

УДК 581.1:631.81

ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННЫХ САЛИЦИЛОВОЙ И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ПРОСА К АБИОТИЧЕСКИМ И БИОТИЧЕСКИМ СТРЕССОРАМ

© 2012 г. Г. П. Коц, Т. О. Ястреб, Н. В. Швиденко, Е. Н. Батова,
Н. Н. Мирошниченко, В. П. Туренко, Ю. Е. Колупаев

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

Изучали влияние предпосевной обработки семян растворами салициловой (СК – 10 мкМ) или янтарной (ЯК – 1 мМ) кислот на устойчивость проса (*Panicum miliaceum* L.) к гипертермии, осмотическому шоку, возбудителям корневых гнилей и урожайность зерна. Растения, выращенные из семян, обработанных органическими кислотами, на ранних фазах развития характеризовались повышенной резистентностью к нагреву и осмотическому шоку, а также устойчивостью к возбудителям корневых гнилей. В листьях растений опытных вариантов отмечались повышение активности гваяколпероксидазы и флуктуации активности каталазы. Обработка семян СК и ЯК положительно влияла на урожай зерна, при этом эффект СК был более существенным. По крайней мере, одной из причин положительных эффектов СК и ЯК может быть их влияние на окислительный метаболизм, индуцирующее формирование защитных реакций растений.

Ключевые слова: *Panicum miliaceum* L., салициловая кислота, янтарная кислота, гипертермия, осмотический шок, корневые гнили, гваяколпероксидаза, каталаза

Салициловую кислоту (СК) относят к индукторам неспецифической устойчивости растений (Шакирова, 2000). Имеются сведения о повышении их резистентности к стрессорам биотической и абиотической природы под влиянием экзогенной СК (Raskin et al., 1992; Dat et al., 1998; Horwath et al., 2002). Эффекты СК связывают, прежде всего, с ее способностью влиять на активность ферментов, участвующих как в обезвреживании, так и в генерации активных форм кислорода (АФК) (Chen et al., 1993; Minibaeva et al., 2001). АФК выполняют роль сигнальных посредников, активирующих разнообразные физиологические реакции, важные для защиты растений как от патогенов (например, усиление синтеза PR- (pathogenesis-related) белков (Durner, Klessig, 1996)), так и от повреждающего действия абиотических стрессоров (активация антиоксидантных ферментов,

накопление низкомолекулярных протекторов и пр. (Liu et al., 2006; Колупаев, Карпец, 2010)).

Янтарная кислота (ЯК) давно рекомендована для использования в практике растениеводства в качестве стимулятора роста, в т.ч. зерновых культур (Применение..., 1981), однако механизмы ее действия остаются малоисследованными. В последнее десятилетие появились сведения о сходстве некоторых физиолого-биохимических эффектов СК и ЯК, в частности об их способности индуцировать синтез идентичных по электрофоретической подвижности белков, модифицировать активность ферментов, генерирующих и обезвреживающих АФК (Тарчевский и др., 1999; Minibaeva et al., 2001; Панина и др., 2004). Установлено также сходное действие СК и ЯК на клеточные проявления устойчивости растений к грибным болезням (на примере бурой ржавчины пшеницы) (Плотникова, Штубей, 2009). Ранее нами показано повышение под влиянием СК и ЯК устойчивости проростков пшеницы к повреждающему нагреву и связь этого эффекта со способностью данных кислот вызывать транзиторное

усиление генерации АФК растительными клетками (Ястреб и др., 2010).

Вместе с тем сравнительных исследований влияния указанных кислот на устойчивость растений к стрессорам различной природы пока недостаточно. К числу культур, на которых действие СК и ЯК детально не исследовалось, относится просо (*Panicum miliaceum* L.). В настоящей работе изучено влияние СК и ЯК на устойчивость растений проса к абиотическим стрессорам (гипертермии и осмотическому шоку) и возбудителям корневых гнилей на ранних стадиях развития. Для выяснения возможной связи между физиологическими эффектами исследуемых кислот и изменениями в метаболизме АФК оценивали их влияние на активность гваяколпероксидазы и каталазы в листьях проса. В связи с возможностью практического использования СК и ЯК в растениеводстве в задачу работы также входило исследование влияния предпосевной обработки семян указанными кислотами на урожайность проса в условиях северо-восточной лесостепи Украины.

МЕТОДИКА

Исследования проводили на растениях проса сорта Константиновское в лабораторных и полевых опытах. В лабораторных опытах по изучению влияния СК и ЯК на резистентность проростков к гипертермии, осмотическому шоку и возбудителям корневых гнилей семена перед предпосевным замачиванием в растворах кислот обеззараживали обработкой 5% раствором пероксида водорода в течение 20 мин. После этого семена ополаскивали стерильной дистиллированной водой и осуществляли их предпосевную обработку путем погружения в растворы соответствующих кислот на 15 мин. Затем семена высушивали на ситах в течение суток. Концентрации СК и ЯК, вызывающие максимальное повышение устойчивости проростков к нагреву и осмотическому шоку (соответственно 10 мкМ и 1 мМ), были выбраны на основании предварительных опытов. Контрольные образцы семян обрабатывали дистиллированной водой.

Влияние СК и ЯК на устойчивость проса к нагреву и осмотическому шоку оценивали на 4-суточных этиолированных проростках, которые выращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, смоченной очищенной и прокипяченной водопроводной водой. Для оценки теплоустойчивости проростки прогревали в водном термостате при 46°C в течение 10 мин. Осмотический шок создавали путем погруже-

ния корневой системы проростков на 3 ч в 30% раствор полиэтиленгликоля с молекулярной массой 6000 Да. Через сутки после повреждающих воздействий проростки выставляли на свет (3000 лк) и еще через 4 сут оценивали их выживание.

Влияние предпосевной обработки проса СК и ЯК на устойчивость к корневым гнилям исследовали в почвенной культуре с естественным инфекционным фоном. В опыте использовали смесь из одной части перегноя и трех частей почвы. Для эксперимента использовали семена без признаков инфицирования корневыми гнилями, предварительно обеззараженные пероксидом водорода. Растения выращивали в пластмассовых кюветах в течение 20 сут. Начиная с 9-х сут оценивали развитие корневых гнилей (Коршунова и др., 1976). Для определения родовой принадлежности грибов возбудителей корневых гнилей пораженные корни и стебли тщательно очищали от почвы и промывали в проточной воде. После поверхностной дезинфекции в 70% спирте материал переносили в чашки Петри на стерильные фильтры (влажная камера) и инкубировали в термостате несколько суток для развития мицелия.

В опытах с почвенной культурой исследовали влияние предпосевной обработки СК и ЯК на активность пероксидазы и каталазы в проростках проса. Для анализа использовали первый лист, пробы отбирали на 9, 12 и 15-е сут (до момента проявления видимых признаков старения первого листа).

Для определения общей активности пероксидазы (КФ 1.11.1.7) растительный материал гомогенизировали в 0,06 М К₂Na-фосфатном буфере Серенсена (рН 6,2) с добавлением NaCl (до концентрации 0,5 М). Активность фермента анализировали в супернатанте после центрифугирования гомогената при 7000 g в течение 15 мин. В качестве донора водорода использовали гваякол, в качестве субстрата – пероксид водорода (Ridge, Osborne, 1970). Оптическую плотность окрашенного продукта измеряли при длине волны 440 нм.

Для определения активности каталазы (КФ 1.11.1.6) фермент экстрагировали из растертых листьев 0,06 М К₂Na-фосфатным буфером (рН 7,4). Супернатант центрифугировали при 7000 g в течение 15 мин. Активность каталазы определяли, учитывая количество разложившейся перекиси водорода (Филиппович и др., 1982).

ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННЫХ САЛИЦИЛОВОЙ И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТ

Влияние СК и ЯК на урожайность зерна проса изучали в микрополе в опыте на опытном поле Харьковского национального аграрного университета им. В.В. Докучаева в 2009-2011 гг. на неудобренном фоне. Почва – чернозем типичный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое 4,5 %, щелочно-гидролизуемого азота (по Корнфильду) – 128 мг/кг, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно 119 и 142 мг/кг, pH_{KCl} – 5,8.

Лабораторные эксперименты проводили в 3-4-кратной повторности, при этом каждый опыт повторяли независимо не менее трех раз, повторность полевых опытов 4-кратная. Приведены средние арифметические и их стандартные отклонения либо $НСР_{0,5}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предпосевная обработка семян СК и ЯК положительно влияла на рост растений проса на ранних стадиях развития. Размеры надземной части 15-суточных проростков опытных вариантов превышали контрольные на 20-23% (рис. 1).

Под влиянием обработки семян СК и ЯК повышалась устойчивость проростков к абиотическим стрессорам – повреждающему нагреву и осмотическому шоку, что выражалось в увеличении процента выживания проростков после соответствующих потенциально летальных воздействий (рис. 1).

В почвенной культуре с естественным инфекционным фоном отмечалось заметное развитие корневых гнилей на растениях проса (рис. 2). Оценка состава микромицетов, выделенных из пораженных растений, показала, что в патогенном комплексе доминировали представители рода *Fusarium*. Предпосевная обра-

ботка СК и особенно ЯК повышала устойчивость проростков проса к корневым гнилям (рис. 2).

Повышение устойчивости растений к патогенам под влиянием СК и ЯК может быть связано с модификацией активности ферментов, участвующих в генерации и обезвреживании АФК, в частности пероксида водорода.

Как в опытных, так и в контрольных проростках отмечались флуктуации активности пероксидазы – увеличение на 12-е сут и последующее некоторое снижение на 15-е. Такие эффекты могут быть обусловлены возрастными изменениями, происходящими в листьях. При этом в листьях растений, выращенных из семян, обработанных СК и ЯК, отмечалось заметное повышение общей активности пероксидазы на 9-12-е сут, к 15 сут этот эффект нивелировался (рис. 3, А).

В активности каталазы, как и пероксидазы, отмечались изменения, по-видимому, связанные с возрастом листьев. На 12-е сут наблюдений происходило повышение активности каталазы с последующим снижением на 15 сут. Предпосевная обработка семян СК и ЯК не оказывала существенного влияния на активность каталазы в листьях при взятии проб на 9 и 12-е сут (рис. 3, Б). В то же время на 15-е сут эксперимента активность фермента в вариантах с СК и ЯК была выше, чем в контроле.

Выявленные изменения в активности ферментов, участвующих в превращении пероксида водорода, в целом не противоречат эффектам СК и ЯК, показанным для других видов растений. Так, повышение общей активности пероксидазы под влиянием СК показано в проростках (Колупаев, Карпец, 2006; Трошина и др., 2007) и каллусах (Черепанова и др., 2011) пшеницы. На изолированных корнях пшеницы

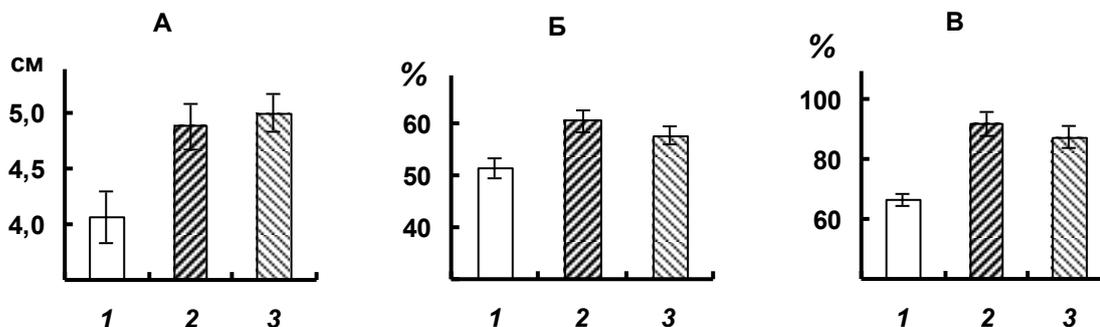


Рис. 1. Высота (см) 15-суточных проростков проса (А) и выживание (%) 4-суточных проростков после нагрева (Б) и осмотического шока (В).

Здесь и на рис. 2, 3: 1 – контроль; 2 – СК (10 мкМ); 3 – ЯК (1 мМ).

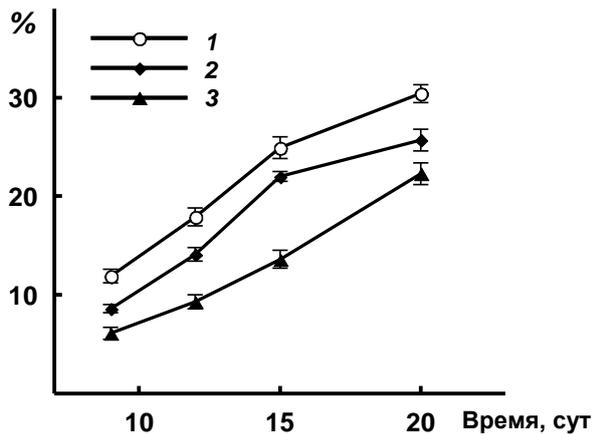


Рис. 2. Развитие корневых гнилей (%) на растениях пшена в почвенной культуре.

показано повышение активности апопластной пероксидазы и под влиянием ЯК (Minibaeva et al., 2001). Правда, этот эффект был неспецифичным, его вызывали и другие ди- и трикарбоновые кислоты. В целом данных о влиянии ЯК в физиологических концентрациях на активность пероксидазы растений пока очень мало.

Увеличение активности пероксидазы рассматривается как реакция, важная для защиты растений от грибных патогенов, поскольку этот фермент является ключевым в лигнификации клеточной стенки (Черепанова и др., 2011). Происходящее с участием пероксидазы окисление фенольных соединений клеточных стенок пероксидом водорода способствует их укреплению, что важно и для устойчивости к ряду абиотических стрессоров, в частности, к обезвоживанию (Gaspar et al., 1991). Полученные в наших экспериментах данные об увеличении активности пероксидазы под влиянием СК и ЯК хорошо согласуются с повышенной устойчивостью проростков к возбудителям

корневых гнилей (рис. 2; 3, А) и абиотическим стрессорам (рис. 1).

В литературе многие эффекты СК и ЯК ассоциируют с их ингибирующим действием на каталазу (Тарчевский и др., 1999; Панина и др., 2004). В то же время влияние СК и ЯК на активность каталазы в листьях проростков проса было незначительным (рис. 3, Б). Предпосевная обработка вряд ли могла обуславливать повышение эндогенного содержания этих кислот до величин, ингибирующих каталазу. С другой стороны, нельзя исключить пролонгированного опосредованного влияния такой обработки на активность про-/ антиоксидантных ферментов, в т.ч. каталазы. Примечательно, что на 15-е сут наблюдений в листьях растений вариантов с СК и ЯК активность каталазы была выше, чем в контрольных такого же возраста. Не исключено, что это связано с индуцированием синтеза антиоксидантных ферментов (в т.ч. каталазы) под влиянием СК и ЯК. Возможно, на определенных этапах развития растений с такими пролонгированными эффектами, вызываемыми СК и ЯК, может быть связана их повышенная устойчивость к различным стрессорам. Естественно, что это предположение требует специальных исследований. В целом же выявленные под влиянием СК и ЯК изменения активности пероксидазы и каталазы в листьях растений проса свидетельствуют о вовлечении окислительного метаболизма в реализацию физиологических эффектов этих кислот. Это предположение согласуется с полученными ранее данными об усилении образования АФК (супероксидного анион-радикала и пероксида водорода) в проростках пшеницы под влиянием экзогенных СК и ЯК (Колупаев та ін., 2007; Ястреб и др., 2010).

Ряд эффектов СК может быть обусловлен ее способностью индуцировать обратимое

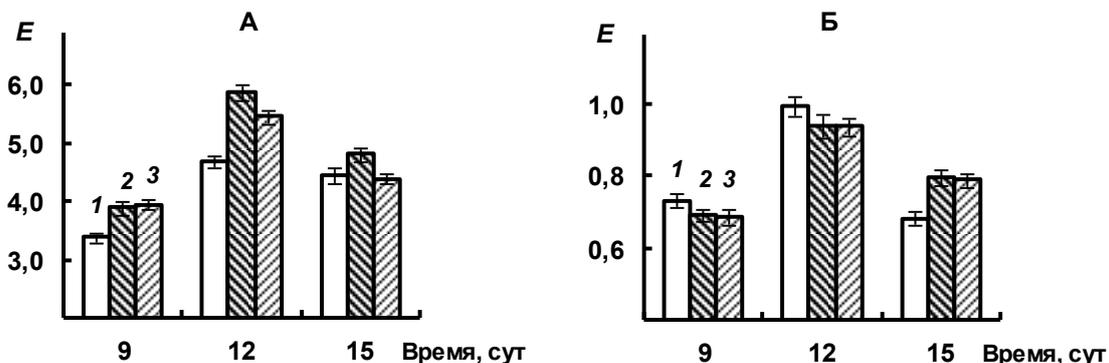


Рис. 3. Активность (E, усл. ед./г · мин)) пероксидазы (А) и каталазы (Б) в листья пшена в условиях почвенной культуры.

ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННЫХ САЛИЦИЛОВОЙ И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТ

Урожайность зерна и структура продуктивности проса

| Вариант | Продуктивных метелок на стебле, шт. | Масса зерна с одной метелки, г | Урожайность, г/м ² |
|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 2009 г. | | | |
| Контроль | 1,36 | 0,71 | 157,3 |
| СК, 10 мкМ | 1,45 (106) | 0,73 (103) | 177,8 (113) |
| ЯК, 1 мМ | 1,32 (97) | 0,79 (111) | 172,2 (110) |
| НСР ₀₅ | 0,13 | 0,11 | 16,0 |
| 2010 г. | | | |
| Контроль | 2,03 | 0,61 | 98,0 |
| СК, 10 мкМ | 2,28 (112) | 0,77 (126) | 148,6 (152) |
| ЯК, 1 мМ | 2,20 (108) | 0,67 (109) | 135,8 (139) |
| НСР ₀₅ | 0,16 | 0,14 | 21,1 |
| 2011 г. | | | |
| Контроль | 2,43 | 0,59 | 133,8 |
| СК, 10 мкМ | 3,40 (140) | 0,64 (109) | 196,9 (147) |
| ЯК, 1 мМ | 3,40 (140) | 0,57 (97) | 170,0 (127) |
| НСР ₀₅ | 0,42 | 0,12 | 16,5 |

Примечание. В скобках – % к контролю.

накопление стрессового гормона – абсцизовой кислоты (Shakirova et al., 2003), которая, в свою очередь, активирует другие защитные реакции (Hose et al., 2000; Shakirova et al., 2003). В литературе описаны эффекты индуцирования под влиянием СК экспрессии генов ряда защитных белков, в т.ч. антиоксидантных ферментов (Wang, Li, 2006) и дегидринов (Аллагулова и др., 2011), активации накопления низкомолекулярных протекторов, например, пролина и сахаров (Shakirova et al., 2003; Колупасев та ін., 2007; El Tayeb, Ahmed, 2010). Не исключено, что, по крайней мере, некоторые из перечисленных эффектов характерны и для ЯК, которая также способна усиливать генерацию растениями АФК, участвующих в клеточном сигналинге и запуске различных защитных реакций (Ястреб и др., 2010).

Исследование влияния препаратов на интегральный показатель – урожайность в полевых условиях – дает информацию об их комплексном адаптивном действии на растения. В полевом опыте 2009 года отмечено достоверное увеличение урожайности зерна проса под влиянием СК (таблица). В варианте с ЯК наблюдалась тенденция к увеличению урожая ($p \leq 0.1$). В 2010-2011 гг. эффекты исследуемых кислот на урожайность зерна проса были более существенными (таблица). Достоверное увеличение урожайности наблюдалось под действием как СК, так и ЯК. При этом в 2011 году в эффект СК был достоверно большим по сравнению с действием ЯК.

В 2010-2011 гг. в вариантах с обработкой СК и ЯК отмечалось существенное повышение

количества продуктивных метелок на стебле, в 2009 г. такой эффект не проявлялся (таблица). Предпосевная обработка СК вызвала тенденцию к повышению массы зерна с одной метелки, в засушливом 2010 г. этот эффект был достоверным. Менее существенное влияние на этот показатель структуры урожая оказывала ЯК, хотя и в этом случае отмечен положительный эффект в 2009 и 2010 гг.

В целом положительное влияние органических кислот на урожайность проса проявлялось в увеличении как количества продуктивных метелок на стебле, так и массы зерна с одной метелки. При этом эффекты СК были более выраженными по сравнению с действием ЯК.

Итак, полученные результаты позволяют констатировать положительное влияние предпосевной обработки растворами СК и ЯК на рост и устойчивость растений проса к абиотическим (гипертермии и осмотическому шоку) и биотическому (корневые гнили) стрессорам. По крайней мере, одной из причин положительного влияния СК и ЯК на устойчивость растений проса к стрессорам различной природы может быть изменение окислительного метаболизма, о чем свидетельствуют флуктуации активности пероксидазы и каталазы в листьях проростков. Данные явления изучены на ранних фазах развития растений. В то же время положительное влияние предпосевной обработки семян проса СК и ЯК на показатели продуктивности позволяет предполагать и о наличии пролонгированных эффектов указанных кислот. Для выяснения их физиологических механизмов необходимы специальные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Аллагулова Ч.Р., Ключникова Е.О., Шкильдина И.Н., Шакирова Ф.М. Роль эндогенной АБК в регуляции салициловой кислотой экспрессии *TADHN* гена дегидрина в растениях пшеницы // VII Съезд Общества физиологов растений России «Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий» и Международная научная школа «Инновации в биологии для развития биоиндустрии сельскохозяйственной продукции». – Н. Новгород, 2011. – Ч. 1. – С. 44-45.
- Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. – Киев: Основа, 2010. – 351 с.
- Колупаев Ю.Е., 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.
- Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В., Мусатенко Л.І. Участь активних форм кисню в індукуванні солестійкості проростків пшениці саліциловою кислотою // Доповіді НАН України. – 2007. – № 6. – С. 154-158.
- Кориунова А.Ф., Чумаков А.С., Щекочихина Р.И. Защита пшеницы от корневых гнилей. – Л.: Колос, 1976. – 184 с.
- Панина Я.С., Васюкова Н.И. Озерецковская О.Л. Ингибирование активности каталазы клубней картофеля салициловой и янтарной кислотами // Докл. АН [Россия]. – 2004. – Т. 397, № 1. – С. 131-133.
- Плотникова Л.Я., Штубей Т.Ю. Влияние салициловой и янтарной кислот на цитофизиологические реакции пшеницы, инфицированной бурой ржавчиной // Цитология. – 2009. – Т. 51, № 1. – С. 43-52.
- Применение регуляторов роста в растениеводстве. Справочник / Отв. ред. Л.А. Салей. – Кишинев: Штиинца, 1981. – 158 с.
- Тарчевский И.А., Максютова Н.Н., Яковлева В.Г., Гречкин А.Н. Янтарная кислота – миметик салициловой кислоты // Физиология растений. – 1999. Т. 46, № 1. – С. 23-28.
- Трошина Н.Б., Яруллина Л.Г., Валеев А.Ш., Максимов И.В. Индукция салициловой кислотой устойчивости пшеницы к *Septoria nodorum* Berk. // Известия РАН. Сер. биологическая. – 2007. – № 5. – С. 545-550.
- Филиппович Ю.В., Егорова Т.А., Севастьянова Г.А. Практикум по биохимии. – М.: Просвещение, 1982. – 312 с.
- Черепанова Е.А., Максимов И.В., Трошина Н.Б., Сурина О.Б. Влияние салициловой и жасмоновой кислот на устойчивость каллусов пшеницы к *Tilletia caries* (DC) Tull. и *Ustilago tritici* (Pers) Jens. // Клеточная сигнализация у растений: III-й международный симпозиум. – Казань, 2011. – С. 209-210.
- Шакирова Ф.М. Салициловая кислота – индуктор устойчивости растений к неблагоприятным факторам // Агрехимия. – 2000. – № 11. – С. 87-94.
- Ястреб Т.О., Колупаев Ю.Е., Синькевич М.С., Швиденко Н.В., Обозный А.И. Повышение теплоустойчивости проростков пшеницы действием экзогенных ароматических и янтарной кислот: связь эффектов с генерацией активных форм кислорода // Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Серія Біологія. – 2010. – Вип. 3 (21). – С. 44-53.
- Chen Z., Silva H., Klessing D.F. Active oxygen species in the induction of plant systemic acquired resistance by salicylic acid // Science. – 1993. – V. 262. – P. 1883-1886.
- Dat J.F., Lopez-Delgado H.L., Foyer C.H., Scott I.M. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings // Plant Physiol. – 1998. – V. 116. – P. 1351-1357.
- Durner J., Klessig D.F. Salicylic acid is a modulator of tobacco and mammalian catalases // J. Biol. Chem. – 1996. – V. 271. – P. 28492-28501.
- El Tayeb M.A., Ahmed N.L. Response of wheat cultivars to drought and salicylic acid // American-Eurasian J. Agronomy. – 2010. – V. 3, № 1. – P. 1-7.
- Gaspar Th., Penel C., Hagege D., Greppin H. Peroxidases in plant growth, differentiation, and development processes // Biochemical, molecular, and physiological aspects of plant peroxidases /Eds Lobazewski G. et al. – Lublin, Geneva: Univ. M. Curie-Sklodowska, 1991. – P. 249-280.
- Horvath E., Janda T., Szalai G., Paldi E. In vitro salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isozymes and a possible role in the induction of chilling tolerance // Plant Sci. – 2002. – V. 163. – P. 1129-1135.
- Hose E., Steudle E., Hartung W. Abscisic acid and hydraulic conductivity of maize roots: A study using cell- and root-pressure probes // Planta. – 2000. – V. 211, № 6. – P. 874-882.
- Liu H. T., Huang W. D., Pan Q. H., Weng F. H., Zhan J. C., Liu V., Wan S. B., Liu Y.-Y. Contributions of PIP₂-specific-phospholipase C and free salicylic acid to heat acclimation-induced thermotolerance in pea leaves // J. Plant Physiol. – 2006. – V. 163. – P. 405-416.
- Minibayeva F.V., Gordon L.K., Kolesnikov O.P., Chasov A.V. Role of extracellular peroxidase in the su-

ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННЫХ САЛИЦИЛОВОЙ И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТ

- peroxide production by wheat root cells // *Protoplasma*. – 2001. – V. 217. – P. 125-128.
- Raskin I. Salicylic acid, a new plant hormone // *Plant Physiol.* – 1992. – V. 99. – P. 799-803.
- 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.
- Shakirova F.M., Sakhabutdinova A.R., Bezrukova M.V., Fatkhutdinova R.A., Fatkhutdinova D.R. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity // *Plant Sci.* – 2003. – V. 164. – P. 317-322.
- Wang L.J., Li S.H. Thermotolerance and related antioxidant enzyme activities induced by heat acclimation and salicylic acid in grape (*Vitis vinifera* L.) leaves // *Plant Growth Regul.* – 2006. – V. 48. – P. 137-144.

Поступила в редакцию
30.09.2011 г.

INFLUENCE OF EXOGENOUS SALICYLIC AND SUCCINIC ACIDS ON MILLET PLANTS RESISTANCE TO ABIOTIC AND BIOTIC STRESSORS

G. P. Kots, T. O. Yastreb, M. V. Shvidenko, O. M. Batova,
M. M. Miroshnichenko, V. P. Turenko, Yu. Ye. Kolupaev

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

The influence of pre-sowing seed treatment with solutions of salicylic (SA – 10 μ M) or succinic (SuA – 1 mM) acids on millet (*Panicum miliaceum* L.) stability to heat stress, osmotic shock, to the exciters of root rots and the productivity of grain has been studied. Plants, grown from treated seed, were characterized with increased resistance to heating and osmotic shock and also with stability to the exciters of root rots on the early phases of development. The increase of guaiacol peroxidase activity and fluctuations of catalase activity was marked in the leaves of plants of experimental variants. Seed treatment with SA and SuA positively influenced on the yield of grain, the effect of SA was more substantial here. The influence of SA and SuA on oxidative metabolism inducing the formation of plant protective reactions can be at least one of causes of their positive effects.

Key words: *Panicum miliaceum* L., salicylic acid, succinic acid, heat stress, osmotic shock, root rots, guaiacol peroxidase, catalase

ВПЛИВ ЕКЗОГЕННИХ САЛІЦИЛОВОЇ І ЯНТАРНОЇ КИСЛОТ НА СТІЙКІСТЬ РОСЛИН ПРОСА ДО АБІОТИЧНИХ ТА БІОТИЧНИХ СТРЕСОРІВ

Г. П. Коц, Т. О. Ястреб, М. В. Швиденко, О. М. Батова,
М. М. Мірошніченко, В. П. Туренко, Ю. Є. Колупаєв

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

Вивчали вплив передпосівної обробки насіння розчинами саліцилової (СК – 10 мкМ) або янтарної (ЯК – 1 мМ) кислот на стійкість проса (*Panicum miliaceum* L.) до гіпертермії, осмотичного шоку, збудників корневих гнилей та урожайність зерна. Рослини, вирощені з насіння, обробленого органічними кислотами, на ранніх фазах розвитку характеризувалися підвищеною резистентністю до нагріву та осмотичного шоку, а також стійкістю до збудників корневих гнилей. У листках рослин дослідних варіантів відзначалися підвищення активності гваяколпероксидази і флуктуації активності каталази. Обробка насіння СК і ЯК позитивно впливала на урожай зерна, при цьому ефект СК був більш істотним. Принаймні, однією з причин позитивних ефектів СК і ЯК може бути їх вплив на окиснювальний метаболізм, що індукуює формування захисних реакцій рослин.

Ключові слова: *Panicum miliaceum* L., саліцилова кислота, янтарна кислота, гіпертермія, осмотичний шок, кореневі гнілі, гваяколпероксидаза, каталаза