

УДК 581.1

ЭКЗОГЕННЫЙ ПРОЛИН УГНЕТАЕТ ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ, ВЫЗЫВАЕМОЕ ЗАКАЛИВАЮЩИМ ПРОГРЕВОМ

**© 2014 г. А. А. Вайнер, Ю. Е. Колупаев,
Т. О. Ястреб, А. И. Обозный**

*Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева
(Харьков, Украина)*

Исследовали влияние кратковременного прогрева, индуцирующего теплоустойчивость проростков пшеницы, и их обработки растворами пролина и валина на активность антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы (СОД), аскорбатпероксидазы и гваяколпероксидазы. Обработка проростков пролином нивелировала индуцированное закаливанием повышение активности СОД, аскорбатпероксидазы и гваяколпероксидазы. Валин подобного эффекта не проявлял. Сделано заключение, что пролин, проявляя антиоксидантные свойства, может препятствовать индуцированию антиоксидантных ферментов закаливающим прогревом.

Ключевые слова: *Triticum aestivum L.*, пролин, активные формы кислорода, антиоксидантные ферменты, тепловое закаливание

Иминокислота пролин относится к стрессовым метаболитам растений и полифункциональным протекторам (Szabados, Savoure, 2009). Помимо хорошо известной осморегуляторной функции, он обладает свойствами протектора макромолекул и биомембран (Rajendrakumar et al., 1994; Колупаев, Карпец, 2010). Полагают, что пролин стабилизирует гидратационную оболочку белков. При этом он сочетает в себе определенный баланс гидрофильности и гидрофобности и может связываться с поверхностными гидрофобными остатками белков (Samuel et al., 1997). В последнее время пролин рассматривается как молекулярный шаперон, защищающий структуру белковых молекул (Szabados, Savoure, 2009).

Также пролин обладает свойствами антиоксиданта. Показано, что экзогенный пролин уменьшал содержание продуктов перексидного окисления липидов (ПОЛ) в культуре клеток табака в условиях солевого стресса (Sairam, Srivastava, 2000). Антиоксидантное действие пролина, вероятно, связано с его способностью защищать белки и белково-липидные комплексы

сы мембран путем инактивации гидроксильных радикалов и других активных форм кислорода (АФК) (Saradhi et al., 1995). Косвенным свидетельством антиоксидантной роли пролина является усиление его накопления в растениях под действием потенциальных агентов окислительного стресса – ультрафиолета В (Hofmann et al., 2003), ионов кадмия и параквата (Chaneva et al., 2006). У трансгенных водорослей *Chlamydomonas reinhardtii* с высокой активностью Δ^1 -пирролин-5-карбоксилатсинтазы и гипераккумуляцией пролина наблюдался пониженный уровень свободных радикалов (Siripornadulsil et al., 2002). С другой стороны, у мутантов арабидопсиса *p5cs1* отмечалось пониженное содержание пролина и более сильные окислительные повреждения при солевом стрессе по сравнению с растениями дикого типа (Szekely et al., 2008).

На растениях шалфея показано, что обработка продуцентом супероксидного радикала паракватом вызывала транзиторное повышение содержания пролина в листьях (Радюкина и др., 2008). Внесение экзогенного пролина в среду обитания корней на фоне действия параквата нивелировало его повреждающий эффект в листьях. В присутствии параквата экзогенный пролин уменьшал образование пероксида водорода и продукта ПОЛ малонового диальдегида

Адрес для корреспонденции: Вайнер Андрей Александрович, Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева, п/о «Коммунист-1», Харьков, 62483, Украина;
e-mail: plant_biology@mail.ru

в корнях. Кроме того, пролин снижал стресс-зависимую индукцию антиоксидантных ферментов СОД и пероксидазы, что позволяет рассматривать его в качестве одного из антиоксидантов и, соответственно, регуляторов про-/антиоксидантного равновесия (Радюкина и др., 2008). Снижение паракват-индуцируемой стимуляции активности СОД под действием экзогенного пролина показано и у растений хрустальной травки (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) (Шевякова и др., 2009). Недавно получены сведения о способности пролина модифицировать дифференциальную экспрессию генов СОД у шалфея (Радюкина и др., 2011). Имеются и разрозненные данные как о повышении, так и снижении активности других антиоксидантных ферментов у растений под влиянием пролина (Lutts, Guerrier, 1995; Ozturk, Demir, 2002; Khedr et al., 2003).

С другой стороны, известно, что АФК являются важными сигнальными посредниками, задействованными в индуцировании защитных реакций растений в ответ на действие стрессоров (Колупаев, Karpets, 2013). Так, показано, что индуцирование теплоустойчивости проростков пшеницы кратковременным прогревом сопровождалось АФК-зависимым повышением активности ключевых антиоксидантных ферментов – СОД, аскорбатпероксидазы и гваяколпероксидазы (Колупаев, Обозный, 2012).

В предыдущей работе нами установлено, что обработка проростков экзогенными пролином снимала эффект вызываемого закаливающим прогревом кратковременного повышения содержания пероксида водорода. При этом пролин, не влияя на базовую теплоустойчивость проростков пшеницы, препятствовал развитию их индуцированной теморезистентности (Вайнер и др., 2014). Логично предположить, что обработка пролином могла препятствовать вызываемому прогревом индуцированию антиоксидантных ферментов. Экспериментальная проверка этого предположения и была целью настоящей работы.

МЕТОДИКА

В качестве объекта исследования использовали трехдневные (на момент начала экспериментов) этиолированные проростки пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Элегия, выращенные при температуре 23°C. На растворы пролина в концентрации 1 мМ проростки помещали за сутки до теплового закаливания. Для оценки специфичности действия пролина в отдельном варианте опыта проростки в идентич-

ном режиме обрабатывали 1 мМ раствором валина. Проростки контрольного варианта инкубировали на очищенной водопроводной воде.

Тепловое закаливание проростков осуществляли путем их погружения в ванну водяного ультратермостата с температурой 42°C на 1 мин. После этого в течение суток проростки продолжали инкубировать на растворах указанных аминокислот, контрольные проростки выдерживали на воде.

Как было показано ранее, после действия закаливающей температуры в корнях отмечались более существенные изменения активности антиоксидантных ферментов, чем в побегах (Колупаев, Обозный, 2012). В связи с этим для биохимических анализов использовали корни интактных проростков.

Как было установлено ранее, наиболее заметные изменения активности антиоксидантных ферментов в корнях проявлялись через несколько часов после закаливающего прогрева, а максимальных значений они достигали через 24 ч, когда наблюдалась максимальная теплоустойчивость проростков пшеницы (Колупаев, Обозный, 2012). В связи с этим активность ферментов определяли через 4 и 24 ч после закаливающего прогрева.

Для определения общей активности супероксиддисмутазы (СОД) (КФ 1.15.1.1) навеску растительного материала (0,3 г) гомогенизировали при температуре не выше 4°C в 10 мл 0,15 М К,Na-фосфатного буфера (рН 7,6) с добавлением ЭДТА (0,1 мМ), дитиотреитола (1 мМ), фенилметилсульфонилфторида (0,5 мМ) и детергента Тритона X-100 (конечная концентрация 0,1 %). Для анализа использовали супернатант после центрифугирования гомогената при 8000 g в течение 10 мин при 4°C. Активность СОД определяли, используя метод, основанный на способности фермента конкурировать с нитросиним тетразолием за супероксидные анионы, образующиеся вследствие аэробного взаимодействия НАДН и феназинметасульфата (Чевари и др., 1985).

Для определения активности аскорбатпероксидазы (КФ 1.11.1.11) и гваяколпероксидазы (КФ 1.11.1.7) навеску корней массой 0,3 г гомогенизировали при температуре не выше 4°C в 10 мл 0,15 М К,Na-фосфатного буфера (рН 7,0) с добавлением ЭДТА (0,1 мМ), дитиотреитола (1 мМ) и фенилметилсульфонилфторида (0,5 мМ). Гомогенат центрифугировали при 8000 g в течение 10 мин при 4°C. Супернатант использовали для определения активности ферментов.

ЭКЗОГЕННЫЙ ПРОЛИН УГНЕТАЕТ ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ

Активность аскорбатпероксидазы определяли при pH 7,0 по уменьшению светопоглощения при 290 нм в результате окисления аскорбиновой кислоты ($E = 2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) в присутствии H_2O_2 (Nakano, Asada, 1981). При анализе активности гваяколпероксидазы pH реакционной смеси поддерживали на уровне 6,2 с помощью K,Na-фосфатного буфера. В качестве субстрата использовали пероксид водорода, в качестве восстановителя гваякол, определяя светопоглощение продукта его окисления ($E = 26,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) при 470 нм (Ridge, Osborne, 1970).

Эксперименты повторяли независимо 3-4 раза, биологическая повторность в пределах каждого опыта была трехкратной. В таблице приведены средние значения и их стандартные ошибки. Статистическую достоверность различий оценивали с использованием *t*-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Закаливающий прогрев вызывал повышение общей активности СОД, которое было достоверным уже через 4 ч после действия высокой температуры, а через 24 ч отмечалось дополнительное увеличение активности фермента (таблица). В контрольных образцах в период наблюдений существенных изменений активности СОД не наблюдалось.

Под действием пролина отмечалось снижение активности СОД как через 4, так и через 24 ч наблюдений. При этом пролин полностью снимал индуцируемое закаливающим прогревом повышение активности фермента в корнях.

Обработка проростков раствором валина не оказывала влияния на активность СОД в варианте без прогрева и не изменяла вызываемый закаливанием эффект увеличения активности фермента (таблица).

Активность аскорбатпероксидазы в корнях проростков контрольного варианта за время эксперимента не изменялась (таблица). Через 4 ч после закаливающего прогрева отмечалась тенденция к ее увеличению, а через 24 ч эффект был достоверным при $p \leq 0,05$. Пролин сам по себе не оказывал существенного влияния на активность аскорбатпероксидазы в корнях. При этом, однако, он нивелировал ее повышение после закаливающего прогрева (таблица).

Под влиянием валина активность аскорбатпероксидазы в корнях проростков, не подвергнутых закаливающему прогреву, не изменялась. Эта аминокислота не влияла на вызыва-

емое закаливанием увеличение активности фермента (таблица).

Активность гваяколпероксидазы в корнях проростков контрольного варианта возрастала к 24 ч наблюдений (таблица), что может быть связано с изменением возраста проростков (Колупаев, Карпец, 2006). Через 4 ч после закаливающего прогрева активность фермента немного увеличивалась, а через 24 ч увеличение было существенным при $p \leq 0,05$.

В варианте с обработкой проростков пролином активность гваяколпероксидазы не отличалась от соответствующих величин контрольного варианта. Под влиянием пролина, однако, нивелировался эффект повышения активности фермента, вызываемый закаливающим прогревом (таблица).

При обработке валином активность гваяколпероксидазы в корнях не отличалась от значений контроля. Эта аминокислота не влияла и на вызываемый закаливанием эффект повышения активности гваяколпероксидазы.

Таким образом, обработка 1 mM раствором пролина нивелировала индуцированное закаливающим прогревом повышение активности всех трех изученных антиоксидантных ферментов в корнях проростков пшеницы. Валин, использованный как дополнительный контроль, подобного эффекта не проявлял, что свидетельствует о специфичности действия пролина на активность антиоксидантных ферментов.

Проведенные исследования указывают на возможность вовлечения пролина в сложную модификацию АФК-зависимых процессов. Одной из составляющих такой модификации может быть снижение содержания АФК в клетках растений за счет прямого антиоксидантного действия пролина. Так, установлено, что пролин, в отличие от других аминокислот, в системе *in vitro* проявляет заметный антиоксидантный эффект, регистрируемый по реакции со свободным стабильным радикалом 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом (Вайнер и др., 2014). Вызываемое действием пролина уменьшение количества радикальных АФК могло обуславливать и снижение содержания пероксида водорода в растительных тканях, что было показано нами в корнях проростков пшеницы ранее (Вайнер и др., 2014).

С другой стороны, нельзя исключить и прямого влияния пролина на некоторые антиоксидантные ферменты. Так, в работе Khedr et al. (2003) показано снижение под влиянием пролина активности пероксидазы у растений *Pancreaticum maritimum*. У растений арабидопси-

Активность антиоксидантных ферментов в корнях проростков после их закаливающего прогрева и/или обработки растворами аминокислот

Вариант опыта	Время после закаливающего прогрева, ч	
	4	24
Активность СОД, усл. ед./г сырого вещества · мин)		
Контроль	17,3 ± 0,3	18,0 ± 0,3
Закаливание	19,9 ± 0,4*	23,1 ± 0,4*
Пролин, 1 мМ	15,1 ± 0,2*#	15,9 ± 0,3*#
Закаливание + пролин, 1 мМ	17,0 ± 0,3#	18,9 ± 0,3#
Валин, 1 мМ	16,9 ± 0,3#	17,9 ± 0,4#
Закаливание + валин, 1 мМ	19,4 ± 0,2*	22,4 ± 0,4*
Активность аскорбатпероксидазы, мкмоль аскорбата/(г сырого вещества · мин)		
Контроль	72,5 ± 1,9	73,7 ± 2,1
Закаливание	80,1 ± 2,2	90,3 ± 2,4*
Пролин, 1 мМ	71,1 ± 2,1	76,4 ± 2,0#
Закаливание + пролин, 1 мМ	70,5 ± 1,9	76,1 ± 2,2#
Валин, 1 мМ	71,0 ± 2,1	76,3 ± 1,9#
Закаливание + валин, 1 мМ	79,1 ± 2,0	87,4 ± 2,0*
Активность гваяколпероксидазы, мкмоль гваякола/(г сырого вещества · мин)		
Контроль	272 ± 6	335 ± 8
Закаливание	296 ± 8	389 ± 7*
Пролин, 1 мМ	265 ± 5	330 ± 9#
Закаливание + пролин, 1 мМ	278 ± 7	340 ± 8#
Валин, 1 мМ	264 ± 5	330 ± 6#
Закаливание + валин, 1 мМ	290 ± 6	382 ± 7*

Примечания: * различия достоверны по отношению к контролю при $p \leq 0,05$; # различия достоверны по отношению к закаливанию при $p \leq 0,05$

са, мутантных по гену Δ^1 -пирролин-5-карбоксилатсинтазы и отличающихся пониженным содержанием пролина, активность каталазы и гваяколпероксидазы в условиях солевого стресса была выше, чем у растений дикого типа, однако эти же мутанты отличались пониженной активностью других антиоксидантных ферментов – СОД, аскорбатпероксидазы, глутатионредуктазы и глутатион-S-трансферазы (Szekely et al., 2008). Не исключено, что этот феномен может быть связан с окислительными повреждениями указанных ферментов при солевом стрессе в отсутствие пролина.

В клеточной культуре *Thellungiella salsuginea* экзогенный пролин в концентрации 5 мМ вызывал повышение активности аскорбатпероксидазы (Сошникова и др., 2013). Этот эффект отличается от результатов наших исследований, в которых пролин сам по себе не влиял на активность аскорбатпероксидазы, но

угнетал ее увеличение, вызываемое закаливанием. Возможно, подобные различия связаны с тем, что в указанной работе пролин использовался в достаточно высокой концентрации и проявлял прооксидантный эффект, о чем свидетельствовало увеличение содержания малонового диальдегида.

В целом, полученные результаты и данные литературы позволяют заключить, что пролин может прямо и косвенно участвовать как в антиоксидантной защите растений, так и в регуляции трансдукции АФК-сигналов в генетический аппарат. Можно полагать, что при определенных условиях пролин, действуя как антиоксидант, способен препятствовать формированию АФК-сигналов, в т.ч. необходимых для развития устойчивости растений и связанных с активацией компонентов антиоксидантной системы. Об этом свидетельствует выявленное нами снятие пролином вызываемого тепловым закаливанием повышения теплоустой-

ЭКЗОГЕННЫЙ ПРОЛИН УГНЕТАЕТ ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ

чивости проростков пшеницы (Вайнер и др., 2014) и нивелирование увеличения в них активности СОД, аскорбатпероксидазы и гваяколпероксидазы. Противоположные эффекты – снижение активности некоторых антиоксидантных ферментов у растений с пониженным содержанием пролина (Szekely et al., 2008) – по нашему мнению, не следует рассматривать как противоречие предположению о негативной регуляции активности антиоксидантных ферментов пролином. Описанные эффекты могут быть обусловлены окислительными или другими повреждениями антиоксидантных ферментов в стрессовых условиях при нарушенном функционировании такой протекторной системы, как накопление пролина (Szabados, Savoure, 2009). Естественно, что подобные пояснения требуют специального экспериментального подтверждения.

ЛИТЕРАТУРА

- Вайнер А.А., Колупаев Ю.Е., Обозный А.И. Влияние экзогенного пролина на содержание пероксида водорода в проростках пшеницы и формирование индуцированной теплоустойчивости // Физиология растений и генетика. – 2014. – Т. 46, № 3. (в печати).
- Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. – Киев: Основа, 2010. – 351 с.
- Колупаев Ю.Е., Обозный А.И. Участие активных форм кислорода в индуцировании аскорбатпероксидазы и гваяколпероксидазы при тепловом закаливании проростков пшеницы // Укр. біохім. журн. – 2012. – Т. 84, № 6. – С. 131-138.
- Колупаев Ю.С., Карпец Ю.В. Індукування саліциловою кислотою тепло- і солестійкості проростків *Triticum aestivum* L. у зв'язку зі змінами прооксидантно-антиоксидантної рівноваги // Укр. ботан. журн. – 2006. – Т. 63, № 4. – С. 558-565.
- Радюкина Н.Л., Шашукова А.В., Макарова С.С., Кузнецов Вл.В. Экзогенный пролин модифицирует дифференциальную экспрессию генов супероксиддисмутазы в растениях шалфея при UV-B облучении // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 1. – С. 49-57.
- Радюкина Н.Л., Шашукова А.В., Шевякова Н.И., Кузнецов Вл.В. Участие пролина в системе антиоксидантной защиты у шалфея при действии NaCl и паракуата // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 5. – С. 721-730.
- Сошинкова Т.Н., Радюкина Н.Л., Королькова Д.В., Носов А.В. Пролин и функционирование антиоксидантной системы растений и культивируемых клеток *Thellungiella salsuginea* при окислительном стрессе // Физиология растений. – 2013. – Т. 60, № 1. – С. 47-60.
- Чевари С., Чаба И., Секей Й. Роль супероксиддисмутазы в окислительных процессах клетки и метод определения ее в биологических материалах // Лаб. дело. – 1985. – № 11. – С. 678-681.
- Шевякова Н.И., Бакулина Е.А., Кузнецов Вл.В. Антиоксидантная роль пролина у галофита хрустальной травки при действии засоления и паракуата, инициирующих окислительный стресс // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 5. – С. 736-742.
- Chaneva G., Tzanova A., Uzunova A. Interaction between cadmium and paraquat stress on *Pisum sativum*. Oxidative stress in pea plants induced by Cd²⁺ and paraquat // Докл. Българ. АН. – 2006. – V. 59, № 6. – P. 657-662.
- Hofmann R.W., Campbell B.D., Bloor S.J. Swinny E.E., Markham K. R., Ryan K.G. Fountain D.W. Responses to UV-B radiation in *Trifolium repens* L. – physiological links to plant productivity and water availability // Plant Cell Environ. – 2003. – V. 26. – P. 603-612.
- Khedr A.H.A., Abbas M.A., Wahid A.A.A., Quick W.P., Abogadallah G.M. Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreatium maritimum* L. to salt-stress // J. Exp. Bot. – 2003. – V. 54. – P. 2553-2562.
- Kolupaev Yu.E., Karpets Yu.V. Participation of reactive oxygen species in formation of induced resistances of plants to abiotic stressors // Handbook on Reactive Oxygen Species (ROS): Formation Mechanisms, Physiological Roles and Common Harmful Effects / Editors: M. Suzuki, S. Yamamoto. – NY: Nova Science Publishers, 2013. – P. 109-136.
- Lutts S., Guerrier G. Peroxidase activities of two rice cultivars differing in salinity tolerance as affected by proline and NaCl // Biol. Plant. – 1995. – V. 37. – P. 577-586.
- Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts // Plant Cell Physiol. – 1981. – V. 22. – P. 867-880.
- Ozturk L., Demir Y. In vivo and in vitro protective role of proline // Plant Growth Regul. – 2002. – V. 38. – P. 259-264.
- Rajendrakumar C.S.V., Reddy B.V.B., Reddy A.R. Proline-protein interactions: protection of structural and functional integrity of M₄ lactate dehydrogenase // Biochem. Biophys. Res. Commun. – 1994. – V. 201. – P. 957-963.
- Ridge I., Osborne D.J. Hydroxyproline and peroxidases in cell walls of *Pisum sativum*: Regulation by ethylene // J. Exp. Bot. – 1970. – V. 21. – P. 843-856.
- Sairam R.K., Srivastava G.C. Induction of oxidative stress and antioxidant activity by hydrogen peroxide treatment in tolerant and susceptible wheat genotypes // Biol. Plant. – 2000. – V. 43. – P. 381-386.

- Samuel D., Kumar T.K S., Jayaraman G., Yang P.W., Yu C.* Proline is a protein solubilizing solute // *IUBMB Life.* – 1997. – V. 41. – P. 235-242.
- Saradhi P.P., Alia, Arora S., Prasad K.V.S.K.* Proline accumulates in plants exposed to UV radiation and protects them against UV induced peroxidation // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* – 1995. – V. 209. – P. 1-5.
- Siripornadulsil S., Traina S., Verma D.P.S., Sayre R.T.* Molecular mechanisms of proline-mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic Microalgae // *Plant Cell.* – 2002. – V. 14. – P. 2837-2847.
- Szabados L., Savoure A.* Proline: a multifunctional amino acid // *Trends Plant Sci.* – 2009. – V. 15. – P. 89-97.
- Szekely G., Abraham E., Cseplo A., Rigo G., Zsigmond L., Csisza J., Ayaydin F., Strizhov N., Jasik J., Schmelzer E., Koncz C., Szabados L.* Duplicated *P5CS* genes of *Arabidopsis* play distinct roles in stress regulation and developmental control of proline biosynthesis // *Plant J.* – 2008. – V. 53. – P. 11-28.

Поступила в редакцію
12.02.2014 з.

EXOGENOUS PROLINE SUPPRESSES THE INCREASE IN THE ACTIVITIES OF ANTIOXIDANT ENZYMES OF WHEAT SEEDLINGS CAUSED BY HEAT HARDENING

A. O. Vayner, Yu. E. Kolupaev, T. O. Yastreba, O. I. Oboznyi

*V.V. Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University
(Kharkiv, Ukraine)
e-mail: plant_biology@mail.ru*

The effect short-term heating, which induces the heat resistance of wheat seedlings, and treatment with proline and valine solutions on the activities of antioxidant enzymes – superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase was investigated. The treatment of seedlings with proline levelled hardening-induced increase in activities of SOD, ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase. Valine did not reveal such effect. It was concluded that proline showing antioxidant properties may prevent the induction of antioxidant enzymes which is caused by heat hardening.

Key words: *Triticum aestivum L., proline, reactive oxygen species, antioxidant enzymes, heat hardening*

ЕКЗОГЕННИЙ ПРОЛІН ПРИГНІЧУЄ ПІДВИЩЕННЯ АКТИВНОСТІ АНТИОКСИДАНТНИХ ФЕРМЕНТІВ ПРОРОСТКІВ ПШЕНИЦІ, СПРИЧИНІЮВАНЕ ЗАГАРТОВУЮЧИМ ПРОГРІВОМ

А. О. Вайнер, Ю. Є. Колупаєв, Т. О. Ястреб, О. І. Обозний

*Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва
(Харків, Україна)
e-mail: plant_biology@mail.ru*

Досліджували вплив короткочасного прогріву, що індукує теплостійкість проростків пшениці, та їх обробки розчинами проліну і валіну на активність антиоксидантних ферментів – супероксиддисмутази (СОД), аскорбатпероксидази і гваяколпероксидази. Обробка проростків проліном нівелювала індуковане загартовуванням підвищення активності СОД, аскорбатпероксидази і гваяколпероксидази. Валін подібного ефекту не виявляв. Зроблено висновок, що пролін, виявляючи антиоксидантні властивості, може перешкоджати індукції антиоксидантних ферментів загартовуючим прогрівом.

Ключові слова: *Triticum aestivum L., пролін, активні форми кисню, антиоксидантні ферменти, теплове загартовування*