

УДК 581.1

ВЛИЯНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТ НА АКТИВНОСТЬ СУПЕРОКСИДИДИСМУТАЗЫ И СОДЕРЖАНИЕ ПРОЛИНА В ПРОРОСТКАХ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА

© 2012 г. Т. О. Ястреб

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

Проводили сравнительное исследование влияния двух ароматических (салициловой – СК и бензойной – БК) и янтарной (ЯК) кислот на солеустойчивость проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.), содержание в них пролина и активность антиоксидантного фермента супероксиддисмутазы (СОД). Инкубация проростков в течение суток на растворах СК и ЯК в концентрации 1 мкМ вызвала заметное повышение их солеустойчивости, что проявлялось в меньшем ингибировании роста корней и побегов проростков после воздействия соли, а также большей массе проростков этих вариантов по сравнению с контрольными. Положительное влияние БК на солеустойчивость проростков было незначительным. В побегах проростков, обработанных ЯК, отмечалось повышение содержания пролина после солевого стресса, при обработке СК проявлялась тенденция к увеличению содержания этой аминокислоты в побегах, БК не оказывала влияния на накопление пролина. Предварительная обработка проростков СК и ЯК проводила к некоторому повышению активности СОД в побегах проростков. После солевого стресса активность СОД значительно снижалась в корнях и повышалась в побегах проростков. В то же время в органах проростков, инкубировавшихся на СК, активность фермента оставалась более высокой по сравнению с соответствующим контролем. ЯК проявляла похожий, но менее выраженный эффект. БК не влияла на активность фермента ни в корнях, ни в побегах проростков. Сделано заключение о перспективности применения СК и ЯК для повышения устойчивости растений к засолению почв.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., салициловая кислота, бензойная кислота, янтарная кислота, солеустойчивость, пролин, супероксиддисмутаза

Салициловая (2-оксибензойная) кислота (СК) в настоящее время рассматривается как представитель класса гормоноподобных соединений, активно участвующих в формировании защитных реакций растений на биотические и абиотические стрессоры. Так, СК непосредственно задействована в реакции сверхчувствительности при атаке патогенов, а также в формировании системной приобретенной устойчивости (Васюкова, Озерецковская, 2007).

Зарегистрировано увеличение содержания эндогенной СК в растениях в ответ на действие не только биотических, но и абиотиче-

ских стрессоров, в т.ч. гипертермии (Kaplan et al., 2004) и засоления среды (Sawada et al., 2006). Показана возможность индуцирования устойчивости растений к абиотическим стрессорам экзогенной СК (Shakirova et al., 2003; Колупаев, Карпец, 2009). Часть эффектов СК связывают с ее способностью влиять на активность про- и антиоксидантных ферментов и модифицировать процесс образования и обезвреживания активных форм кислорода (АФК) (Chen et al., 1993; Mika et al., 2010), которые являются сигнальными посредниками и могут участвовать в индуцировании различных защитных реакций растений.

СК является гидроксильированным производным бензойной кислоты (БК). В литературе являются сведения об эффектах БК, сходных с действием СК. Так, под влиянием экзогенной

Адрес для корреспонденции: Ястреб Татьяна Олеговна, Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева, п/в «Коммунист-1», Харьков, 62483, Украина;
e-mail: t_howk@ukr.net

БК повышалась устойчивость растений фасоли и томата к тепловому шоку, засухе и охлаждению (Senaratna et al., 2003). БК, как и СК, может ингибировать каталазу у некоторых видов растений (Janda et al., 2000) и тем самым влиять на количество АФК в клетках. В то же время в целом физиологические эффекты БК остаются малоизученными. Не ясно, связаны ли они с действием самой БК или с ее превращением в другие фенольные кислоты, в частности, в СК.

Янтарная кислота (ЯК) традиционно рассматривается как субстрат дыхания растений, однако в низких концентрациях, сопоставимых с физиологическими концентрациями СК, ЯК проявляет себя как ее миметик, индуцирующий в растениях синтез тех же полипептидов, которые образуются и в ответ на обработку СК (Тарчевский и др., 1999). Также имеются данные о сходном (активирующем) влиянии ЯК и СК на активность форм пероксидазы, генерирующих у растений активные формы кислорода (АФК) (Minibaeva et al., 2001). Кроме того, показана способность ЯК, как и СК ингибировать каталазу (Панина и др., 2004), хотя каталаза не всех видов растений чувствительна к действию физиологических концентраций указанных кислот (Колупаев та ін., 2010).

Показана способность СК индуцировать солеустойчивость растений (Shakirova et al., 2003). Установлено повышение в условиях солевого стресса активности антиоксидантных ферментов у проростков пшеницы, обработанных СК (Сахабутдинова и др., 2004). Также на отдельных сортах пшеницы показана возможность усиления накопления пролина – известного полифункционального протектора – под действием экзогенной СК (Колупаев та ін., 2007). Можно предположить, что и другие органические кислоты (БК, ЯК), проявляющие сходство некоторых физиологических эффектов с СК, будут оказывать влияние на реакции, связанные с адаптацией растений к солевому стрессу. Однако в литературе нам не удалось найти сведений о влиянии БК и ЯК на содержание в растениях низкомолекулярных протекторов и активность супероксиддисмутазы (СОД), являющейся «первым рубежом» в системе антиоксидантной защиты (Alscher et al., 2002).

В связи с этим целью работы явилось сравнение влияния экзогенных СК, БК и ЯК на солеустойчивость проростков пшеницы, а также на накопление в них пролина и активность СОД.

МЕТОДИКА

Исследования проводили на этиолированных проростках пшеницы мягкой озимой (*Triticum aestivum* L.) сорта Элегия. Семена обеззараживали 30-минутным погружением в 6 %-й раствор пероксида водорода, после чего тщательно промывали дистиллированной водой и проращивали в темноте в чашках Петри при температуре $23 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Трехсуточные проростки инкубировали на растворах СК, ЯК и БК в концентрации 1 мкМ в течение 24 ч, после чего подвергали их солевому стрессу путем 7-часового погружения корневой системы проростков в 3 %-й раствор NaCl. Проростки контрольного варианта до стресса инкубировали на дистиллированной воде. Через сутки после стрессового воздействия проростки выставляли на рассеянный свет (3000 лк) для отрастания.

Солеустойчивость оценивали по ингибированию роста проростков относительно абсолютного контроля, не подвергавшегося действию эффекторов и соли. Морфометрические показатели – длину корня и побега, сырую массу проростков – определяли на третьи сутки после стресса. Биохимические показатели определяли отдельно в корнях и побегах после 24-часовой обработки проростков растворами кислот (до стресса) и сразу после воздействия солевого стресса.

Содержание пролина в корнях и побегах проростков пшеницы определяли по методу Бейтса (Bates, 1970) с модификациями. Пролин экстрагировали из растительного материала дистиллированной водой с последующим 10-минутным кипячением, экстракт фильтровали и к порциям фильтрата добавляли равные объемы нингидринового реактива и ледяной уксусной кислоты и кипятили пробы в течение 1 ч на водяной бане. Оптическую плотность окрашенного продукта определяли при длине волны 520 нм. Как стандарт использовали L-пролин.

Для определения активности СОД растительный материал гомогенизировали в 0,15 М К₂Na-фосфатном буфере (рН 7,6) с добавлением детергента Тритона X-100 (конечная концентрация 0,1 %). Гомогенат центрифугировали при 7000 г в течение 10 мин, после чего определяли активность фермента в супернатанте, используя метод, в основе которого способность фермента конкурировать с нитросиним тетразолием за супероксидные анион-радикалы, образующиеся при аэробном взаимодействии феназинметасульфата с НАДН (Чевари и др., 1985).

Влияние органических кислот на солеустойчивость проростков пшеницы

Вариант	Длина корня		Длина побега		Масса проростка	
	см	%	см	%	мг	%
Контроль	6,96 ± 0,18	100	12,8 ± 0,23	100	101 ± 4,0	100
NaCl (3 %)	2,35 ± 0,11	33,8	10,4 ± 0,29	81,4	73 ± 3,9	72,2
СК (1мкМ)	6,77 ± 0,21	97,3	12,7 ± 0,18	98,9	102 ± 4,6	100,8
СК (1мкМ) + NaCl (3 %)	2,80 ± 0,14	40,2	11,3 ± 0,21	88,0	79 ± 5,1	78,6
БК (1мкМ)	6,61 ± 0,22	95,0	12,8 ± 0,28	100,0	102 ± 6,6	101,6
БК (1мкМ) + NaCl (3 %)	2,50 ± 0,16	35,9	10,9 ± 0,21	85,2	75 ± 4,7	74,6
ЯК (1мкМ)	6,70 ± 0,19	96,3	13,0 ± 0,17	101,6	100 ± 3,5	99,2
ЯК (1мкМ) + NaCl (3 %)	2,75 ± 0,10	39,5	11,2 ± 0,20	87,4	79 ± 4,8	78,6

Повторность независимых опытов не менее чем 4-кратная при 2-3-кратной биологической повторности в каждом варианте. В таблице и на рисунках приведены средние значения независимых опытов и их стандартные отклонения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Инкубация корневой системы проростков пшеницы в течение суток на 1 мкМ растворах исследуемых кислот не влияла на ростовые показатели и массу проростков. Рост растений, подвергнутых солевому стрессу, значительно замедлялся, закономерно наиболее сильно угнетался рост корневой системы (таблица), хотя в то же время наблюдалось образование дополнительных корней. Предварительная обработка проростков СК и ЯК заметно повышала их устойчивость к солевому стрессу, что проявлялось в большем приросте корней и побегов после воздействия NaCl. При этом сырая масса проростков, обработанных СК или ЯК, через трое суток после солевого стресса была несколько выше, чем у проростков контрольного варианта (таблица). Положительные эффекты БК проявлялись лишь на уровне тенденции.

Исследуемые кислоты сами по себе не влияли на содержание пролина в корнях и побегах проростков пшеницы (рис. 1). После 7-часового солевого стресса его количество повышалось как в корнях, так и в побегах проростков всех вариантов опыта. При этом абсолютные значения содержания пролина в побегах проростков, обработанных ЯК, были достоверно большими, чем в соответствующем контроле. В варианте с СК количество пролина в побегах также превышало контроль, однако этот эффект был недостоверным при $p \leq 0,05$ (рис. 1). Предобработка проростков БК существенно не влияла на содержание пролина в орга-

нах проростков, подвергнутых солевому стрессу.

Предварительная обработка проростков салициловой и янтарной кислотами в течение 24 ч приводила к некоторому повышению активности СОД в побегах проростков пшеницы, при этом в корнях достоверных изменений активности фермента в это время не отмечалось (рис. 2). БК не влияла на активность СОД ни в корнях, ни в побегах проростков.

После солевого стресса отмечалось значительное снижение активности СОД в корнях проростков и ее повышение в побегах. В то же время в корнях проростков, инкубированных на СК и ЯК, активность СОД оставалась более высокой по сравнению с соответствующим «солевым» контрольным вариантом. В побегах проростков, обработанных СК, после солевого стресса также отмечались большие значения активности СОД. ЯК проявляла похожий, но менее выраженный эффект. Предобработка проростков БК не влияла на активность фермента в условиях действия солевого стресса (рис. 2).

Итак, СК и ЯК проявляли заметное положительное влияние на солеустойчивость проростков пшеницы. Примечательно, что СК более существенно по сравнению с ЯК индуцировала активность СОД в органах проростков пшеницы, но слабо влияла на содержание пролина. В то же время ЯК усиливала его накопление в побегах на фоне солевого стресса. В литературе имеются сведения о реципрокном взаимоотношении между активностью СОД у растений и системой аккумуляции пролина при действии стрессоров, в т.ч. засоления (Карташов и др., 2008). Известно, что пролин проявляет выраженные антиоксидантные, в т.ч. антирадикальные свойства (Okuma et al., 2004; Радюкина и др., 2008) и, по-видимому, может

ВЛИЯНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТ

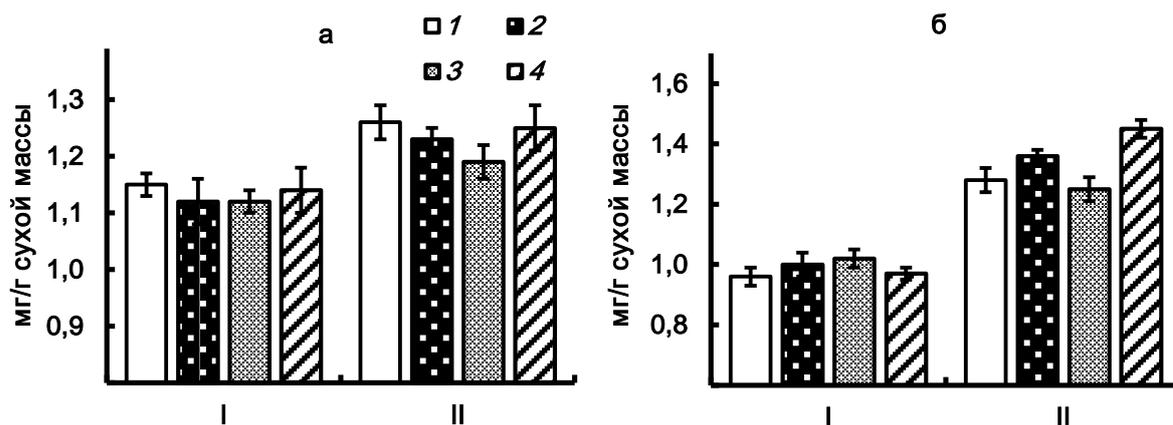


Рис. 1. Влияние солевого стресса и органических кислот на содержание пролина в корнях (а) и побегах (б) проростков пшеницы.

Здесь и на рис. 2: 1 – контроль, 2-4 – соответственно СК, БК и ЯК в концентрации 1 мкМ. I – до стресса, II – после стресса.

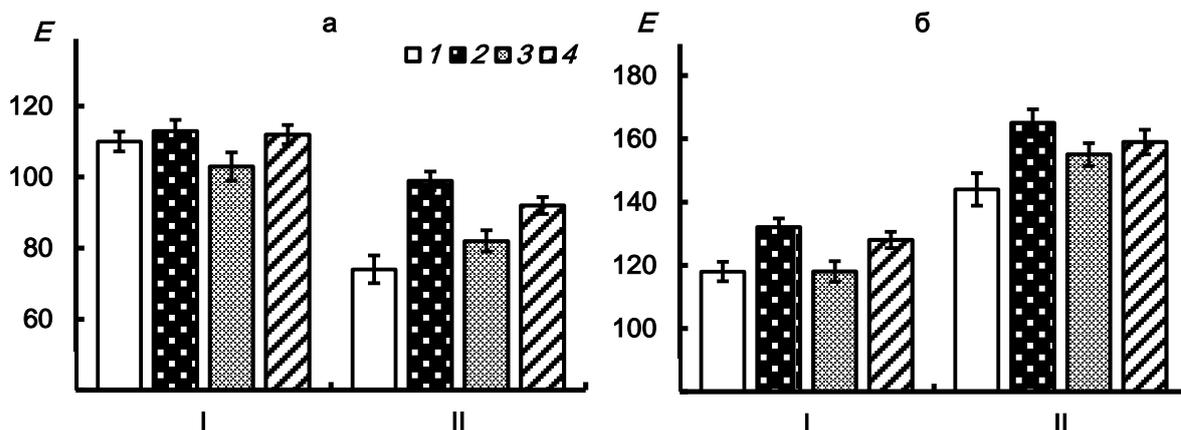


Рис. 2. Влияние солевого стресса и органических кислот на активность СОД (E , усл. ед./г сухого вещества · мин) в корнях (а) и побегах (б) проростков пшеницы.

Условные обозначения, как на рис. 1.

частично компенсировать снижение активности СОД в стрессовых условиях.

Действие БК на изучаемые показатели было незначительным. Не исключено, что небольшое положительное влияние обработки проростков пшеницы экзогенной БК на их солеустойчивость обусловлено ее частичным превращением в растительных клетках в более физиологически активную СК (Chen et al., 2009).

Таким образом, СК и ЯК вызывали повышение солеустойчивости проростков пшеницы. При этом положительное влияние ЯК было вполне сопоставимым с эффектами СК, положительное влияние которой на солеустойчивость растений, в т.ч. пшеницы, показано и ря-

де других работ (Shakirova et al., 2003; Сахабутдинова и др., 2007; Deef, 2007; Joseph et al., 2010). Одной из причин такого влияния СК и ее миметика ЯК может быть повышение активности антиоксидантных ферментов, в т.ч. СОД. Известно, что одним из последствий влияния повышенных концентраций солей на растения является окислительный стресс (Mudgal et al., 2010). От активности СОД, как известно, зависит не только утилизация супероксидного анион-радикала, но и вероятность образования других АФК в неферментативных реакциях (Alscher et al., 2002). Показано, что трансформированные растения арабидопсиса с избыточной экспрессией гена митохондриальной Mn-СОД (Wang et al., 2004) и растения табака с повышенной экспрессией гена Cu/Zn-СОД

(Badawi et al., 2004) отличались более высокой солеустойчивостью.

Вполне естественно, что СК и ЯК могли индуцировать и активность ряда других антиоксидантных ферментов, участвующих в повышении неспецифической устойчивости растений к абиотическим стрессорам. Так, на растениях вигны показано положительное влияние СК на активность аскорбатпероксидазы и глутатиоредуктазы (Khan et al., 2010). Ранее нами на проростках проса установлено повышение, наряду с СОД, активности неспецифической пероксидазы (Ястреб и др., 2012) и каталазы (Колупаев та ін., 2010) под влиянием СК и ЯК.

Еще одним защитным механизмом в условиях осмотического и солевого стрессов может быть индуцирование накопления низкомолекулярных протекторов, в частности, пролина. Однако его вклад в индуцированную СК и ЯК устойчивость к солевому стрессу в условиях наших экспериментов был небольшим. Содержание этой аминокислоты увеличивалось лишь в побегах под влиянием ЯК, подобный эффект СК проявлялся на уровне тенденции (рис. 1). Следует отметить, что на примере другого сорта пшеницы (Донецкой 48) установлено более существенное повышение содержания пролина в побегах и корнях под влиянием экзогенной СК (Колупаев та ін., 2007). В то же время другими авторами показано отсутствие влияния СК на накопление пролина растениями пшеницы при условиях засухи и засоления (El Tayeb, Ahmed, 2010). При этом под действием СК усиливалось накопление сахаров. У растений фасоли, обработанных СК, в условиях умеренного солевого стресса содержание пролина и сахаров было несколько ниже, чем в необработанных, но также подвергнутых действию хлорида натрия (Palma et al., 2009). Авторы полагают, что это указывает на более успешную акклимацию при засолении у растений, обработанных СК. Отличия эффектов, выявленные в наших исследованиях и указанных работах, по-видимому, обусловлены различной силой неблагоприятного воздействия. В наших экспериментах проводилось жесткое солевое воздействие, в то время как в работах Palma et al. (2009) и El Tayeb, Ahmed (2010) – умеренное. Такое воздействие могло быть недостаточным для включения защитных механизмов, связанных с накоплением низкомолекулярных протекторов растениями, преадаптированными действием СК.

Так или иначе, СК и ЯК, по-видимому, могут индуцировать достаточно широкий спектр защитных реакций растений, обуславливающих повышение устойчивости к абиотическим стрессорам, в т.ч. к засолению. Индуцирование устойчивости растений действием СК и ЯК в значительной степени может быть обусловлено их способностью вызывать транзиторное накопление АФК путем влияния на комплекс ферментов, генерирующих и обезвреживающих АФК (Колупаев та ін., 2011). Примечательно, что ранее на проростках пшеницы нами был показан эффект усиления генерации супероксидного анион-радикала и повышения содержания пероксида водорода под влиянием СК и ЯК. БК, слабо влияющая на устойчивость растений к стрессорам, не оказывала существенного влияния и на образование АФК в растительных тканях.

В целом, полученные результаты позволяют рассматривать ЯК и СК как регуляторы роста растений, перспективные для применения в условиях засоления почв.

ЛИТЕРАТУРА

- Васюкова Н.И., Озерецковская О.Л. Индуцированная устойчивость растений и салициловая кислота (обзор) // Прикл. биохимия и микробиология. – 2007. – Т. 43, № 4. – С. 405-411.
- Карташов А.В., Радюкина Н.Л., Иванов Ю.В., Пащковский П.П., Шевякова Н.И., Кузнецов Вл.В. Роль систем антиоксидантной защиты при адаптации дикорастущих видов растений к солевому стрессу // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 4. – С. 516-522.
- Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Салициловая кислота и устойчивость растений к абиотическим стрессорам // Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2009. – Вип. 2 (17). – С. 19-39.
- Колупаев Ю.Є., Карпець Ю.В., Мусатенко Л.І. Участь активних форм кисню в індукованні солестійкості проростків пшениці салициловою кислотою // Доповіді НАН України. – 2007. – № 6. – С. 154-158.
- Колупаев Ю.Є., Ястреб Т.О., Мусатенко Л.І. Порівняння впливу салицилової та янтарної кислот на активність супероксиддисмутази й каталази і теплостійкість проростків проса (*Panicum miliaceum* L.) // Доповіді НАН України. – 2010. – № 10. – С. 154-159.
- Колупаев Ю.Є., Ястреб Т.О., Швиденко М.В., Карпец Ю.В. Вплив салицилової і янтарної кислот на утворення активних форм кисню в колеопти-

ВЛИЯНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТ

- лях пшениці // Укр. біохім. журн. – 2011. – Т. 83, № 5. – С. 82-88.
- 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.
- Радюкина Н.Л., Шашукова А.В., Шевякова Н.И., Кузнецов Вл.В.* Участие пролина в системе антиоксидантной защиты у шалфея при действии NaCl и параквата // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 5. – С. 721-730.
- Сахабутдинова А.Р., Фатхутдинова Д.Р., Шакирова Ф.М.* Влияние салициловой кислоты на активность антиоксидантных ферментов у пшеницы в условиях засоления // Прикл. биохимия и микробиология. – 2004. – Т. 40, № 5. – С. 579-583.
- Тарчевский И.А., Максютлова Н.Н., Яковлева В.Г., Гречкин А.Н.* Янтарная кислота – миметик салициловой кислоты // Физиология растений. – 1999. – Т. 46, № 1. – С. 23-28.
- 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.
- 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.
- Ястреб Т.О., Мирошниченко Н.Н., Колупаев Ю.Е., Коц Г.П.* Влияние микроудобрения реаком, салициловой и янтарной кислот на адаптацию растений проса к неблагоприятным условиям среды // Агрехимия. – 2012. – № 4. – С. 60-67.
- 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.
- Badawi G.H., Kawano N., Yamauchi Y., Shimada E., Sasaki R., Kubo A., Tanaka K.* Enhanced tolerance to salt stress and water deficit by overexpressing superoxide dismutase in tobacco chloroplasts // Plant Sci. – 2004. – V. 166. – P. 919-928.
- 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.
- 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, № 5141. – P. 1883-1886.
- Chen Z., Zheng Z., Huang J., Lai Z., Fan B.* Biosynthesis of salicylic acid in plants // Plant Signal. Behav. – 2009. – V. 4. – P. 493-496.
- Deef H.E.* Influence of salicylic acid on stress tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare* // Adv. Biol. Res. – 2007. – V. 1. – P. 40-48.
- 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.
- Janda T., Szalai G., Antunovics Zs., Paldi E.* Effect of benzoic acid and aspirin on chilling tolerance and photosynthesis in young maize plants // Maydica. – 2000. – V. 45, № 1. – P. 29-33.
- Joseph B., Jini D., Sujatha S.* Insight into the role of exogenous salicylic acid on plants grown under salt environment // Asian J. Crop Sci. – 2010. – V. 2. – P. 226-235.
- Kaplan F., Kopka J., Haskell D.W., Zhao W., Schiller K.C., Gatzke N., Sung D.Y., Guy C.L.* Exploring the temperature-stress metabolome of Arabidopsis // Plant Physiol. – 2004. – V. 136. – P. 4159-4168.
- Khan N.A., Syeed S., Masood A.* Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress // Int. J. Plant Biol. – 2010. – V. 1. – P. 1-8.
- Mika A., Boenisch M.J., Hopff D., Luthje S.* Membrane-bound guaiacol peroxidases from maize (*Zea mays* L.) roots are regulated by methyl jasmonate, salicylic acid, and pathogen elicitors // J. Exp. Bot. – 2010. – V. 61. – P. 831-841.
- Minibayeva F.V., Gordon L.K., Kolesnikov O.P., Chasov A.V.* Role of extracellular peroxidase in the superoxide production by wheat root cells // Protoplasma. – 2001. – V. 217. – P. 125-128.
- Mudgal V., Madaan N., Mudgal A.* Biochemical mechanisms of salt tolerance in plants: A review // Int. J. Bot. – 2010. – V. 6. – P. 136-143.
- Okuma E., Murakami Y., Shimoishi Y., Tada M., Murata Y.* Effects of exogenous application of proline and betaine on the growth of tobacco cultured cells under saline conditions // Soil Sci. Plant Nutr. – 2004. – V. 50. – P. 1301-1305.
- Palma F., Lluch C., Iribarne C., Garcia-Garrido J.M., Tejera Garcia N.A.* Combined effect of salicylic acid and salinity on some antioxidant activities, oxidative stress and metabolite accumulation in *Phaseolus vulgaris* // Plant Growth Regul. – 2009. – V. 58. – P. 307-316.
- Sawada H., Shim I., Usui K.* Induction of benzoic acid-2-hydroxylase and salicylic acid biosynthesis – Modu-

- lation by salt stress in rice seedlings // *Plant Sci.* – 2006. – V. 171. – P. 263-270.
- Senaratna T., Merritt D., Dixon K., Bunn E., Touchell D., Sivasithamparam K. Benzoic acid may act as the functional group in salicylic acid and derivatives in the induction of multiple stress tolerance in plants // *Plant Growth Regul.* – 2003. – V. 39. – P. 77-81.
- 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 X.J., Reyes J.L., Chua N.H. Prediction and identification of *Arabidopsis thaliana* micro RNAs and their mRNA targets Gaasterland // *Genome Biol.* – 2004. – V. 5. – P. R65-R65.

Поступила в редакцію
11.06.2012 з.

INFLUENCE OF AROMATIC AND SUCCINIC ACIDS ON SUPEROXIDE DISMUTASE ACTIVITY AND PROLINE CONTENT IN WHEAT SEEDLINGS UNDER SALT STRESS CONDITIONS

T. O. Yastreb

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

The comparative study of influence of two aromatic (salicylic – SA and benzoic – BA) and succinic (SuA) acids on salt tolerance of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.), content of proline and activity of antioxidant enzyme superoxide dismutase (SOD) was carried out. Incubation of seedlings on the SA and SuA solutions at the concentration of 1 mM during 1 day caused the significant increase in their salt tolerance, which became evident in less inhibition of growth of seedlings roots and shoots after exposure to salt as well as the greater mass of seedlings of these variants compared to controls. Positive effect of BA on the salt tolerance of seedlings was insignificant. In the shoots of seedlings treated with SuA, there was an increase in proline content after the salt stress; under the treatment with SA the tendency toward increased levels of this aminoacid in the shoots was established; BA had no effect on the accumulation of proline. Pre-treatment of seedlings with SA and SuA conducted in a certain increase in SOD activity in shoots of seedlings. After salt stress, the SOD activity was significantly reduced in roots and increased in shoots of seedlings. At the same time in organs of seedlings incubated with SA, the enzyme activity remained higher compared to the control. SuA showed a similar but less pronounced effect. BA did not affect the activity of the enzyme neither in roots nor in shoots of seedlings. The conclusion about the prospects of the SA and SuA application under salinity conditions was made.

Key words: *Triticum aestivum* L., salicylic acid, benzoic acid, succinic acid, salt tolerance, proline, superoxide dismutase

ВПЛИВ АРОМАТИЧНИХ І ЯНТАРНОЇ КИСЛОТ НА АКТИВНІСТЬ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗИ ТА ВМІСТ ПРОЛІНУ В ПРОРОСТКАХ ПШЕНИЦІ ЗА УМОВ СОЛЬОВОГО СТРЕСУ

Т. О. Ястреб

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

Проводили порівняльне дослідження впливу двох ароматичних (саліцилової – СК і бензойної – БК) та янтарної (ЯК) кислот на солестійкість проростків пшениці (*Triticum aestivum* L.), вміст проліну та активність антиоксидантного ферменту супероксиддисмутази (СОД). Інкубація проростків протягом доби на розчинах СК і ЯК в концентрації 1 мкМ викликала помітне підвищення їх солестійкості, що відзначилось у меншому інгібуванні росту коренів і пагонів проростків після впливу солі, а також у більшій масі проростків цих варіантів порівняно з контрольними. Позитивний вплив БК на солестійкість проростків був незначним. В пагонах

ВЛИЯНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТ

проростків, що були оброблені ЯК, виявлено підвищення вмісту проліну після сольового стресу, за обробки СК виявлялася тенденція до збільшення вмісту цієї амінокислоти, БК не впливала на накопичення проліну. Попередня обробка проростків СК і ЯК призводила до деякого підвищення активності СОД в пагонах проростків. Після сольового стресу активність СОД значно знижувалась у коренях та підвищувалась у пагонах проростків. В цей же час в органах проростків, що інкубувались на СК, активність ферменту залишалася більш високою порівняно з відповідним контролем. ЯК виявляла схожий, але менш істотний ефект. БК не впливала на активність СОД ні в коренях, ні в пагонах проростків. Зроблено висновок про перспективність застосування СК і ЯК для підвищення стійкості рослин до засолення ґрунтів.

Ключові слова: *Triticum aestivum L.*, саліцилова кислота, бензойна кислота, янтарна кислота, солестійкість, пролін, супероксиддисмутаза