دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال دهم، شماره سی و چهارم، ۱۳۹۷

پاسخ محتوای یونی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی جو به روش‌های متفاوت کاربرد اسیدسالیسیلیک و شوری

سیده الهه هاشمی[۱]، یحیی امام[۲]، هادی پیرسته انوشه[۳]

تاریخ دریافت: ۹٤/۱۱/۱٤ تاریخ پذیرش: ۹۵/٤/۱۱

چکیده

اگرچه به‌خوبی مشخص شده است که اسیدسالیسیلیک می‌تواند موجب افزایش تحمل شوری در جو گردد، اما هنوز اتفاق نظر کلی در مورد بهترین روش و مرحله اعمال آن وجود ندارد. بدین منظور یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در شرایط کنترل شده در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در سال ۱۳۹۳ انجام شد. در این پژوهش تاثیر کاربرد اسیدسالیسیلیک در پنج سطح شاهد، پیش‌تیمار بذر، محلول‌پاشی در مراحل استقرار کامل، برجستگی دوگانه و گلدهی بر عملکرد دانه، غلظت سدیم و پتاسیم شاخساره و ریشه و همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان جو رقم ریحان تحت سه سطح تنش شوری شاهد، ٦ و ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر بررسی شد. نتایج نشان داد که تنش شوری، بسته به شدت آن، سبب افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم در شاخساره و ریشه و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل پراکسیداز، کاتالاز، آسکوربیک‌پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز گردید. به‌طوری‌که شدیدترین تنش شوری باعث افزایش ۱٤۷/٤ درصدی سدیم و کاهش ٤٤/۱ درصدی پتاسیم گردید. با این‌وجود، پیش‌تیمار و محلول پاشی اسیدسالیسیلیک توانست بخشی از این تغییرات را جبران کند و عملکرد دانه را افزایش دهد. به عنوان مثال پیش‌تیمار و محلول‌پاشی در مراحل استقرارکامل، برجستگی دوگانه و گلدهی به ترتیب موجب افزایش ۷۲/۷، ۷۷/۳، ۲۲/۷ و ۱۸/۲ درصدی پتاسیم و کاهش ۳۷/۸، ٤۰/۵، ۲۷/۰ و ۱۳/۵ درصدی سدیم گردید. به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بیشترین اثرات مثبت اسیدسالیسیلیک در پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی در مرحله استقرار مشاهده شد؛ که نشان‌دهنده آن است که تیمار اسیدسالیسیلیک در مراحل اولیه رشد ممکن است تحمل به تنش شوری بیشتری القا کند.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، سدیم، سوپراکسیددیسموتاز، عملکرد، کاتالاز

هاشمی، س.ا.، ی. امام و ه. پیرسته انوشه. ۱۳۹۷. پاسخ محتوای یونی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی جو به روش‌های کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط شور. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳٤: ۱۱-۱.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز- مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: yaemam@shirazu.ac.ir

۳- استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) چهارمین غله مهم دنیا، گیاهی کم توقع و متحمل نسبت به شوری است (امام، ۱۳۹۰). تنش شوری از مهم‌ترین و متداول‌ترین تنش‌های محیطی در جهان و ایران است؛ جایی که روند شور شدن خاک‌ها به دلیل مدیریت نادرست آبیاری در حال افزایش است. شوری خاک و آب سبب بروز تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان می‌شود. ضمن این‌که تحمل به شوری در گیاهان نیز ویژگی پایداری نبوده و ممکن است در مراحل مختلف رشدی هر گونه، متفاوت باشد (رنجبر و پیرسته انوشه، ۱۳۹٤).

گیاهان بسته به گونه و حتی رقم، مکانیسم‌های متفاوتی را در برابر تنش شوری از خود بروز می‌دهند که سبب تفاوت در میزان تحمل آن‌ها به تنش شوری شده است. به عنوان مثال؛ در شرایط شور، گیاهان از یک سری مکانیسم‌های دفاعی متشکل از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر سوپراکسیددیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز برخوردارند؛ که سبب می‌گردد تا گیاه علی‌رغم وجود شرایط دشوار محیطی، در شرایط مطلوب از نظر متابولیسم سلولی به سر برند (ساعدموچشی و همکاران، ۲۰۱۳). در شرایط شور، عدم توازن بین فرایند جذب انرژی و مصرف آن توسط اندام فتوسنتزی، باعث تولید انواع اکسیژن فعال[1] (ROS) و ناتوانی گیاه در مهار آن می‌گردد که در نهایت منجر به بروز تنش در غشای سلول و علائم ناشی از صدمات اکسیداتیو می‌شود (بلوخینا و همکاران، ۲۰۰۳). سلول-های گیاهی برای محافظت در برابر آسیب‌های اکسیداتیو مجهز به یک سیستم جاروب کننده رادیکال‌های آزاد می‌باشند. این سیستم شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است (میتلر، ۲۰۰۲).

از سوی دیگر، در غلظت‌های بالای نمک، گیاهان با ورود و خروج یون‌ها، میزان سدیم درون سیتوپلاسم را کاهش داده و با ثابت نگهداشتن غلظت یون پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم را بالا نگه می‌دارند. این سازوکار نیز تا حدودی در مقابله با اثرات سوء ناشی از تنش شوری موثر است. نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم جهت تفکیک گونه‌های متحمل از حساس گزارش شده است (سایرام و سریواستاوا، ۲۰۰۱). جذب کمتر سدیم، تجمع در ریشه و عدم انتقال آن به شاخساره، کده‌بندی[2] سدیم در واکوئل و در نهایت دفع سدیم از سایر مکانیسم‌های گیاه برای مقابله با اثرات سمی سدیم می‌باشد (بلوموالد و همکاران، ۲۰۰۲). گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان می‌دهند اسیدسالیسیلیک موجب بهبود این مکانیسم‌ها و در نتیجه افزایش تحمل به تنش شوری می‌گردد. بسیاری از این گزارش‌ها در مرورهای صورت گرفته توسط اشرف و همکاران (۲۰۱۰) و حیات و همکاران (۲۰۰۱) دسته‌بندی شده است.

اسیدسالیسیلیک یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی و از جمله هورمون‌های گیاهی و تنظیم کننده‌ی رشد است و هم‌چنین مولکول واسطه‌ای مهمی جهت واکنش گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است که به وسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود (حیات و همکاران، ۲۰۰۱). کاربرد اسیدسالیسیلیک روی سرعت تولید انواع گونه‌های فعال اکسیژن تحت شرایط تنش تاثیر می‌گذارد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را تغییر داده و از این طریق تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی را تغییر می‌دهد (اشرف و همکاران، ۲۰۱۰). کاربرد اسیدسالیسیلیک بر روی گیاهان در غلظت‌های پایین موجب رفع آسیب اکسایشی در شرایط تنش شده و خسارت اکسیداتیو را کاهش می‌دهد (پیرسته انوشه و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج پژوهش اراسلان و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که اسیدسالیسیلیک به‌طور معنی‌داری باعث فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های شاخساره و ریشه شد. کاربرد اسیدسالیسیلیک هم‌چنین باعث تنظیم تجمع پرولین شد و تجمع یون‌های سمی را هم در شاخساره و هم در ریشه کاهش داد.

پژوهش‌های متعدد حاکی از افزایش رشد گیاهان در شرایط شور بهبود تحمل تنش شوری در نتیجه کاربرد اسیدسالیسیلیک به صورت پیش تیمار بذر یا محلول پاشی صورت گرفته (دولت آبادیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ پاکار و همکاران، ۱۳۹۳؛ ال طیب، ۲۰۰۵؛ اراسلان و همکاران، ۲۰۰۷؛ گانز و همکاران، ۲۰۰۵؛ هی و ژو، ۲۰۰۸؛ پیرسته انوشه و همکاران، ۲۰۱٤)، اما پژوهش‌ها در مورد مقایسه این دو روش بسیار اندک است. اشرف و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود به بررسی کاربرد اسیدسالیسیلیک در بهبود تحمل به شوری از سه طریق محلول‌پاشی، پیش‌تیمار بذر و محلول ریشه پرداخته است. این پژوهشگران نتیجه‌گیری کردند که هر سه روش منجر به افزایش تحمل به شوری می‌شود، اما تفاوت در مکانیسم‌های آن‌ها هنوز ناشناخته است. با توجه به تحقیقات اندک در مورد مقایسه روش‌های کاربرد اسیدسالیسیلیک در شرایط شور، این پژوهش با هدف بررسی محتوای یونی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان جو در واکنش به روش‌های متفاوت کاربرد اسیدسالیسیلیک تحت شرایط تنش شوری اجرا گردید.

1- Reactive Oxygen Species
2- Compartmentation

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرایط کنترل شده به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ٤ تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در مهرماه سال ۱۳۹۳ انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل تیمار کاربرد اسیدسالیسیلیک در ۵ سطح بدون کاربرد (به عنوان شاهد)، پیش‌تیمار بذر، محلول پاشی در مراحل استقرار کامل بوته‌ها (ZGS13)، برجستگی دوگانه (ZGS31) و گلدهی (ZGS65) و تیمار تنش شوری در ۳ سطح: ۰/٦۲ (آب شهر به عنوان شاهد)، ٦ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر بود. کاربرد اسیدسالیسیلیک در هر دو نوع پیش‌تیمار و محلول پاشی در همه مراحل با غلظت یک و نیم میلی‌مولار صورت گرفت.

گلدان‌های پنج لیتری با خاک مزرعه، شن شسته شده و کودبرگ با نسبت ۱:۱:۲ پر شدند. در هر گلدان ۱۰ عدد بذر کاشته شد و پس از سبزشدن به ۸ بوته در هر گلدان تنک گردید. تیمار شوری نیز به‌صورت آبیاری با آب شور با هدایت الکتریکی مورد نظر از مرحله سه برگی تا پایان فصل رشد با کاربرد نمک‌های NaClو $CaCl_2$ به نسبت ۱:۲ اعمال شد. مقدار هدایت الکتریکی با استفاده از EC-meter پورتابل (مدل 2052 digital USA) کنترل گردید. به‌منظور جلوگیری از وارد آمدن تنش ناگهانی، غلظت‌های شوری به صورت پلکانی اعمال شد. پرایمینگ بذر با اسیدسالیسیلیک با غلظت ۱/۵ میلی مولار به مدت ۱۲ ساعت و همچنین محلول پاشی اسیدسالیسیلیک با غلظت ۱/۵ میلی مولار در مراحل مورد نظر با اسپری با فشار ثابت و به صورت کاملا یکنواخت انجام شد. میزان پاشش محلول به اندازه‌ای بود که قطرات محلول بر روی برگ‌های جو قابل مشاهده باشد. این کار در اولین ساعات صبح، به دور از تابش مستقیم آفتاب صورت گرفت. برای جلوگیری از نفوذ اسیدسالیسیلیک به درون خاک، سطح خاک گلدان‌ها با پلاستیک پوشانده شد. دمای میانگین روز و شب گلخانه به‌ترتیب ۲۸ و ١٤ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۵۵ تا ٦۰ درصد بود. بوته‌های جو روزانه در معرض ۱۲ ساعت روشنایی به صورت ترکیبی از لامپ فلورسنت و مهتابی با شدت ٤۲۰ میکرواینشتین برمترمربع در ثانیه بودند.

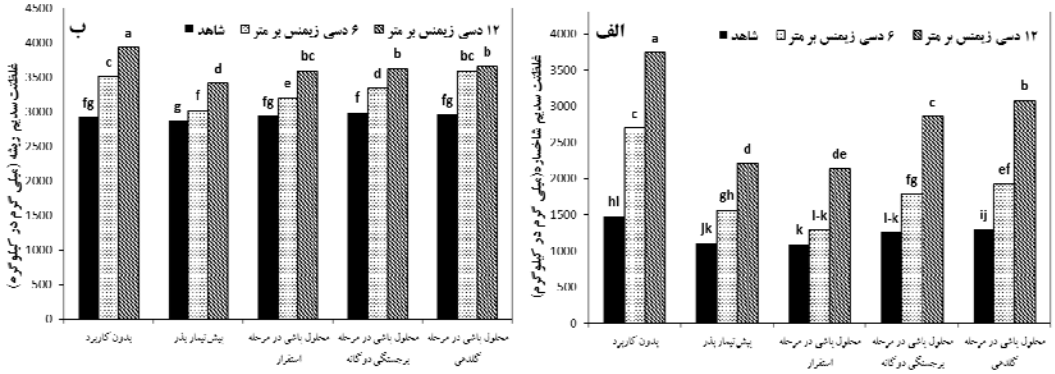
برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌ها نمونه‌برداری در مرحله گلدهی انجام شد و به صورت فریزشده به آزمایشگاه انتقال داده شد. میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POD) و کاتالاز (CAT) با روش چانس و ماهلی (۱۹۹۵) و میزان فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز (ASP) نیز با روش از روش ناکانو و آسادا (۱۹۸۱) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسیداز دیسموتاز (SOD) براساس اندازه‌گیری توانایی آنزیم SOD در متوقف کردن احیای فتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیوم توسط رادیکال‌های سوپر اکسید در حضور ریبوفلاوین در نور، صورت گرفت (بیچامب و فریدوویچ، ۱۹۷۱). در برداشت نهایی پس از رسیدگی فیزیولوژیک، تمام بوته‌های هر گلدان کف‌بر شده و به مدت ٤۸ ساعت در آون تهویه دار در دمای ۷۰±۲ سانتیگراد خشک شد و پس از جداسازی دانه‌ها؛ عملکرد دانه برای هر بوته محاسبه شد و در نهایت میانگین بوته‌های هر گلدان به عنوان عملکرد آن واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. نمونه‌های برداشت شده شاخساره و ریشه به طور جداگانه کاملا پودر و در کوره خاکستر گردید. غلظت یون‌های پتاسیم و سدیم نمونه‌ها از روش شعله سنجی با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر تعیین شد. برای انجام محاسبات آماری، داده‌ها با استفاده از نرم افزارSAS مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم شاخساره و ریشه

تاثیر برهمکنش شوری با کاربرد اسیدسالیسیلیک بر غلظت سدیم شاخساره و ریشه و همچنین پتاسیم شاخساره و ریشه معنی‌دار شد. با افزایش شدت شوری، غلظت سدیم شاخساره در همه تیمارهای اسیدسالیسیلیک افزایش یافت، ولی کمترین درصد افزایش سدیم ناشی از اعمال تنش شوری در تیمار محلول‌پاشی در مرحله استقرار و پیش‌تیمار بذر مشاهده شد (شکل ۱الف). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین سدیم شاخساره در تیمار بدون کاربرد اسیدسالیسیلیک و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر و کمترین میزان آن نیز در تیمار محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در مرحله استقرار در شرایط بدون تنش مشاهده شد (شکل ۱الف). در جریان بروز اثرات تنش شوری، هرچند با تنظیم اسمزی تا حدی شرایط لازم برای جذب آب فراهم می‌شود، لیکن، این امر با جذب بیشتر عناصر ناخواسته همانند سدیم می‌تواند همراه شود. زمانی که میزان سدیم در محیط ریشه افزایش می‌یابد، اثرات آن ممکن است منجر به تغییراتی در فشار اسمزی سلول شود. این عامل موجب پلاسمولیز و کاهش جذب انتخابی عناصر در ریشه خواهد شد (خوداری، ۲۰۰٤). اثرات سمیت کلرید سدیم ناشی از انباشته شدن زیاد نمک در گیاه،

ممکن است تنها به دلیل اثرات مستقیم یون سدیم نباشد، بلکه به دلیل کاهش مقدار عناصر غذایی ضروری مانند پتاسیم باشد (بلوموالد و همکاران، ۲۰۰۰). کاربرد بیرونی اسیدسالیسیلیک، اثرات زیان آور کلرید سدیم را کاهش داده و تحمل به نمک را در این گیاه زراعی با بهبود رشد افزایش می‌دهد (حیات و همکاران، ۲۰۰۱). نتایج پژوهش الطیب (۲۰۰۵) نشان داد که اسیدسالیسیلیک موجب کاهش غلظت سدیم در شرایط تنش شوری در جو شد.



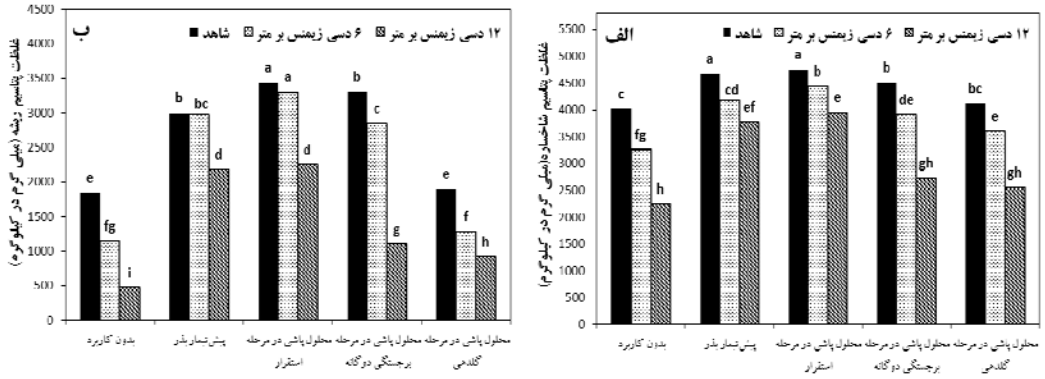
شکل ۱- برهمکنش شوری و اسیدسالیسیلیک بر غلظت سدیم شاخساره (الف) و ریشه (ب) جو. ستون‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

کاهش غلظت پتاسیم و افزایش سدیم در گیاه به رقابت بین این دو یون در محل جذب نسبت داده می‌شود. به هم خوردن نسبت‌های یونی در گیاه در شرایط تنش شوری، حاصل تداخل جذب سدیم با پتاسیم است. تشابه بین شعاع یون هیدراته سدیم و پتاسیم، عمل تمایز بین دو این دو یون را برای پروتئین‌های ناقل مشکل ساخته و بدین ترتیب سمیت سدیم اتفاق می‌افتد (بلوموالد و همکاران، ۲۰۰۰). بنابراین حفظ نسبت بالای پتاسیم به سدیم در سیتوسل یک نیاز اساسی برای رشد گیاه در تنش‌های شدید شوری است که می‌تواند معیار مناسبی برای گزینش تحمل به شوری باشد (امام و همکاران، ۱۳۹۲؛ بلوموالد و همکاران، ۲۰۰۰). نتایج پژوهش پیرسته انوشه و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که اسیدسالیسیلیک می‌تواند بخشی از اثرات تنش شوری که موجب افزایش سدیم و کاهش پتاسیم بوته‌های جو می‌گردد را جبران کند. کاربرد اسیدسالیسیلیک روی گیاهانی که در شرایط تنش شوری رشد کرده بودند، اثرات سمیت شوری را کاهش بخشید. افزایش تحمل به شوری در گیاهچه‌های گندم که در اسیدسالیسیلیک خیسانده شده بودند نیز گزارش شده است (حیات و همکاران، ۲۰۰۱).

اسیدسالیسیلیک در شرایط بدون تنش شوری تاثیر معنی‌داری بر غلظت سدیم ریشه نداشت (شکل ۱ب). در تنش ٦ دسی زیمنس بر متر بین همه‌ی تیمارهای کاربرد اسیدسالیسیلیک تفاوت معنی‌داری در غلظت سدیم ریشه مشاهده نشد. در تنش ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نیز فقط بین تیمارهای عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک و پیش‌تیمار تفاوت معنی‌داری بین سایر تیمارها مشاهده نشد. در این شرایط، بیشترین غلظت سدیم در ریشه‌های گیاهان تیمار نشده با اسیدسالیسیلیک و کمترین غلظت آن در تیمار پیش‌تیمار مشاهده شد. به طوری‌که غلظت سدیم ریشه در بالاترین شدت تنش در گیاهان حاصل از تیمار پیش‌تیمار با اسیدسالیسیلیک، ۱۳/۲ درصد کمتر از عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک بود (شکل ۱ب). در پژوهش پاکار و همکاران (۱۳۹۳) بر روی جو، نشان داده شد که عدم توانایی اندام‌های هوایی در تنظیم غلظت یون‌هایی مانند سدیم می‌تواند منجر به ایجاد واکنش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نامطلوبی گردد. ریشه‌ها ظرفیت مناسبی برای ذخیره سدیم و دیگر یون‌ها در سطوح بالایی دارند و با اشباع این ظرفیت آزادسازی سدیم به شاخساره آغاز می‌گردد و بعد از آن توان تنظیم کنندگی رشد به شدت کاهش می‌یابد. این آزمایش نشان داد که مقدار کل سدیم آزاد شده به طرف شاخساره در سطوح بالای سدیم، به غلظت سدیم در ریشه بستگی دارد، نه به غلظت آن در محیط اطراف ریشه. نتایج پژوهش اراسلان و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که اسیدسالیسیلیک به‌طور معنی‌داری تجمع یون‌های سمی را هم در شاخساره و هم در ریشه کاهش داد. در مطالعه‌ای بر روی ذرت مشخص شد که کاربرد اسیدسالیسیلیک، اثرات زیان‌آور کلرید-

سدیم را کاهش داده و تحمل به نمک را در این گیاه زراعی با بهبود رشد افزایش داده است (گارگ و مانچاندا، ۲۰۰۹).

نتایج نشان داد که بیشترین غلظت پتاسیم شاخساره در تیمار محلول‌پاشی در مرحله استقرار تحت شرایط بدون تنش مشاهده شد (شکل ۲الف). تنش شوری در همه تیمارها غلظت پتاسیم شاخساره را کاهش داد. اما کمترین کاهش غلظت پتاسیم بر اثر شوری مربوط به تیمار کاربرد اسیدسالیسیلیک در مرحله استقرار بود. میزان پتاسیم در شدیدترین تنش (۱۲ دسی زیمنس بر متر) در تیمارهای محلول پاشی اسیدسالیسیلیک در مرحله استقرار ۱۶/۸ درصد کاهش یافت؛ درحالی‌که در شرایط بدون کاربرد اسیدسالیسیلیک، تنش شوری میزان پتاسیم را ٤٤ درصد کاهش داد (شکل ۲الف). کاهش پتاسیم، به دلیل کاهش ظرفیت گیاه برای تعادل اسمزی و حفظ فشار آماس یا تاثیر منفی برای عملکرد متابولیت‌ها باعث کاهش رشد می‌شود (بلوموالد و همکاران، ۲۰۰۰). مقدار پتاسیم گیاه در غلظت‌های زیاد نمک، یک مزیت است و می‌تواند به عنوان شاخصی برای انتخاب گیاهان از نظر تحمل به شوری به کار رود (امام و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهش‌های پیشین نیز؛ کاربرد برگی اسیدسالیسیلیک غلظت یون پتاسیم را در برگ‌های جو افزایش داده و از این طریق باعث تحمل شوری در جو شده است (پیرسته انوشه و همکاران، ۲۰۱٤).



شکل ۲- برهمکنش شوری و اسیدسالیسیلیک‌اسید بر غلظت پتاسیم شاخساره (الف) و ریشه (ب) بوته‌های جو. ستون‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

بین سطوح مختلف شوری در کاربردهای متفاوت اسیدسالیسیلیک، از نظر غلظت پتاسیم ریشه تفاوت معنی‌داری وجود داشت (شکل ۲ب). بیشترین غلظت پتاسیم ریشه در تیمار محلول‌پاشی در مرحله استقرار تحت شرایط بدون تنش و تنش ٦ دسی‌زیمنس برمتر مشاهده شد؛ که نسبت به شرایط سطوح تنش مشابه و عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک، غلظت پتاسیم ریشه را تا ۱/۸٦ برابر افزایش داد. این امر نشان‌دهنده‌ی تاثیر بهتر اسیدسالیسیلیک بر افزایش پتاسیم ریشه در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش می‌باشد (شکل ۲ب). در بالاترین شدت تنش نیز کاربرد اسیدسالیسیلیک به صورت پیش‌تیمار بذرها و محلول‌پاشی در مرحله استقرار بهترین نتیجه را در ارتباط با افزایش پتاسیم به دنبال داشت. پیش‌تیمار بذرها با اسیدسالیسیلیک توانست پتاسیم ریشه گیاهان رشد یافته در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر را به میزان ۳٦/٤ برابر نسبت به عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک افزایش دهد (شکل ۲ب).

مطالعات نشان می‌دهد که افزایش غلظت نمک کلرور سدیم در محیط رشد گیاهان باعث افزایش غلظت سدیم می‌گردد. غلظت‌های بالای نمک می‌تواند یک اثر رقابتی را در جذب یون‌ها به وجود بیاورد. به عنوان مثال، درغلظت بالای نمک، غلظت یون پتاسیم در گیاه کاهش می‌یابد و باعث کمبود پتاسیم می‌گردد (امام و همکاران، ۱۳۹۲). به عنوان یک مکانیسم تحمل، در غلظت‌های بالای نمک، میزان سدیم درون سیتوپلاسم کاهش می‌یابد و با ثابت ماندن غلظت یون پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم کاهش می‌یابد. این سازوکار تا حدودی در مقابله با اثرات سوء ناشی از تنش شوری موثر است. نسبت سدیم به پتاسیم در گیاهان به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم جهت تفکیک گونه‌های متحمل از حساس گزارش شده است (امام و همکاران، ۱۳۹۲؛

اشرف و همکاران، ۲۰۱۰). اکثر گیاهان حتی گونه‌های کم تحمل به نمک این جذب گزینشی بیشتر پتاسیم در مقایسه با سدیم را در شوری‌های کم تا متوسط دارا بوده و ترجیحا پتاسیم را به‌جای سدیم در سلول‌های خود ذخیره می‌نمایند (پاکار و همکاران، ۱۳۹۳؛ رنجبر و پیرسته انوشه، ۱۳۹٤). بنابراین، نسبت سدیم به پتاسیم و یا برعکس نسبت پتاسیم به سدیم می‌تواند به عنوان شاخصی مناسب در مورد اثرات متضاد سدیم و پتاسیم در گیاه مطرح باشد. این نسبت در بافت گیاه به عنوان شاخص سمیت سدیم به کار برده می‌شود. پایین بودن نسبت سدیم به پتاسیم به معنی کم بودن سمیت سدیم یا تحمل بالای گونه گیاهی مورد نظر می‌باشد (اشرف و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج پژوهش کایدن و همکاران (۲۰۰٦) نشان داد که کاربرد اسیدسالیسیلیک در گندم در شرایط تنش شوری موجب کاهش نسبت سدیم به پتاسیم شد. همچنین هی و ژو (۲۰۰۸) و گانز و همکاران (۲۰۰۵) کاهش محتوای سدیم و افزایش پتاسیم را در نتیجه کاربرد اسیدسالیسیلیک به ترتیب در گوجه فرنگی و ذرت در شرایط تنش شوری نشان دادند.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

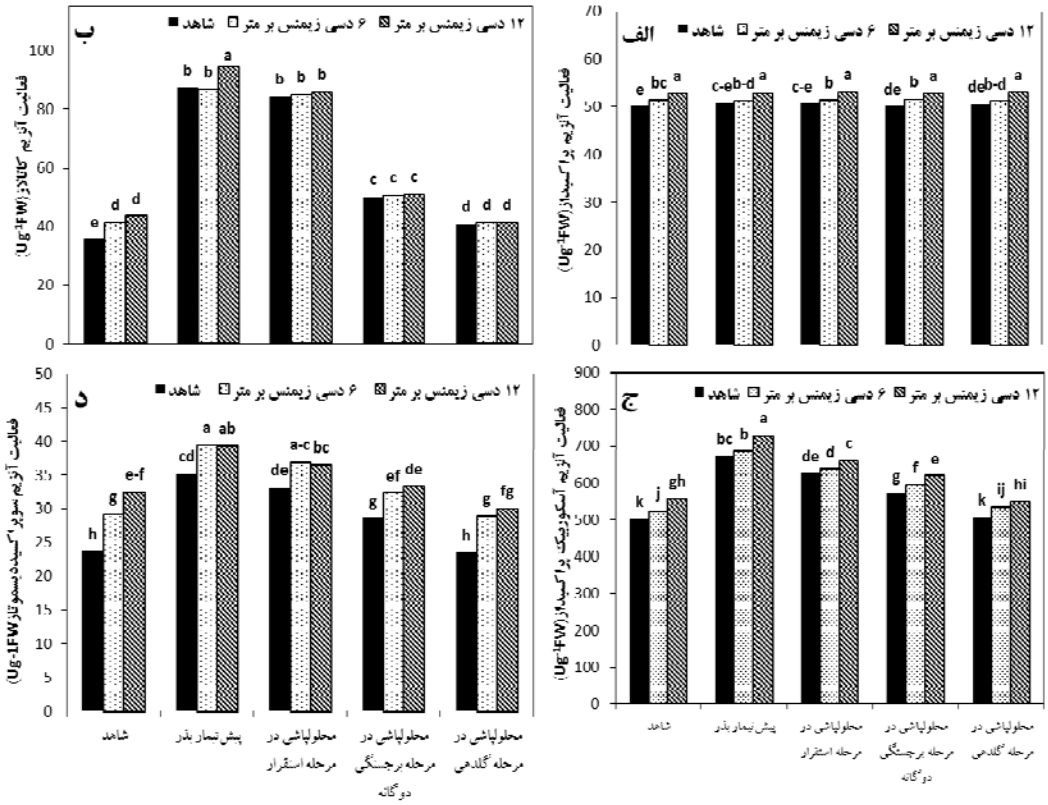
فعالیت چهار آنزیم آنتی‌اکسیدان تحت تاثیر معنی‌دار برهمکنش تنش شوری و اسیدسالیسیلیک قرار گرفت. با افزایش شدت تنش شوری، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در همه تیمارهای اسیدسالیسیلیک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که کمترین و بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز به ترتیب در تیمارهای غیرشور و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس برمتر مشاهده شد (شکل ۳الف). آنزیم پراکسیداز به علت نقشی که در فرآیندهای مهم فیزیولوژیک مانند کنترل رشد توسط چوبی شدن، پیوستن پکتین‌ها و پروتئین‌های ساختاری در دیواره سلولی و کاتابولیسم اکسین دارد، به‌عنوان نشانگری بیوشیمیایی برای انواع مختلف تنش‌های غیرزنده استفاده می‌گردد. پراکسیداز آنزیم آنتی‌اکسیدانی مهمی است که در چرخه گلوتاتیون که در دفع مسمویت هیدروژن پراکسید موثر است، نقش دارد (ساعدموچشی و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهش پیرسته انوشه و همکاران (۲۰۱۲) فعالیت بالایی از آنزیم آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز را در شرایط تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش در گندم نشان داد. نتایج این پژوهش هم‌چنین نشان داده شده است که کاربرد اسیدسالیسیلیک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد داد، به طوری‌که کاربرد اسیدسالیسیلیک موجب افزایش ٢٤ درصدی فعالیت آنزیم پراکسیداز شد. کاربرد اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش شوری در گندم موجب افزایش فعالیت پراکسیداز شد (دولت آبادیان و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج پژوهش الطیب (۲۰۰۵) افزایش فعالیت پراکسیداز را در نتیجه‌ی کاربرد اسیدسالیسیلیک روی گیاه جو در شرایط تنش شوری نشان داد.

بیشترین تاثیر کاربرد اسیدسالیسیلیک بر آنزیم کاتالاز، از محلول‌پاشی در مرحله استقرار در شرایط تنش شدید به‌دست آمد که باعث افزایش ۱۳۲/۵ درصدی فعالیت کاتالاز نسبت به شرایط غیرشور و بدون کاربرد اسیدسالیسیلیک شد (شکل ۳ب). همه‌ی تیمارهای کاربرد اسیدسالیسیلیک باعث افزایش فعالیت کاتالاز شدند، به جز تیمار محلول‌پاشی در مرحله گلدهی که تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. تنش‌های محیطی موجب افزایش تولید ROS در بسیاری از گیاهان می‌شود. گیاهان برای کم‌کردن تاثیرات زیان‌آور ROS از سازوکارهای دفاعی متنوعی از جمله تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برخوردارند (ساعدموچشی و همکاران، ۲۰۱۳). آنتی‌اکسیدان‌ها مهم‌ترین سیستم آنزیمی و دفاعی گیاهان در مقابله با تنش هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کاتالاز اشاره کرد (رنو و دیوارشی، ۲۰۰۷).

آنزیم کاتالاز از مهم‌ترین مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی برای تحمل تنش است و در شرایط تنش، میزان تولید آن افزایش می‌یابد. آنزیم کاتالاز از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و فعالیت آن در هنگام افزایش پراکسیدهیدروژن در گیاهان که به‌علت شرایط تنش ایجاد شده است، افزایش می‌یابد (گارگ و مانچاندا، ۲۰۰۹). کاتالاز در غیرفعال‌سازی H_2O_2 موثر است. در مطالعات دولت آبادیان و همکاران (۱۳۸۷)، کایدن و همکاران (۲۰۰٦) و پیرسته انوشه و همکاران (۲۰۱۲)، فعالیت بالایی از آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز در شرایط تنش شوری در مقایسه با شرایط بدون تنش در بوته‌های گندم گزارش شد؛ که کاربرد اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش موجب افزایش فعالیت این آنزیم گردید. همین طور کاربرد اسیدسالیسیلیک موجب بهبود فعالیت کاتالاز در شرایط تنش شوری در گوجه فرنگی شد (هی و ژو، ۲۰۰۸).

با تشدید تنش شوری، فعالیت آنزیم آسکوربیک‌پراکسیداز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین میزان فعالیت آسکوربیک‌پراکسیداز در پیش‌تیمار اسیدسالیسیلیک در بالاترین شدت تنش (۱۲ دسی‌زیمنس برمتر) مشاهده شد که ٤٥/۳ درصد بیشتر از شاهد بدون کاربرد اسیدسالیسیلیک بود (شکل ۳ج). از آنجاکه آسکوربیک‌پراکسیداز با کمک آسکوربیک اسید باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود، لذا بالاتر بودن فعالیت

این آنزیم به معنی حذف بیشتر رادیکال‌های اکسیژن و در نتیجه کاهش مرگ سلولی و افزایش تحمل به تنش است (اکیلاو همکاران، ۲۰۰۸). آسکوربیک پراکسیداز، به دلیل فعالیت زیاد، دارای بیشترین توانایی در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشد، که در مطالعات انجام شده این موضوع به‌طور آشکار مشخص شده است (رنو ودیوارشی، ۲۰۰۷). تحریک تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای محافظت بهتر سلول‌ها در برابر اثرات رادیکال‌های اکسیژن با روش‌های مختلفی مانند کاربرد بیرونی تنظیم کننده‌های رشد میسر است.



شکل ۳- برهمکنش شوری و اسیدسالیسیلیک‌اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (الف.پراکسیداز، ب.کاتالاز، ج.آسکوربیک پراکسیداز، د.سوپراکسیددیسموتاز) شاخساره جو. ستون‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در گیاهان حاصل از بذرهای پرایم‌شده با اسیدسالیسیلیک در شدت‌های تنش ٦ و ١٢ دسی‌زیمنس برمتر مشاهده شد. به‌طوری‌که فعالیت این آنزیم در بالاترین شدت تنش شوری (١٢ دسی زیمنس برمتر) در تیمار پیش‌تیمار، ٢١٪ نسبت به عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک افزایش یافت (شکل ٣د). یکی از موثرترین آنتی‌اکسیدان‌های درون سلولی سوپراکسیددیسموتاز می‌باشد. بسیاری از پژوهشگران آن‌را قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان می‌دانند؛ که سبب پایداری گیاه در برابر بسیاری از تنش‌های محیطی می‌شود (بلوخینا و همکاران، ٢٠٠٣؛ رنو و دیوارشی، ٢٠٠٧؛ ساعدموچشی و همکاران، ٢٠١٣). اسیدسالیسیلیک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را تنظیم می‌کند و موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شود (اپل و هیرت، ٢٠٠٤؛ اکیلاو همکاران، ٢٠٠٨). در پژوهش حاضر نیز فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در شرایط تنش شوری افزایش یافت و کاربرد اسیدسالیسیلیک اثر تحریک‌کنندگی بر فعالیت این آنزیم داشت. نتایج به دست آمده با بررسی پیرسته‌انوشه و همکاران (٢٠١٢) در افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی سوپراکسیددیسموتاز در شرایط تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش مطابقت دارد. افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

تحت شرایط تنش در جو (پاکار و همکاران، ۱۳۹۳؛ الطیب، ۲۰۰۵) و سایر گونه‌های گیاهی (بلوخینا و همکاران، ۲۰۰۳؛ خوداری، ۲۰۰٤؛ اکیلاو همکاران، ۲۰۰۸، هی و ژو، ۲۰۰۸؛ کایدن و همکاران، ۲۰۰٦) گزارش شده است.

عملکرد دانه و همبستگی صفات با آن

اثر برهمکنش تنش شوری و اسیدسالیسیلیک بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. عملکرد دانه تحت تاثیر شوری در همه شرایط کاربرد و عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک‌اسید کاهش یافت. بوته‌های رشد یافته در شرایط بدون تنش و تحت تیمار اسیدسالیسیلیک در مرحله شروع پنجه زنی بیشترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۱)؛ به عبارت دیگر بیشترین تاثیر مثبت اسیدسالیسیلیک در حالت محلول پاشی در اوایل رشد بود. نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران در جو (پاکار و همکاران، ۱۳۹۳؛ الطیب، ۲۰۰۵)؛ گندم (دولت آبادیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ کایدن و همکاران، ۲۰۰٦) و ذرت (خوداری، ۲۰۰٤؛ گانز و همکاران، ۲۰۰۵) در مورد کاربرد اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش شوری گزارش شده است. پاکار و همکاران (۱۳۹۳) و الطیب (۲۰۰۵) بیان داشتند که افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد اسیدسالیسیلیک می‌تواند به دلیل اثر افزاینده و مثبت آن بر اجزای عملکرد دانه باشد. در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس برمتر) شوری با کاهش معادل ٤٤/۲، ۱٦/۸ ، ۳۰/۹، ۳۲/۳ و ۲٦/۵ درصد در عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای بدون کاربرد، پیش‌تیمار، محلول‌پاشی در شروع پنجه‌زنی، برجستگی دوگانه و گلدهی همراه بود. کمترین و بیشترین درصد کاهش عملکرد دانه ناشی از شوری به ترتیب در تیمارهای پیش‌تیمار اسیدسالیسیلیک و شاهد حاصل شد (جدول ۱). دولت آبادیان و همکاران (۱۳۸۷) و کایدن و همکاران (۲۰۰٦) در گندم و الطیب (۲۰۰۵) در جو نشان دادند که رشد و عملکرد گیاهچه بذرهایی که در اسیدسالیسیلیک خیسانده شده بودند به طور چشمگیری افزایش یافت.

نتایج همبستگی نشان داد که در شرایط غیرشور، عملکرد دانه با سدیم شاخساره همبستگی منفی و معنی‌دار و با پتاسیم شاخساره و ریشه و همچنین با آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۲). همچنین در شرایط شور، همه صفات به جز آسکوربیک پراکسیداز با عملکرد دانه به طور معنی‌داری همبسته بودند؛ که در این میان، همبستگی سدیم شاخساره و ریشه منفی و همبستگی سایر صفات مثبت بود. اشرف و همکاران (۲۰۱۰)، تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان که در اثر پرایمینگ اسیدسالیسیلیک که در بسیاری از گیاهان نشان داده شده است، را به عنوان مکانیسمی برای افزایش عملکرد دانه گیاهان در شرایط شور دانستند. در بین چهار صفت یونی، بیشترین همبستگی در هر دو شرایط غیرشور و شور مربوط به غلظت سدیم شاخساره بود. در بین آنزیم‌ها نیز بیشترین همبستگی با عملکرد به آنزیم سوپراکسیددیسموتاز مربوط بود (جدول ۲). آنزیم سوپراکسیددیسموتاز از موثرترین و مهمترین آنزیم‌های آنتی-اکسیدان گیاه می‌باشد، که سبب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش شوری می‌شود (بلوخینا و همکاران، ۲۰۰۳؛ ساعدموچشی و همکاران، ۲۰۱۳).

جدول ۱- عملکرد دانه جو (گرم در بوته) تحت تاثیر نوع و زمان اسیدسالیسیلیک در سطوح متفاوت تنش شوری

سطوح تنش شوری	بدون کاربرد	پرایمینگ	محلول پاشی		
			مرحله استقرار	برجستگی دوگانه	گلدهی
آب شهر	۰/٦۷۸ de	۰/۷۳۰ c	۰/۸۸۵ a	۰/۷۵۵ b	۰/۷۳۹ c
٦ دسی زیمنس بر متر	۰/۵۷۳ g	۰/٦۹٤ d	۰/۷٤۰ b	۰/٦۵۵ e	۰/٦۲۲ ef
۱۲ دسی زیمنس بر متر	۰/۳۷۸ j	۰/٦۰۷ f	۰/٦۱۱ f	۰/۵۱۱ i	۰/۵٤۳ h

میانگین‌های با حروف مشابه در کل جدول بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۲- همبستگی بین عملکرد دانه با غلظت یون‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در دو شرایط غیرشور و شور

شرایط تنش	سدیم		پتاسیم		پراکسیداز	کاتالاز	آسکوربیک پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز
	شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه				
غیرشور	-۰/۷۳۷**	-۰/۲۱٤ ns	۰/۷۱۹ *	۰/۷۰٦ **	۰/۵۲۲ *	۰/٦۰۸ *	۰/۳۷۵ ns	۰/٦۰۸ *
شور	-۰/۹۰۷ **	-۰/۸٦۳ **	۰/۸۸۷ *	۰/۸٦۹ **	۰/۵۷۸ *	۰/۵٤۸ *	۰/۳۱۷ ns	۰/۷۵۵ **

ns غیرمعنی دار؛ ** و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

نتیجه‌گیری

تنش شوری موجب افزایش غلظت سدیم شاخساره و ریشه و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شد، درحالی‌که عملکرد دانه و غلظت پتاسیم در شاخساره و ریشه را کاهش داد. همه تیمارهای اسیدسالیسیلیک تاثیر مثبتی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان، به جز پراکسیداز داشت و منجر به افزایش عملکرد دانه گردید. بیشترین تاثیر مثبت از پرایمینگ و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در مرحله استقرار بوته به‌دست آمد. به‌نظر می-رسد کاربرد اسیدسالیسیلیک در مراحل اولیه رشد با کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم در ریشه، و کاهش غلظت سدیم و افزایش غلظت پتاسیم در شاخساره و همچنین تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث بهبود تحمل به تنش شوری در گیاه جو و افزایش عملکرد آن در شرایط شور گردد.

منابع

امام، ی. ۱۳۹۰. زراعت غلات (جلد چهارم). انتشارات دانشگاه شیراز. ۱۹۰ صفحه.

امام، ی.، ا. حسینی، ن. رفیعی و ه. پیرسته‌انوشه. ۱۳۹۲. رشد اولیه و جذب یون‌های سدیم و پتاسیم در ده رقم جو در شرایط تنش شوری. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۱۹: ۱۵-۵

پاکار، ن.، ه. پیرسته‌انوشه و ی. امام. ۱۳۹۳. اثر غلظت‌های متفاوت سالسیلیک‌اسید بر ویژگی‌های کمی و کیفی جو در شرایط تنش شوری. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد ١٤: ٢٠١-١٩١.

دولت آبادیان، ا.، ع.م. مدرس ثانوی و ف. اعتمادی. ۱۳۸۷. اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک بر جوانه زنی بذر گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط تنش شوری. مجله زیست شناسی ایران، جلد ۲۱: ۷۰۲-۶۹۲

رنجبر، غ.ح. و ه. پیرسته انوشه. ١٣٩٤. نگاهی به تحقیقات شوری در ایران؛ با تاکید بر بهبود تولید گیاهان زراعی. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۱۷، شماره ۲: ۱۷۸-۱۶۵.

Akhila, S.N., T.K. Abraham and D.S. Jaya. 2008. Studies on the changes in lipid peroxidation and antioxidants in drought stress induced cowpea *Vigna unguiculata* L. varieties. J. Environ. Biol. 29: 689-691.

Apel, K. and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Ann. Rev. Plant Biol. 55: 373-399.

Ashraf, M., N.A. Akram, R.N. Arteca and M.R. Foolad. 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. Crit. Rev. Plant Sci. 29:162–190.

Beauchamp, C. and I. Fridovich. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay predictable to acrylamide gels. Analyt. Biochem. 44: 276–287.

Blokhina, I., E.Virolainen and K.V. Fagestedt. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: A review. Ann. Bot. 91:179-194.

Blumwald, E., G.S. Aharon and M.P. Apse. 2000. Sodium transport in plant cells. Bioch. Biophys. Acta-Biomem. 1465: 140-151.

Chance, B. and A.C. Maehly. 1995. Assay of catalase and peroxidase. Methods Enzymol. 2: 764 – 775.

El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regul. 45: 215-225.

Eraslan, F., A. Inal, A. Gunes and M. Alpaslan. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Sci. Horticul. 113: 120–128.

Garg, N. and G. Manchanda. 2009. ROS Generation in plants. Plant Biol. 143: 88-96.

Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, N. Cicek, E. Guneri, F. Eraslan and T. Guzelordu. 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). Arch Agron Soil Sci. 51: 687–695.

Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environ. Exp. Bot. 68: 14–25

He, Y. and Z.J. Zhu. 2008. Exogenous salicylic acid alleviates NaCl toxicity and increases antioxidative enzyme activity in *Lycopersicon esculentum*. Biol. Plant. 52: 792–795.

Kaydan, D., M. Yagmur and N. Okut. 2006. Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). Tarim Bilimleri Dergisi. 13: 114-119.

Khodary, S.E.A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. Inter. J. Agric. Biol. 6: 5-8.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci. 7: 405-410.

Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiol. 22: 867–880.

Pirasteh-Anosheh, H., Y. Emam, M. Ashraf, and M.R. Foolad. 2012. Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. Adv. Stud. Biol. 11: 501-520.

Pirasteh-Anosheh, H., G. Ranjbar, Y. Emam and M. Ashraf, M. 2014. Salicylic acid-induced recovery ability in salt-stressed *Hordeum vulgare* plants. Turk. J. Bot. 37: 112-121.

Renu, K.C. and S. Devarshi. 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. Environ. Exp. Bot. 60: 276-283.

Saedmoucheshi, A., H. Pakniyat, H. Pirasteh-Anosheh and Azooz M. 2013. Role of ROS as signaling molecules in plants. Pp. 585-620, In: P. Ahmad (ed.), Oxidative Damage to Plants; Antioxidant Networks and Signaling. Elsevier Inc, San Diego

Sairam, R.K. and G.C. Srivastava. 2001. Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. J. Agron. Crop Sci. 186: 63-70.

Ions content and antioxidant response of barley to different methods of salicylic acid application under salinity conditions

S.E. Hashemi[1], Y. Emam[2], H. Pirasteh-Anosheh[3]

Received: 2016-2-3 Accepted: 2016-7-1

Abstract

Although it has been well-known that salicylic acid (SA) can increase salinity tolerance in barley; there is no consensus on the best method and time of application. Thus, a factorial experiment based on completely randomized design under controlled conditions was conducted at College of Agriculture, Shiraz University in 2014. In this research, the effect of SA at five levels: control (No SA), seed priming, foliar application at complete establishment, double ridges and anthesis was examined on grain yield, sodium (Na^+) and potassium (K^+) concentration in shoot and root as well as antioxidant enzymes activities of barley cv. Reyhane under three salt stress levels: control, 6 and 12 dS m^{-1}. The results showed that salt stress, depended to its severity reduced Na^+ and increased K^+ in shoot and root and enhanced antioxidant enzymes including peroxidase, catalase, ascorbic peroxidase and superoxide dismutase, so that the most severe salt stress caused 147.4% increase in Na^+ and 44.1% reduction in K^+. Nevertheless, SA in priming and foliar application could compensate some of these changes and so increased grain yield. For example, seed priming and foliar application at complete establishment, double ridges and anthesis increased K^+ by 72.7%, 77.3%, 22.7% and 18.2% and decreased Na^+ by 37.8%, 40.5%, 27.0% and 13.5%, respectively. Overall, it can be concluded that the highest positive effect f SA was observed in seed priming and foliar application at establishment, which showed that SA might induce more salt stress tolerance if applied at early growth stages.

Keywords: Catalase, potassium, sodium, superoxide dismutase, yield

1- M.Sc. Graduated, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2- Professor, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
3- Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran