,14	2,67±0,14	2,84±0,12			
Закаливание+ $CaCl_2$	—	2,68±0,17	2,25±0,13	2,49±0,15	2,53±0,17	2,59±0,10	2,80±0,10			
$LaCl_3$	2,44±0,15	—	2,44±0,19	2,43±0,14	2,54±0,19	2,84±0,12	2,78±0,18			
Закаливание+ $LaCl_3$	—	2,41±0,16	2,57±0,18	2,42±0,17	2,56±0,17	2,90±0,16	2,86±0,13			
$CaCl_2$ + $LaCl_3$	2,39±0,13	—	2,49±0,16	1,98±0,21	2,64±0,20	3,07±0,14	2,71±0,15			
Закаливание+ $CaCl_2$ + $LaCl_3$	—	2,57±0,14	2,42±0,12	1,95±0,16	2,85±0,15	3,06±0,17	2,69±0,11			



### Выживание проростков пшеницы после повреждающего нагрева (45°C, 10 мин).

1 – контроль, 2 – закаливание, 3 – CaCl<sub>2</sub> (50 мМ), 4 – закаливание + CaCl<sub>2</sub>, 5 – LaCl<sub>3</sub> (4 мМ), 6 – закаливание + LaCl<sub>3</sub>, 7 – CaCl<sub>2</sub> + LaCl<sub>3</sub>, 8 – закаливание + CaCl<sub>2</sub> + LaCl<sub>3</sub>.

после начала эксперимента наиболее низкие значения содержания АФК наблюдались в вариантах с сочетанием воздействия кальция и лантана.

После действия повреждающего нагрева содержание пероксидов в разных вариантах опыта отличалось. Так, в корнях контрольных проростков через 24 ч после нагрева при 45°C (72 ч от начала эксперимента) происходило увеличение содержания пероксидов. В корнях закаленных проростков, наоборот, отмечалось некоторое снижение содержания исследуемых АФК. Сравнительно низкие значения содержания пероксидов на этой фазе опыта были и в вариантах с кальцием и сочетанным воздействием соли кальция и закаливания. С другой стороны, во всех вариантах с воздействием хлорида лантана отмечалось более высокое содержание пероксидов, хотя его значения были несколько ниже по сравнению с контрольным вариантом.

Закаливание и обработка проростков пшеницы хлоридом кальция вызвали увеличение их выживания после повреждающего нагрева (рисунок). При этом эффект закаливания был более существенным по сравнению с воздействием хлорида кальция. Сочетание обработки проростков солью кальция с закаливанием приводило к дополнительному увеличению их теплоустойчивости по сравнению с влиянием Ca<sup>2+</sup> или закаливания в отдельности.

Хлорид лантана сам по себе мало влиял на теплоустойчивость проростков. При этом, однако, положительные эффекты закаливания и комбинированного воздействия закаливания и ионов кальция в значительной степени нивелировались блокатором кальциевых каналов хлоридом лантана. Эффект повышения теплоустойчивости, вызываемый хлоридом кальция, полностью нивелировался ионами лантана (см. рисунок).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Зарегистрированные эффекты увеличения содержания пероксидов в корнях проростков пшеницы под влиянием закаливания и хлорида кальция в целом согласуются с полученными нами результатами в экспериментах с несколькими иными режимами обработки проростков либо изолированных coleoptiles пшеницы [5, 6]. Повышение содержания пероксида водорода в корнях проростков под влиянием ионов кальция может быть связано с его воздействием на НАДФН-оксидазу [26], которая имеет два кальцийсвязывающих сайта [17]. Другой мишенью кальция может быть пероксидаза [8]. Ранее нами показано повышение активности ионносвязанной пероксидазы клеточных стенок coleoptiles пшеницы [5]. Именно эта форма пероксидазы в значительной степени может быть причастна к генерации супероксидного радикала и пероксида водорода [9].

Кратковременное усиление генерации пероксида водорода и, вероятно, других АФК под влиянием закаливающей температуры может быть связано с различными причинами: с инактивацией антиоксидантных ферментов [23], с прямой температурной модификацией АФК-генерирующих ферментов и, наконец, с активацией определенных ферментных систем (пероксидаза, НАДФН-оксидаза) ионами кальция вследствие открытия кальциевых каналов [24]. Увеличение содержания пероксидов в корнях проростков после закаливания сублетальной температурой в наших экспериментах было кратковременным (см. таблицу). В связи с этим предположение о температурной инактивации антиоксидантных ферментов представляется маловероятным. Имеются сведения об увеличении активности одного из основных генераторов АФК – НАДФН-оксидазы – при гипертермии [12]. Однако, насколько нам известно, пока отсутствуют доказательства прямой модификации активности этого фермента у растений закаливающими температурами. В связи с этим наиболее вероятным путем увеличения

## СОДЕРЖАНИЕ ПЕРОКСИДОВ

содержания пероксидов в тканях под влиянием закаливания представляется кальцийзависимая активация ферментов, участвующих в генерации АФК. В пользу такого предположения свидетельствует практически полное снятие блокатором кальциевых каналов лантаном индуцируемого закаливанием увеличения содержания пероксидов в корнях. Проявление эффекта «окислительного стресса», вызываемого экзогенным кальцием, в наших экспериментах также снималось хлоридом лантана.

Примечательно, что в корнях проростков, предварительно обработанных ионами кальция, не происходило увеличения содержания пероксидов под влиянием закаливающей температуры, более того, через 0,25-1 ч после воздействия температуры 42°C имело место снижение их содержания. Возможно, обработка кальцием вызывала своеобразный эффект «преадаптации», вследствие чего происходила активация антиоксидантных ферментов сразу после воздействия высокой температуры [5], что, в свою очередь, могло обуславливать снижение содержания АФК в корнях.

Не совсем обычный эффект зарегистрирован в вариантах с сочетанным действием кальция и блокатора кальциевых каналов хлорида лантана. Через 48 ч от начала эксперимента в корнях проростков этих вариантов отмечались наиболее низкие значения содержания пероксидов. Не исключено, что подобные эффекты могут быть связаны с нарушением специфичности действия хлорида лантана как блокатора кальциевых каналов и развитием адаптации к нему в длительном эксперименте [20]. Возможно, что такие эффекты могут модифицироваться при наличии «внешнего» кальция, способного влиять по крайней мере на ферменты, связанные с клеточными стенками и плазматической мембраной. Кроме того, имеются сведения, что в определенных условиях лантан может активировать антиоксидантные ферменты [7, 16]. Тем не менее, объяснить конкретные причины снижения содержания пероксидов в корнях при длительном сочетанном действии кальция и лантана без специальных экспериментов вряд ли возможно.

После воздействия повреждающей температуры наиболее низкие значения содержания пероксидов в корнях отмечались в вариантах с закаливанием, обработкой кальцием и сочетанным воздействием кальция и закаливания. Можно полагать, что повышение количества пероксидов на этой стадии эксперимента отражает не адаптивные реакции, а является прояв-

лением окислительных повреждений. В закаленных и обработанных кальцием проростках, как показывали эксперименты, проведенные ранее, после действия повреждающей температуры отмечалась более высокая активность антиоксидантных ферментов [6], что и могло быть причиной меньшего содержания  $H_2O_2$ . Примечательно, что в вариантах с лантаном содержание пероксидов в корнях через 24 ч после воздействия повреждающей температуры было довольно высоким. По-видимому, нивелируя увеличение содержания АФК на стадии адаптации (при закаливании или действии экзогенного кальция), лантан препятствовал и развитию адаптивных реакций растительных клеток, направленных на регуляцию содержания АФК при действии повреждающей температуры.

Таким образом, генерация пероксидов в клетках корней пшеницы в значительной степени зависит от их кальциевого статуса. Кратковременное усиление образования АФК, происходившее под влиянием закаливающей температуры, устранялось блокатором кальциевых каналов. Можно полагать, что увеличению содержания АФК, происходившему сразу после действия закаливающей температуры, предшествовало поступление кальция в цитозоль извне преимущественно через кальциевые каналы плазматической мембраны, поскольку эффект повышения содержания пероксидов нивелировался  $LaCl_3$  блокирующим кальциевые каналы плазмалеммы. О значении кальция в генерации АФК корнями пшеницы свидетельствует и увеличение содержания пероксидов под влиянием экзогенного кальция. С другой стороны, закаливание проростков после предварительной обработки ионами кальция не приводило к увеличению содержания пероксидов в их корнях. Такое явление может быть связано с вызываемой кальцием более ранней активацией антиоксидантных ферментов (возможно еще на стадии предобработки хлоридом кальция или в момент воздействия закаливающей температуры).

Об активации под влиянием закаливания и экзогенного кальция защитных систем, направленных на повышение теплоустойчивости, свидетельствуют и результаты оценки выживания проростков после повреждающего нагрева. Высоким этот показатель был у закаленных проростков и обработанных кальцием, совместное действие кальция и закаливания приводило к усилению эффекта (см. рисунок). Возможно, дополнительное повышение теплоустойчивости проростков при сочетании действия ионов кальция и закаливания связано как со

способностью кальция стабилизировать белки и биомембраны [1, 14], так и с индуцированием с его помощью систем передачи стрессовых сигналов и, как следствие, более эффективным запуском механизмов устойчивости, в том числе антиоксидантной системы [5].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.Я. Реактивность клеток и белки. – Л.: Наука, 1985. – 318 с.
2. Карпец Ю.В. О возможных механизмах индуцирования теплоустойчивости проростков пшеницы мягкой и сосны обыкновенной кратковременным действием высокой температуры // Вісн. Харків. націон. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2007. – Вип. 3 (12). – С. 63-70.
3. Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Є. Значення окиснювального стресу в індукованні теплостійкості проростків пшениці короткочасною дією сублетальної температури // Физиология и биохимия культ. растений. – 2008. – Т. 40, № 3. – С. 245-252.
4. Колупаев Ю.Е. Кальций и стрессовые реакции растений // Вісн. Харків. націон. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2007. – Вип. 1 (10). – С. 24-41.
5. Колупаев Ю.Е., Акинина Г.Е., Мокроусов А.В. Индукция теплоустойчивости coleoptiles пшеницы ионами кальция и ее связь с окислительным стрессом // Физиология растений – 2005. – Т. 52, № 2. – С. 227-232.
6. Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Супрессия антиоксидантом инололом повышения теплоустойчивости проростков пшеницы, индуцируемого ионами кальция // Вісн. Харків. націон. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2006. – Вип. 2 (9). – С. 21-30.
7. Ши П., Чен Г.С., Хуан Чж.В. Влияние  $La^{3+}$  на активность ферментов, инактивирующих активные формы кислорода в листьях проростков огурца // Физиология растений. – 2005. – Т. 52, № 3. – С. 338-342.
8. Bakarjieva N., Stefanov B., Cristova N. Effect of calcium ions and 4-PU-30 cytokinin on the protein quantity and the activities of peroxidase, superoxide dismutase and catalase in etiolated maize coleoptiles // Докл. Бълг. АН – 2001. – V. 54, № 4. – P. 85-88.
9. Bolwell G.P., Davies D.R., Gerrish C. et al. Comparative biochemistry of the oxidative burst produced by rose and French bean cell reveals two distinct mechanisms // Plant Physiol. – 1998. – V. 116. – P. 1379-1385.
10. Bowler C., Fluhr R. The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-tolerance // Trends Plant Sci. – 2000. – V. 5, № 6. – P. 241-246.
11. Chen G.-L., Jia K.-Z., Han L.-H, Ren L.-Y. Effects of calcium and calmodulin antagonist on antioxidant systems of eggplant seedlings under high temperature stress // Agr. Sci. China. – 2004. – V. 3, № 2. – P. 101-107.
12. Dat J., Vandenabeele S., Vranova E. et al. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses // Cell. Mol. Life Sci. – 2000. – V. 57. – P. 779-795.
13. Gao H.-B., Guo S.-R., Liu Y.-H. et al. Influence of  $Ca^{2+}$ ,  $La^{3+}$  and EGTA on the metabolism of reactive oxygen species in melon plantlets under the hypoxia stress // Nanjing nongye daxue xuebao. – 2005. – V. 28, № 2. – P. 17-21.
14. Gomes-Lepe B. E., Lee-Stadelmann O. K. J., Polta J. P., Stadelmann E. S. Effect of octyleguanidine on cell permeability and of her protoplasmic properties of *Allium cepa* epidermal cells // Plant Physiol. – 1979. – V. 64, № 1. – P. 136-138.
15. Gong M., Li Yong-J., Dai X. et al. Involvement of calcium and calmodulin in the acquisition of heat-shock induced thermotolerance in Maize seedlings // J. Plant Physiol. – 1997. – V. 150, № 5. – P. 615-621.
16. Huang X., Zhou Q. Alleviation effect of lanthanum on cadmium stress in seedling hydroponic culture of kidney bean and corn // J. Rare Earths. – 2006. – V. 24, № 2. – P. 248-252.
17. Keller T., Damude H.G., Verner D. et al. A plant homologue of the neutropil NADPH oxidase gp91 phox subunit gene encodes a plasma membrane protein with  $Ca^{++}$  binding motifs // Plant Cell. – 1998. – V. 10, № 2. – P. 255-266.
18. Knight H., Wright A.J., Knight M.R. The role of calcium in the transduction of environmental signals in plants // J. Exp. Bot. – 1996. – V. 47. – P. 13.
19. Kolupaev Yu., Kosakivska I. The importance of reactive oxygen species in the induction of plant resistance to the heat and salt stresses // Conf. “Responses of plants to environmental stresses”. 12-18 May 2008 (Elena, Bulgaria). – Elena, 2008. – P. 43.
20. Lewis B. D., Spalding E. P. Lanthanum nonselectively blocks a variety of ion channels in Arabidopsis // Plant Physiol. – 1997. – V. 114. – P. 274-275.
21. Lin S., Zhang Z. Effects of cold acclimation and  $CaCl_2$  on total soluble protein, CaM and freezing resistance of *Populus tomentosa* seedlings // Forest. Stud. China. – 2002. – V. 4, № 1. – P. 5-12.
22. Liu H.-Tao, Li B., Shang Z.-L., Li X.-Z. et al. Calmodulin is involved in heat shock signal transduction in wheat // Plant Physiol. – 2003. – V. 132, № 3. – P. 1186-1195.

## СОДЕРЖАНИЕ ПЕРОКСИДОВ

23. Lopez-Delgado H., Dat J.F., Foyer C.H., Scott I.M. Induction of thermotolerance in potato microplants by acetylsalicylic acid and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> // J. Exp. Bot. – 1998. – V. 49. – P. 713-720.
24. Mori I. C., Schroeder J.S. Reactive oxygen species activation of plant Ca<sup>2+</sup> channels. A signaling mechanism in polar growth, hormone transduction, stress signaling, and hypothetically mechanotransduction // Plant Physiol. – 2004. – V. 135. – P. 702-708.
25. Rentel M. C., Knight M. R. Oxidative stress-induced calcium signaling in Arabidopsis // Plant Physiol. – 2004. – V. 135. – P. 1471-1479.
26. Sagi M., Fluhr R. Production of reactive oxygen species by plant NADPH oxidases // Plant Physiol. – 2006. – V. 141. – P. 336-340.
27. Sagisaka S. The occurrence of peroxide in a perennial plant, *Populus gelrica* // Plant Physiol. – 1976. – V. 57. – P. 308-309.
28. Sulochana Ch., Savithramma N. Influence of calcium in amelioration of water stress through calmodulin, Ca<sup>2+</sup> and peroxidase activity during seedling growth of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars // Plant Arch. – 2002. – V. 2, № 2. – P. 309-315.
29. Tomonori K. Reactive oxygen species-dependent induction of calcium influx in plant defence mechanism // Plant Cell Physiol. – 2005. – V. 46. – P. 23.
30. Trewavas A. Le calcium, C'est la vie: Calcium makes waves // Plant Physiol. – 1999. – V. 120, № 1. – P. 1-6.

Поступила в редакцию  
03.10.2008 г.

## PEROXIDES CONTENT IN ROOTS OF WHEAT PLANTLETS AT THE HYPERTHERMIA DEPENDING ON THE CALCIUM STATUS OF THEIR CELLS

Yu. V. Karpets<sup>1,2</sup>, Yu. Ye. Kolupaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*V.V. Dokuchayev Kharkiv national agrarian university  
(Kharkiv, Ukraine)*

<sup>2</sup>*G.M. Vysotsky Ukrainian research institute of forestry and forest meliorations  
(Kharkiv, Ukraine)*

The influence of short-term heat hardening by sublethal temperature (42°C, 10 min) and treatment by calcium chloride on the peroxides content in roots of wheat plantlets and their heat resistance have been studied. Hardening and treatment by calcium salt solution caused temporary intensifying of peroxides formation (basically H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) in roots. The calcium channels blocker lanthanum chloride was removed this effect. It is supposed, that the influx of calcium in cytosol through the calcium channels took place before the increase of reactive oxygen species (ROS) content, occurred right after the influence of hardening temperature. The influence of exogenous calcium and heat hardening increased the survival of plantlets after the damaging heating. The interrelations between calcium ions and ROS as endocellular messengers at the formation of plants heat resistance are discussed.

**Key words:** *Triticum aestivum* L., calcium, reactive oxygen species, peroxides, hardening, heat resistance

## ВМІСТ ПЕРОКСИДІВ В КОРЕНЯХ ПРОРОСТКІВ ПШЕНИЦІ ПРИ ГІПЕРТЕРМІІ ЗАЛЕЖНО ВІД КАЛЬЦІЄВОГО СТАТУСУ КЛІТИН

Ю. В. Карпець<sup>1,2</sup>, Ю. Є. Колупаєв<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Харківський національний аграрний університет ім. В.В.Докучаєва  
(Харків, Україна)*

<sup>2</sup>*Український науково-дослідний інститут лісового господарства  
і агролісомеліорації ім. Г.М.Висоцького  
(Харків, Україна)*

Вивчали вплив короткочасного теплового загартування сублетальною температурою (42°C, 10 хв) та обробки хлоридом кальцію на вміст пероксидів у коренях проростків пшениці та їх теплостійкість. Загартування і обробка розчином солі кальцію спричиняли тимчасове поси-

## **КАРПЕЦ, КОЛУПАЕВ**

лення утворення пероксидів (переважно  $H_2O_2$ ) в коренях. Цей ефект усувався блокаторм кальцієвих каналів хлоридом лантану. Висловлено припущення, що збільшенню вмісту активних форм кисню (АФК), яке відбувалося одразу після дії загартовуючої температури, передувало надходження кальцію в цитозоль через кальцієві канали. Під впливом екзогенного кальцію і теплового загартування збільшувалося виживання проростків після ушкоджувального нагрівання. Обговорюються зв'язки між іонами кальцію і АФК як внутрішньоклітинними месенджерами при формуванні теплостійкості рослин.

**Ключові слова:** *Triticum aestivum L.*, кальцій, активні форми кисню, пероксиди, загартування, теплостійкість