

УДК 581.1

РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ АРАБИДОПСИСА ДИКОГО ТИПА И МУТАНТОВ *jin1* НА ДЕЙСТВИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА И СОЛЕВОГО СТРЕССА

© 2017 г. Т. О. Ястреб¹, Ю. Е. Колупаев¹,
А. А. Луговая¹, А. П. Дмитриев²

¹Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева,
(Харьков, Украина)

²Институт клеточной биологии и генетической инженерии
Национальной академии наук Украины
(Киев, Украина)

Исследовали влияние пероксида водорода на солеустойчивость 5-недельных растений *Arabidopsis thaliana* L. дикого типа *Columbia-0* (*Col-0*) и мутантов *jin1* с нарушенным жасмонатным сигналингом. После воздействия 1 мМ пероксида водорода (H_2O_2) повышалась солеустойчивость растений дикого типа, что выражалось в уменьшении ингибирования их роста, вызываемого солевым стрессом (200 мМ NaCl). Обработка растений *Col-0* H_2O_2 в обычных условиях индуцировала активность супероксиддисмутазы и гваяколпероксидазы, а при солевом стрессе способствовала сохранению повышенной активности антиоксидантных ферментов и увеличению содержания пролина в листьях. Такие эффекты практически не проявлялись у мутантов *jin1*. Сделано заключение о причастности транскрипционного фактора JIN1/MYC2 к развитию у растений арабидопсиса защитных реакций, индуцируемых пероксидом водорода.

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana*, пероксид водорода, солеустойчивость, антиоксидантные ферменты, пролин, транскрипционный фактор JIN1/MYC2

В последнее время накапливается информация о том, что транскрипционный фактор JIN1/MYC2 у растений является одним из ключевых участников не только жасмонатного сигналинга (Dombrecht et al., 2007), но и процессов передачи в генетический аппарат клетки сигналов других фитогормонов и внутриклеточных мессенджеров. Так, установлено, что растения-трансформанты, сверхэкспрессирующие ген *AtMYC2*, обладают повышенной чувствительностью к одному из основных стрессовых гормонов абсцизовой кислоте (АБК) и отличаются резистентностью к повреждающему действию агента осмотического стресса маннитола (Abe et al., 2003). Предполагается, что транскрипционный фактор JIN1/MYC2 объединяет передачу

сигналов жасмоновой и абсцизовой кислот и участвует в перекрестной адаптации растений (Ton et al., 2009; Lackman et al., 2011). Более того, методами биоинформатики были получены данные, свидетельствующие о возможном участии генов семейства *MYC* в регуляции реакций растений на действие доноров оксида азота (Palmieri et al., 2008). В исследованиях, проведенных нами ранее, показано усиление антиоксидантной защиты у растений арабидопсиса в ответ на обработку донором NO (Ястреб и др., 2017).

Оксид азота находится в тесной функциональной связи с другими сигнальными посредниками, в частности, с пероксидом водорода (Kolupaev et al., 2015). Получены экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что АФК принимают участие в реализации физиологических эффектов NO и наоборот (Wilson et al., 2008). Показано, что при обработке растений *Hypericum perforatum* и про-

Адрес для корреспонденции: Колупаев Юрий Евгеньевич,
Харьковский национальный аграрный университет им.
В.В. Докучаева, п/о «Докучаевское», Харьков, 62483,
Украина;
e-mail: plant_biology@ukr.net

РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ АРАБИДОПСИСА ДИКОГО ТИПА

ростков пшеницы экзогенным пероксидом водорода увеличивалась генерация NO, а под влиянием донора оксида азота нитропруссид натрия (НПН) повышалось содержание эндогенного H₂O₂ (Xu et al., 2008; Карпец и др., 2015).

Известно, что пероксид водорода как сигнальный посредник задействован в индуцировании многих адаптивных реакций растений, в том числе необходимых для развития устойчивости к солевому стрессу (Leshem et al., 2007; Ma et al., 2012). В частности, H₂O₂ участвует не только в активации системы антиоксидантной защиты, но и в индуцировании накопления совместимых осмолитов, а также в регуляции Na⁺/K⁺-гомеостаза в растительных клетках (Ma et al., 2012; Yang et al., 2013).

На основании упомянутых сведений об участии транскрипционного фактора JIN1/MYC2 в передаче сигналов NO, а также жасмоновой и абсцизовой кислот, функционально связанных с АФК (Dai et al., 2015; Колупаев и др., 2016), можно предположить, что этот белок задействован в трансдукции в генетический аппарат и сигналов пероксида водорода, в том числе тех, которые регулируют состояние стресс-протекторных систем.

Для проверки этой рабочей гипотезы сравнивали реакцию антиоксидантной системы растений арабидопсиса дикого типа (*Col-0*) и мутантов *jin1* на обработку пероксидом водорода и последующее действие солевого стресса.

МЕТОДИКА

В экспериментах использовали 5-недельные растения *Arabidopsis thaliana* L. дикого типа (*Col-0*) и мутантной линии *jin1*, дефектных по гену *JIN1*, кодирующему белок транскрипционный фактор JIN1/MYC2. Растения выращивали в водной культуре на среде Хогланда с модификациями (Gibeaut et al., 1997) при температуре 22/17°C (день/ночь), освещении 6000 лк и фотопериоде 10 ч.

Пероксид водорода в конечной концентрации 1 мМ вносили в питательную среду и инкубировали на ней растения в течение 24 ч. Концентрацию H₂O₂, оказывающую наиболее заметное положительное влияние на рост растений арабидопсиса дикого типа, выбирали на основании предварительных опытов (результаты не приводятся).

После инкубации на среде с пероксидом водорода растения переносили на питательную смесь без H₂O₂ и часть из них подвергали солевому стрессу добавлением 200 мМ NaCl. Через

24 ч после инкубации в присутствии хлорида натрия растения переносили на обычную питательную среду.

Биомассу растений определяли обычным гравиметрическим методом перед началом обработки пероксидом водорода, через 1 сут после прекращения экзогенного воздействия H₂O₂ и/или через 1 сут после солевого стресса.

Для биохимических анализов использовали пластинки зрелых листьев прикорневой розетки.

Содержание пролина анализировали с использованием нингидринового реактива по методу Бейтса и соавт. (Bates et al., 1973).

Активность антиоксидантных ферментов определяли по методикам, подробно описанным ранее (Ястреб и др., 2017). Навески листьев гомогенизировали при температуре не выше 4°C в 0,15 М К₂Na-фосфатном буфере (pH 7,6), содержащем ЭДТА (0,1 мМ) и дитиотрейтол (1 мМ). Для анализа использовали супернатант после центрифугирования гомогената при 8000 g в течение 10 мин при 4°C. Активность цитозольной супероксиддисмутазы (СОД, КФ 1.15.1.1), представляющей собой Cu/Zn-СОД (Alscher et al., 2002), определяли при pH 7,6, используя метод, основанный на способности фермента конкурировать с тетразолием нитросиним за супероксидные анионы, образующиеся вследствие аэробного взаимодействия НАДН и феназинметосульфата. Активность каталазы (КФ 1.11.1.6) анализировали при pH 7,0 по количеству разложившегося пероксида водорода за единицу времени. Активность гваяколпероксидазы (ГПО, КФ 1.11.1.7) определяли, используя в качестве донора водорода гваякол, в качестве субстрата – пероксид водорода. pH реакционной смеси доводили до 6,2.

Активность СОД и ГПО выражали в условных единицах / (г сухой массы • мин), активность каталазы – в ммоль H₂O₂ / (г сухой массы • мин).

Эксперименты проводили в трехкратной биологической повторности и каждый опыт воспроизводили независимо не менее трех раз. На рисунках и в таблице приведены средние величины и их стандартные ошибки. Кроме специально оговоренных случаев, обсуждаются различия, достоверные при $P \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В обычных условиях ростовые характеристики растений арабидопсиса дикого типа и мутантов *jin1* почти не отличались (рис. 1). Внесение пероксида водорода в питательную

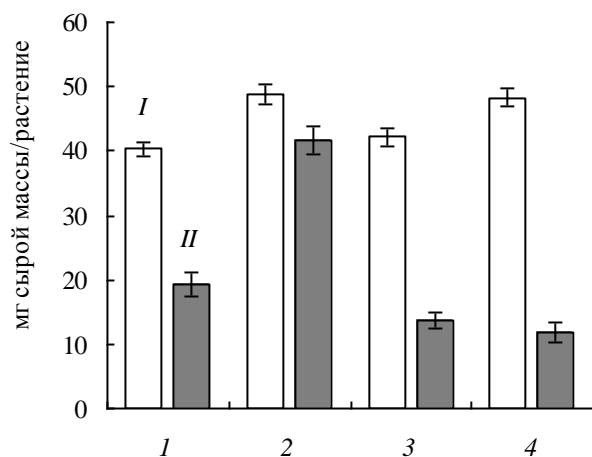


Рис. 1. Прирост биомассы растений арабидопсиса (мг сырой массы/растение).

I – без солевого стресса; II – солевой стресс (200 мМ NaCl); 1 – *Col-0* (контроль); 2 – *Col-0* (H₂O₂, 1 мМ); 3 – *jin1* (контроль); 4 – *jin1* (H₂O₂, 1 мМ).

среду увеличивало прирост надземной части растений дикого типа и вызывало похожую тенденцию у растений *jin1* (рис. 1).

Воздействие солевого стресса ингибировало прирост биомассы растений обоих генотипов, при этом негативное влияние засоления на растения генотипа *jin1* было более выраженным по сравнению с растениями дикого типа (рис. 1). Предварительная обработка растений *Col-0* пероксидом водорода заметно уменьшала последующее ростиингибирующее действие соли. В то же время пероксид водорода не оказывал существенного влияния на рост мутантов *jin1* при солевом стрессе (рис. 1).

Активность СОД у растений *jin1* в обычных условиях была немного ниже, чем у растений дикого типа (таблица). Под влиянием обработки H₂O₂ у растений дикого типа активность фермента повышалась. Этот эффект наблюдался и через 24 ч после переноса на питательную среду без пероксида водорода. В то же время обработка пероксидом водорода не оказывала достоверного влияния на активность СОД у мутантов *jin1*.

Солевой стресс вызывал снижение активности СОД, особенно заметное у растений *jin1*. Предварительная обработка пероксидом водорода существенно уменьшала проявление эф-

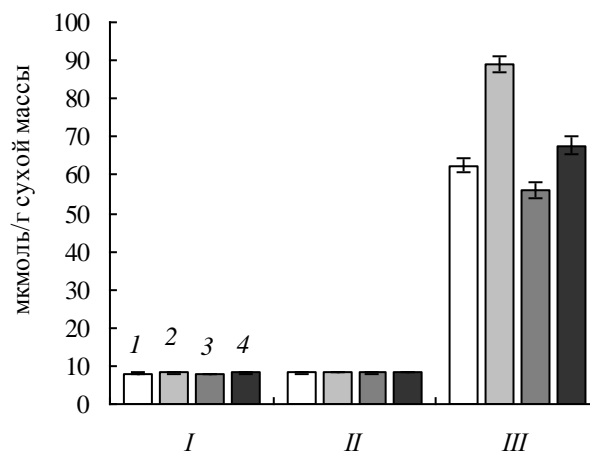


Рис. 2. Содержание пролина (мкмоль/г сухой массы) в листьях растений арабидопсиса через 24 ч после обработки 1 мМ пероксидом водорода (I), через 24 ч после переноса на питательную среду без пероксида водорода (II) и через 24 ч после переноса на питательную среду без пероксида водорода с добавлением 200 мМ NaCl (III).

I – *Col-0* (контроль); 2 – *Col-0* (H₂O₂, 1 мМ); 3 – *jin1* (контроль); 4 – *jin1* (H₂O₂, 1 мМ).

фекта снижения активности СОД при стрессе у растений дикого типа, но не у мутантов *jin1* (таблица).

Активность каталазы в розеточных листьях в обычных условиях у растений двух генотипов существенно не отличалась (таблица). В отсутствие солевого стресса пероксид водорода не влиял на активность фермента у растений дикого типа и мутантов *jin1*.

После солевого стресса проявлялась тенденция к небольшому снижению активности каталазы у растений дикого типа и достоверное уменьшение активности фермента у мутантов *jin1*. Предобработка пероксидом водорода способствовала сохранению близких к значениям контроля величин активности каталазы у растений дикого типа при солевом стрессе и не оказывала влияния на этот показатель у растений генотипа *jin1* (таблица).

Активность гваколпероксидазы в листьях растений обоих генотипов в обычных условиях почти не отличалась (таблица). Обработка пероксидом водорода вызывала повышение активности фермента у растений дикого типа в 1,5 раза. У мутантов *jin1* под влиянием H₂O₂ также отмечалось повышение активности гваколпероксидазы, однако оно было менее существенным по сравнению с таковым у растений дикого типа. Похожая картина наблюдалась и

РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ АРАБИДОПСИСА ДИКОГО ТИПА

Активность антиоксидантных ферментов в листьях растений арабидопсиса

Вариант	Через 24 ч после обработки H ₂ O ₂	Через 24 ч после переноса на питательную среду без H ₂ O ₂	Через 24 ч после переноса на питательную среду без H ₂ O ₂ с добавлением 200 мМ NaCl
<i>Супероксиддисмутаза (усл. ед./г сухой массы мин)</i>			
<i>Col-0</i> (контроль)	82,2 ± 3,2	85,5 ± 2,8	53,3 ± 2,4
<i>Col-0</i> (H ₂ O ₂ , 1 мМ)	111,7 ± 3,5	127,0 ± 3,9	86,5 ± 3,4
<i>jin1</i> (контроль)	72,2 ± 2,8	73,3 ± 3,1	39,0 ± 1,8
<i>jin1</i> (H ₂ O ₂ , 1 мМ)	81,1 ± 3,1	62,2 ± 2,6	39,6 ± 2,4
<i>Каталаза (мМ H₂O₂/г сухой массы мин)</i>			
<i>Col-0</i> (контроль)	35,1 ± 1,7	35,8 ± 1,4	30,2 ± 1,2
<i>Col-0</i> (H ₂ O ₂ , 1 мМ)	36,1 ± 2,1	36,7 ± 2,1	36,8 ± 1,4
<i>jin1</i> (контроль)	36,2 ± 1,6	35,7 ± 1,5	28,5 ± 1,6
<i>jin1</i> (H ₂ O ₂ , 1 мМ)	32,6 ± 1,6	32,7 ± 1,6	27,8 ± 1,4
<i>Гваяколпероксидаза (усл. ед./г сухой массы мин)</i>			
<i>Col-0</i> (контроль)	413 ± 9	461 ± 11	613 ± 15
<i>Col-0</i> (H ₂ O ₂ , 1 мМ)	604 ± 11	619 ± 14	817 ± 17
<i>jin1</i> (контроль)	373 ± 9	362 ± 10	356 ± 11
<i>jin1</i> (H ₂ O ₂ , 1 мМ)	455 ± 12	408 ± 12	409 ± 14

через 24 ч после переноса растений на среду без пероксида водорода.

У растений дикого типа после солевого стресса наблюдалось повышение активности гваяколпероксидазы, а у мутантов *jin1* такого эффекта не проявлялось (таблица). У растений *Col-0*, предварительно обработанных пероксидом водорода, при солевом стрессе активность фермента была значительно выше, чем у необработанных. В то же время у растений *jin1*, обработанных пероксидом водорода, активность гваяколпероксидазы при солевом стрессе слабо отличалась от таковой у необработанных.

Содержание пролина в листьях растений двух генотипов в обычных условиях почти не отличалось (рис. 2). Обработка пероксидом водорода не оказывала существенного влияния на этот показатель в отсутствие стресса.

Солевой стресс вызывал существенное (более чем в 7 раз) увеличение содержания пролина как у растений дикого типа, так и у мутантов *jin1* (рис. 2). У растений *Col-0*, предварительно обработанных пероксидом водорода, содержание пролина при солевом стрессе было намного больше, чем у необработанных. В то же время у мутантов *jin1* эти различия были не столь существенными.

ОБСУЖДЕНИЕ

Растения мутантной линии *jin1*, дефектные по гену *JIN1*, кодирующему белок транскрипционный фактор *JIN1/MYC2*, отличались по реакции на обработку пероксидом водорода от растений дикого типа. У растений *jin1* фак-

тически не происходило заметного индуцирования солеустойчивости после обработки пероксидом водорода, в то время как у растений дикого типа обработка H₂O₂ значительно смягчала ростингибирующий эффект солевого стресса (рис. 1).

Под влиянием пероксида водорода у растений дикого типа происходило повышение активности СОД и ГПО, в то время как у мутантов *jin1* такой эффект почти не проявлялся (таблица). Еще более заметными различия между растениями арабидопсиса двух генотипов были после действия солевого стресса. Так, предварительно обработанные пероксидом водорода растения дикого типа отличались от таковых *jin1* значительно более высокими величинами активности СОД, каталазы и ГПО (таблица), а также заметно большим содержанием пролина (рис. 2). Иными словами, обработка растений арабидопсиса дикого типа пероксидом водорода способствовала более эффективному функционированию в условиях стресса компонентов антиоксидантной и осмопротекторной систем, в то время как действие H₂O₂ на протекторные системы мутантов *jin1* было выражено очень слабо.

Полученные нами результаты свидетельствуют о причастности транскрипционного фактора *JIN1/MYC2* к трансдукции сигнала пероксида водорода в генетический аппарат клетки. В то же время они не позволяют говорить о механизмах реализации этих эффектов. Более того, неясно, влияет ли пероксид водорода на состояние *JIN1/MYC2* прямо или опосредован-

но – путем изменения содержания жасмоновой кислоты и (или) других сигнальных и гормональных посредников. Так, в ряде работ сообщается о повышении в растительных клетках в ответ на действие стрессоров как содержания пероксида водорода, так и жасмоната и его производных. Например у *Cistus albidus* установлено повышение содержания пероксида водорода, предшествовавшее увеличению количества метилжасмоната (Jubani-Mari et al., 2010). Однако эти эффекты изучались в долгосрочных экспериментах, что не позволяет говорить однозначно о причинно-следственных связях между ними. С другой стороны, показано повышение содержания пероксида водорода у растений пшеницы после действия на них экзогенной жасмоновой кислоты (Dai et al., 2015; Карпец и др., 2016). У соевых бобов, инфицированных фитогорой, происходило практически одновременное повышение содержания пероксида водорода, оксида азота и жасмоновой кислоты (Li et al., 2013). Похожие эффекты одновременного повышения содержания пероксида водорода и жасмоновой кислоты в ответ на обработку элиситорами выявлены у батата (Li et al., 2016). У растений вигны при обработке УФ В зарегистрировано увеличение содержания как пероксида водорода, так и жасмоновой и салициловой кислот (Choudhary, Agrawal, 2014). В клетках каучукового дерева в ответ на дегидратацию происходило достаточно быстрое (через 20 мин) увеличение содержания пероксида водорода и последующее (через 2 и 4 ч, соответственно) повышение количества жасмоновой и абсцизовой кислот (Trian et al., 2015).

Таким образом, между АФК и стрессовыми фитогормонами, по-видимому, существуют прямые и обратные связи, что усложняет выяснение роли тех или иных белковых посредников (в частности, транскрипционных факторов) в реализации физиологических эффектов индивидуальных соединений. В связи с этим в нашем случае представляется целесообразным исследование реакции на пероксид водорода наряду с мутантами *jin1* других генотипов арабидопсиса, дефектных по иным звеньям передачи жасмонатного сигнала. Исследования в этом направлении уже проводятся и можно надеяться, что они позволят объяснить причины выявленной в настоящей работе низкой чувствительности растений арабидопсиса *jin1* к экзогенному пероксиду водорода.

ЛИТЕРАТУРА

- Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Е., Вайнер А.А. Функциональное взаимодействие оксида азота и пероксида водорода при формировании индуцированной теплоустойчивости проростков пшеницы // Физиология растений. – 2015. Т. 62, № 1. – С. 72-78.
- Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Е., Косаковская И.В. Оксид азота и пероксид водорода как сигнальные посредники при индуцировании теплоустойчивости проростков пшеницы экзогенными жасмоновой и салициловой кислотами // Физиология растений и генетика. – 2016. – Т. 48, № 2. – С. 158-166.
- Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В., Ястреб Т.О., Луговая А.А. Сигнальные посредники в реализации физиологических эффектов стрессовых фитогормонов // Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2016. – Вип. 1 (37). – С. 42-62.
- Ястреб Т.О., Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В., Дмитриев А.П. Действие донора оксида азота на солеустойчивость растений арабидопсиса дикого типа и мутантов *jin1* // Физиология растений. – 2017. – Т. 64, № 2. – С. 142-150.
- Abe H., Urao T., Ito T., Seki M., Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. Arabidopsis AtMYC2 (bHLH) and AtMYB2 (MYB) function as transcriptional activators in abscisic acid signaling // Plant Cell. – 2003. – V. 15. – P. 63-78.
- Alscher R.G., Erturk N., Heath L.S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants // J. Exp. Bot. – 2002. – V. 53. – P. 1331-1341.
- Bates L.S., Walden R.P., Tear G.D. Rapid determination of free proline for water stress studies // Plant Soil. – 1973. – V. 39. – P. 205-210.
- Choudhary K.K., Agrawal S.B. Cultivar specificity of tropical mung bean (*Vigna radiata* L.) to elevated ultraviolet-B: Changes in antioxidative defense system, nitrogen metabolism and accumulation of jasmonic and salicylic acids // Environ. Exp. Bot. – 2014. – V. 99. – P. 122-132.
- Dai H., Jia G., Shan C. Jasmonic acid-induced hydrogen peroxide activates MEK1/2 in upregulating the redox states of ascorbate and glutathione in wheat leaves // Acta Physiol. Plant. – 2015. – V. 37:200; DOI 10.1007/s11738-015-1956-y
- Dombrecht B., Xue G.P., Sprague S.J., Kirkegaard J.A., Ross J.J., Reid J.B., Fitt G.P., Sewelam N., Schenk P.M., Manners J.M., Kazan K. MYC2 differentially modulates diverse jasmonate-dependent functions in Arabidopsis // Plant Cell. – 2007. – V. 19. – P. 2225-2245.
- Gibeaut D.M., Hulett J., Cramer G.R., Seemann J.R. Maximal biomass of *Arabidopsis thaliana* using a simple, low-maintenance hydroponic method and favorable environmental conditions // Plant Physiol. – 1997. – V. 115. – P. 317-319.

РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ АРАБИДОПСИСА ДИКОГО ТИПА

- Jubany-Mari T., Prinsen E., Munné-Bosch S., Alegre L. The timing of methyl jasmonate, hydrogen peroxide and ascorbate accumulation during water deficit and subsequent recovery in the Mediterranean shrub *Cistus albidus* L. // *Environ. Exp. Bot.* – 2010. – V. 69. – P. 47-55.
- Kolupaev Yu.E., Karpets Yu.V., Dmitriev A.P. Signal mediators in plants in response to abiotic stress: calcium, reactive oxygen and nitrogen species // *Cytol. Genet.* – 2015. – V. 49. – P. 338-348.
- Lackman P., González-Guzmán M., Tilleman S., Carqueijeiro I., Pérez A.C., Moses T., Seo M., Kanno Y., Häkkinen S.T., Montagu M.C.E.V., Thevelein J.M., Maaheimo H., Oksman-Caldentey K.M., Rodriguez P.L., Rischer H., Goossens A. Jasmonate signaling involves the abscisic acid receptor PYL4 to regulate metabolic reprogramming in *Arabidopsis* and tobacco // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2011. – V. 108. – P. 5891-5896.
- Leshem Y., Seri L., Levine A. Induction of phosphatidylinositol 3-kinase-mediated endocytosis by salt stress leads to intracellular production of reactive oxygen species and salt tolerance // *Plant J.* – 2007. – V. 51. – P. 185-197.
- Li Y., Liu Z., Hou H., Lei H., Zhu X., Li X., He X., Tian C. Arbuscular mycorrhizal fungi-enhanced resistance against *Phytophthora sojae* (курсив) infection on soybean leaves is mediated by a network involving hydrogen peroxide, jasmonic acid, and the metabolism of carbon and nitrogen // *Acta Physiol. Plant.* – 2013. – V. 35. – P. 3465-3475.
- Li Y.C., Wan W.L., Lin J.S., Kuo Y.W., King Y.C., Chen Y.C., Jeng S.T. Signal transduction and regulation of *IbpreproHypSys* in sweet potato // *Plant Cell Environ.* – 2016. – V. 39. – P. 1576-1587.
- Ma L., Zhang H., Sun L., Jiao Y., Zhang G., Miao C., Hao F. NADPH oxidase AtrbohD and AtrbohF function in ROS-dependent regulation of Na⁺/K⁺ homeostasis in *Arabidopsis* under salt stress // *J. Exp. Bot.* – 2012. – V. 63. – P. 305-317.
- Palmieri M.C., Sell S., Huang X., Scherf M., Werner T., Durner J., Lindermayr C. Nitric oxide-responsive genes and promoters in *Arabidopsis thaliana*: a bioinformatics approach // *J. Exp. Bot.* – 2008. – V. 59. – P. 177-186.
- Ton J., Flors V., Mauch-Mani B. The multifaceted role of ABA in disease resistance // *Trends Plant Sci.* – 2009. – V. 14. – P. 310-317.
- Tian W.M., Yang S.G., Shi M.J., Zhang S.X., Wu J.L. Mechanical wounding-induced laticifer differentiation in rubber tree (Muell. Arg.): An indicative role of dehydration, hydrogen peroxide, and jasmonates // *J. Plant Physiol.* – 2015. – V. 182. – P. 95-103.
- Wilson I.D., Neill S.J., Hancock J.T. Nitric Oxide Synthesis and Signaling in Plants // *Plant Cell Environ.* – 2008. – V. 31. – P. 622-631.
- Xu M.J., Dong J.F., Zhang X.B. Signal interaction between nitric oxide and hydrogen peroxide in heat shock-induced hypericin production of *Hypericum perforatum* suspension cells // *Sci. China. Ser. C: Life Sci.* – 2008. – V. 51. – P. 676-686.
- Yang Y., Yang F., Li X., Shi R., Lu J. Signal regulation of proline metabolism in callus of the halophyte *Nitraria tangutorum* Bobr. grown under salinity stress // *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* – 2013. – V. 112. – P. 33-42.

Поступила в редакцию
12.01.2017 г.

RESPONSE OF ARABIDOPSIS PLANTS OF WILD TYPE AND *jin1* MUTANTS TO HYDROGEN PEROXIDE AND SALT STRESS

T. O. Yastreb¹, Yu. E. Kolupaev¹, A. A. Lugovaya¹, A. P. Dmitriev²

¹V.V. Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University
(Kharkiv, Ukraine)

E-mail: plant_biology@ukr.net

²Institute of Cell Biology and Genetic Engineering
of National Academy of Science of Ukraine
(Kyiv, Ukraine)

The effect of hydrogen peroxide on the salt tolerance of 5-week-old *Arabidopsis thaliana* L. plants of wild type *Columbia-0* (*Col-0*) and *jin1* mutants with impaired jasmonate signaling was investigated. After exposure to 1 mM hydrogen peroxide (H₂O₂) salt tolerance of wild type plants was increased, which manifested in reducing their growth inhibition caused by salt stress (200 mM NaCl). Treatment of *Col-0* plants with H₂O₂ induced activity of superoxide dismutase and guaiacol peroxidase under normal conditions while at salt stress contributed the conservation of the increased activity of antioxidant enzymes and enhanced proline content in leaves. These effects were practically not

manifested in *jin1* mutants. The conclusion was made about involvement of the transcription factor JIN1/MYC2 to development of defense responses induced by hydrogen peroxide in *Arabidopsis* plants.

Key words: *Arabidopsis thaliana*, hydrogen peroxide, salt resistance, antioxidant enzymes, proline, transcription factor JIN1/MYC2

РЕАКЦІЯ РОСЛИН АРАБІДОПСИСУ ДИКОГО ТИПУ І МУТАНТІВ *jin1* НА ДІЮ ПЕРОКСИДУ ВОДНЮ І СОЛЬОВОГО СТРЕСУ

Т. О. Ястреб¹, Ю. Є. Колупаєв¹, Г. А. Лугова¹, О. П. Дмитрієв²

¹*Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва
(Харків, Україна)*

E-mail: plant_biology@ukr.net

²*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії
Національної академії наук України
(Київ, Україна)*

Досліджували вплив пероксиду водню на солестійкість 5-тижневих рослин *Arabidopsis thaliana* L. дикої типу *Columbia-0* (*Col-0*) і мутантів *jin1* з порушеним жасмонатним сигналіном. Після впливу 1 мМ пероксиду водню (H₂O₂) підвищувалася солестійкість рослин дикої типу, що виявлялося у зменшенні інгібування їх росту, спричинюваного сольовим стресом (200 мМ NaCl). Обробка рослин *Col-0* H₂O₂ за звичайних умов індукувала активність супероксиддисмутази і гваяколпероксидази, а при сольовому стресі сприяла збереженню підвищеної активності антиоксидантних ферментів і збільшенню вмісту проліну в листках. Такі ефекти практично не виявлялися у мутантів *jin1*. Зроблено висновок про причетність транскрипційного фактора JIN1/MYC2 до розвитку у рослин арабідопсису захисних реакцій, індукованих пероксидом водню.

Ключові слова: *Arabidopsis thaliana*, пероксид водню, солестійкість, антиоксидантні ферменти, пролін, транскрипційний фактор JIN1/MYC2