تغییرات ایجاد شده توسط سالیسیلیک اسید در گیاهان گلرنگ *Carthamus tinctorius* L. تحت تنش شوری

فاطمه دانشمند[۱*]، محمد جواد آروین[۲] و بتول کرامت[۳]

[۱] تهران، دانشگاه پیام نور، گروه علمی زیست‌شناسی

[۲] کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده کشاورزی، بخش باغبانی

[۳] کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم، بخش زیست‌شناسی

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

امروزه، نقش سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک مولکول داخلی که موجب القای مقاومت به تنش‌های محیطی و زنده می‌گردد، مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه تأثیر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید (۰، ۰/۵ و ۱ میلی مولار) بصورت محلول‌پاشی در مراحل اولیه رشد بر پارامترهای رشد، جذب مواد معدنی، پراکسیداسیون لیپید (مقدار مالون دآلدئید)، نشت یونی و رنگیزه‌های فتوسنتزی در دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (بهاره اصفهان و پاییزه (۲۷۹)) در شرایط تنش شوری (۰ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر) مورد بررسی قرار گرفت. هر دو رقم گلرنگ پاسخ مشابهی به تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید نشان دادند. کاربرد برون‌زای سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی مولار در هر دو رقم گلرنگ، موجب بهبود رشد گیاهان و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی هم در شرایط تنش و هم در شرایط غیر تنش گردید. پراکسیداسیون لیپید (غلظت مالون دآلدئید) و نشت یونی که در تنش شوری افزایش یافته بود توسط این غلظت از سالیسیلیک اسید کاهش یافت. همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید (۰/۵ میلی مولار) مقدار سدیم را در گیاهان تحت تنش کاهش داد و غلظت عناصر پتاسیم و کلسیم را افزایش داد. اما کاربرد سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی مولار نه تنها اثرات منفی تنش شوری را بر رشد، پراکسیداسیون لیپیدها، نشت یونی و رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش نداد، بلکه خود موجب افزایش پراکسیداسیون لیپید، نشت یونی و کاهش پارامترهای رشد و مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد که غلظت کم سالیسیلیک اسید (۰/۵ میلی مولار) به‌عنوان تنظیم کننده رشد، موجب افزایش مقاومت گلرنگ به تنش شوری گردید، اما در غلظت‌های بالاتر (۱ میلی مولار) موجب تشدید تنش شوری و در نتیجه کاهش بیشتر رشد گیاهان شد.

واژه‌های کلیدی: سالیسیلیک اسید، تنش شوری، گلرنگ

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۵۳۲۶۳۲۸۰۰ ، پست‌الکترونیکی: f.daneshmand@yahoo.com

مقدمه

شوری یک عامل محیطی محدود کننده تولید محصول در گیاهان است و امروزه به‌عنوان یک مشکل روزافزون در کشاورزی مطرح است. در دنیا حدود ۱۰۰ میلیون هکتار (یا حدود ۵ درصد) از زمین‌های قابل کشت تحت تأثیر غلظت‌های بالای نمک هستند و رشد و تولید محصول در آن‌ها با کاهش همراه بوده است (۲۳). روش‌های نامناسب آبیاری و استفاده از آب‌های شور و یا با کیفیت پایین برای آبیاری (به دلیل محدود بودن منابع آب شیرین)، دلیل اصلی تجمع بیش از اندازه یون‌ها در خاک و شور شدن خاک می‌باشد. به علاوه در فصل‌های گرم و خشک سال به دلیل

تبخیر شدید تجمع نمک در سطح فوقانی خاک افزایش می‌یابد (۱۴). بنابراین ایجاد راه‌هایی برای القای افزایش مقاومت به نمک در گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

گیاهان به تنش‌های محیطی و زنده با سنتز مولکولهای علامت ده (سیگنالی) پاسخ می‌دهند. این مولکولهای سیگنالی راه‌های انتقال سیگنال (پیام) را فعال می‌کنند. چندین مولکول سیگنالی یا علامت ده در گیاهان شناسایی شده‌اند؛ ازجمله کلسیم، ژاسمونیک اسید، اتیلن، سالیسیلیک اسید و پراکسید هیدروژن. اینک نقش سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک سیگنال دفاعی در گیاهان ثابت شده است (۳۰،۱۹). سالیسیلیک اسید همچنین به دلیل نقش‌هایی که در گیاه ایفا می‌کند به‌عنوان یک هورمون گیاهی معرفی شده است (۴۷). در طی ۲۰ سال گذشته، محققان توجه خاصی به توانایی سالیسیلیک اسید در القای مقاومت سیستمیک اکتسابی (SAR) در گیاهان در برابر انواع تنش‌های زنده نظیر پاتوژن‌ها و تولید پروتئین‌های مرتبط با این پاتوژن‌ها مبذول داشته‌اند. سالیسیلیک اسید در طی این فرایند به‌عنوان یک مولکول سیگنالی برای القای بیان این ژن‌ها عمل می‌کند(۱۰، ۳۹،۳۳ ،۴۷). اینک محققان به بررسی توانایی سالیسیلیک اسید برای ایجاد اثرات محافظتی روی گیاهان تحت تنش‌های محیطی توجه نموده‌اند (۹، ۴۹،۴۲ ،۵۱). گزارش‌هایی مربوط به نقش سالیسیلیک اسید در افزایش مقاومت به شوری در گندم، برنج و خیار (۵۲و ۵۳)، گرما و سرما در گوجه فرنگی و لوبیا (۵۰) و فلزات سنگین در برنج (۳۸) وجود دارد. اما گزارش‌هایی نیز عکس موارد ذکر شده در بالا وجود دارد و نشان می‌دهد کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش شدت تنش و کاهش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی می‌گردد (۱۹ و ۲۴).

در تنش‌هایی نظیر شوری، خشکی، دمای بالا و پایین گیاهان گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌کنند که به دلیل اثرات مخربشان روی اجزای سلولی و متابولیسم گیاهی برای سلول مضر هستند و منجر به تنش اکسیداتیو در سلول می‌شوند. گونه‌های فعال اکسیژن موجب آسیب به لیپیدهای غشایی شده و باعث افزایش نشت مواد از عرض غشاهای زیستی می‌گردند، بنابراین حفظ همبستگی غشا در افزایش مقاومت به تنش نقش مهمی دارد (۵۳).

با توجه به نیاز فزاینده کشور به روغن‌های خوراکی، توسعه کشت دانه‌های روغنی از اهمیت زیادی برخوردار است. از بین دانه‌های روغنی سازگار با شرایط کشور، گلرنگ به‌عنوان یک گیاه بومی ایران و مقاوم به تنش‌های خشکی و شوری از آینده نویدبخشی برخوردار است. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی اثرات سالیسیلیک اسید روی رشد و مقدار عناصر معدنی در گلرنگ در شرایط تنش شوری و غیر تنش و بررسی تغییرات در نفوذپذیری غشا، پراکسیداسیون لیپید و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌باشد.

مواد و روشها

بذرهای دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) بهاره اصفهان و پاییزه ۲۷۹، در گلدانهای حاوی شن، رس و خاکبرگ با نسبت (۱:۱:۲) کاشته شد. برای هر تیمار ده گلدان به‌عنوان تکرار و در هر گلدان سه بذر کاشته شد. از مرحله سه تا چهار برگی گیاه به مدت دو هفته تحت تیمار کلرید سدیم با شدت ۰ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر (۰/۰۱۳ مولار) قرار گرفت. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت‌های ۰، ۰/۵ و ۱ میلی مولار همزمان با تیمار شوری به مدت یک هفته اعمال گردید. بعد از دو هفته نمونه‌ها برداشت شد و بعد از اندازه‌گیری پارامترهای مورفولوژیک، نمونه‌ها در نیتروژن مایع منجمد و تا زمان آزمایش در فریزر نگهداری گردید و پارامترهای زیر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

پارامترهای رشد: طول و وزن خشک اندام هوایی و تعداد برگ گیاهان در گروه‌های تیماری مختلف اندازه‌گیری

گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در فویل آلومینیومی پیچیده شده و به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد و بعد وزن گردید.

نشت یونی: برای سنجش میزان آسیب به غشا و میزان نشت یونی از روش Ben Hamed و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد (۷). ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه برگ گیاه را بعد از شستشو با آب مقطر برای شستشوی یون‌های احتمالی از سطح گیاه درون لوله‌ی آزمایش درپیچ‌دار قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر آب یون‌گیری شده به آن اضافه گردید. سپس لوله‌های آزمایش را به مدت ۲ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (Ec_1) با استفاده از Ec متر مدل Metrhom (ساخت سوئیس) اندازه‌گیری شد .سپس لوله‌های آزمایش در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو گردیده و بعد از خنک شدن لوله‌ها تا ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (Ec_2) مجدداً اندازه‌گیری گردید و با فرمول زیر درصد نشت یونی محاسبه شد.

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{Ec_1}{Ec_2} \times 100$$

پراکسیداسیون لیپید (مقدار مالون دآلدئید): اندازه‌گیری مالون دآلدئید (MDA) به روش Packer و Heath (۱۹۶۹) انجام شد (۲۶). طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت فریزشده گیاه (برگ) با ۵ میلی لیتر تری کلرواستیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد سائیده شد. عصاره‌ی حاصل با استفاده از سانتریفوژ به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ شد. به یک میلی لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفوژ، ۴ میلی لیتر محلول تری کلرواستیک اسید (TCA) ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید (TBA) بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد در حمام آبگرم حرارت داده شده، سپس بلافاصله در یخ سرد شد و دوباره مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در g۱۰۰۰۰ سانتریفوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل Cary50 Varian(ساخت آلمان) در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده‌ی مورد نظر برای جذب در این طول موج، کمپلکس قرمز MDA-TBA بود. جذب بقیه رنگیزه‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر گردید. برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی معادل ۱۵۵ $mM^{-1}cm^{-1}$ استفاده شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب نانومول بر گرم وزن‌تر محاسبه گردید.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوییدها (کاروتنویید و گزانتوفیل) با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) انجام شد (۳۴). ۰/۲ گرم از برگ‌های فریز شده گیاه با ۱۵ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد سائیده شده و پس از صاف کردن جذب آنها با اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲۰ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و غلظت رنگیزه‌ها بر حسب میکروگرم بر گرم وزن‌تر محاسبه گردید.

عناصر معدنی: برگهای تیمارها بعد از برداشت به دقت شسته شده و برای بدست آوردن ماده خشک، در آون در دمای ۷۰ درجه خشک شدند. برای اندازه‌گیری مواد معدنی، نمونه‌های گیاهی در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶ ساعت خاکستر شدند، و بعد در ۵ میلی لیتر محلول اسید نیتریک ۲ مولار حل شدند و در نهایت حجم محلول با آب دوبار تقطیر به ۲۵ میلی لیتر رسانده شد و با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف گردید. مقدار سدیم و پتاسیم توسط فلم فتومتر (Jenway PFP7; ELE instrument Co. Ltd.) و کلسیم توسط (AAS Analytic Jena (Vario تعیین شد.

محاسبات آماری: این مطالعه طبق آزمایش فاکتوریل با طرح کاملا تصادفی با دو فاکتور تنش شوری (۰ و ۱۲

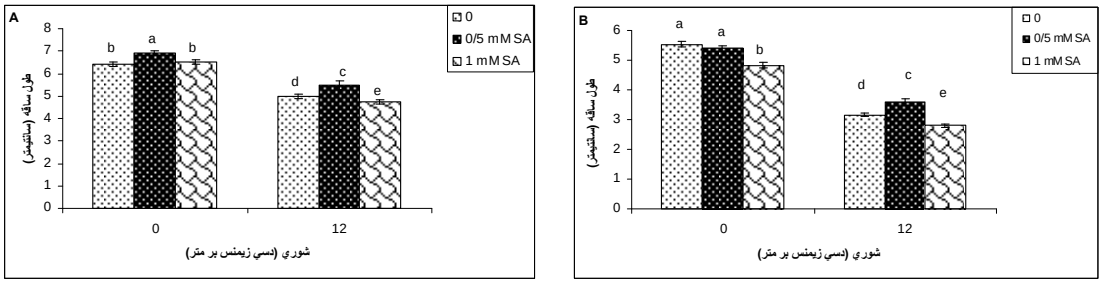
دسی زیمنس بر متر) و سالیسیلیک اسید (۰، ۰/۵ و ۱ میلی مولار) و با ده تکرار انجام شد. برای انجام محاسبات آماری، کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ انجام شد.

نتایج

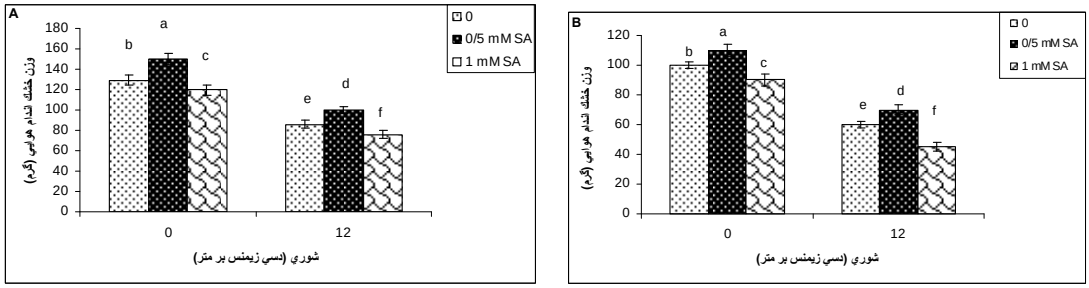
تنش شوری در هر دو رقم گلرنگ موجب کاهش طول ساقه (نمودار ۱)، وزن خشک اندام هوایی (نمودار۲)، تعداد برگ (نمودار۳)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل (جدول ۱) و کاروتنویید (نمودار۴) گردید. تنش کلرید سدیم میزان پراکسیداسیون لیپید (مقدار MDA) (نمودار۵) و نشت یونی (نمودار۶) را نیز در هر دو رقم گلرنگ افزایش داد. شوری موجب افزایش مقدار یون سدیم در برگ و کاهش مقدار یون پتاسیم و کلسیم (جدول ۱) گردید.

تیمار با غلظت ۰/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید، موجب افزایش طول ساقه (نمودار ۱)، وزن خشک اندام هوایی (نمودار۲)، تعداد برگ (نمودار۳)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل (جدول ۱) و کاروتنویید (نمودار۴) در هر دو رقم گلرنگ در شرایط تنش و غیر تنش گردید. سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی مولار، میزان پراکسیداسیون لیپید (مقدار MDA) (نمودار۵) و نشت یونی (نمودار۶) را نیز در هر دو رقم گلرنگ در شرایط تنش کاهش داد. تیمار با غلظت ۰/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید، موجب کاهش مقدار یون سدیم در برگ و افزایش مقدار یون پتاسیم و کلسیم (جدول ۱) در شرایط تنش شوری گردید.

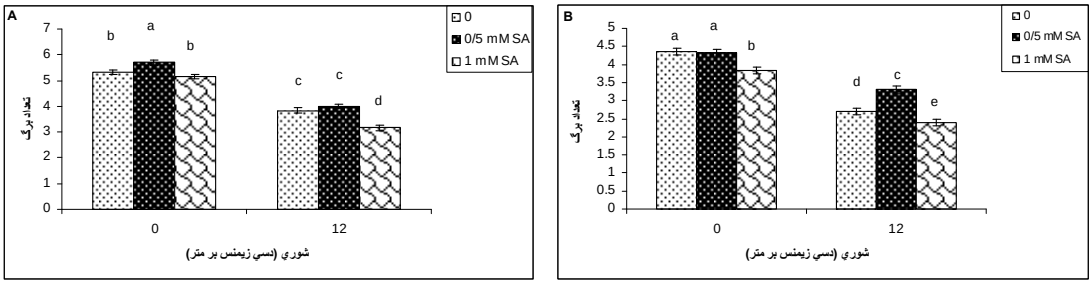
تیمار با غلظت ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید، موجب کاهش طول ساقه (نمودار ۱)، وزن خشک اندام هوایی (نمودار۲)، تعداد برگ (نمودار۳)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل (جدول ۱) و کاروتنویید (نمودار۴) در هر دو رقم گلرنگ در شرایط تنش و غیر تنش گردید. سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی مولار، میزان پراکسیداسیون لیپید (مقدار MDA) (نمودار ۵) و نشت یونی (نمودار ۶) را نیز در هر دو رقم گلرنگ در تنش شوری افزایش داد. تیمار با غلظت ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید، تأثیری بر مقدار یون سدیم در برگ‌های تحت تنش شوری نداشت (جدول ۱)، اما موجب کاهش مقدار یون پتاسیم و کلسیم (جدول ۱) در برگ در شرایط تنش شوری گردید.



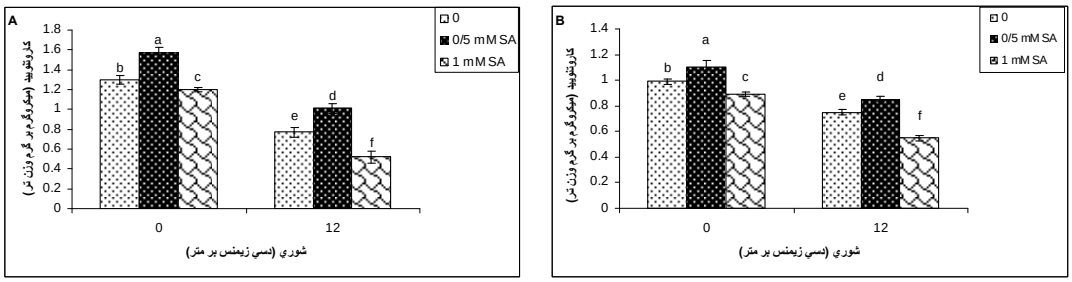
نمودار۱- اثر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر طول ساقه در گلرنگ (A: رقم بهاره اصفهان و B: رقم پاییزه ۲۷۹).



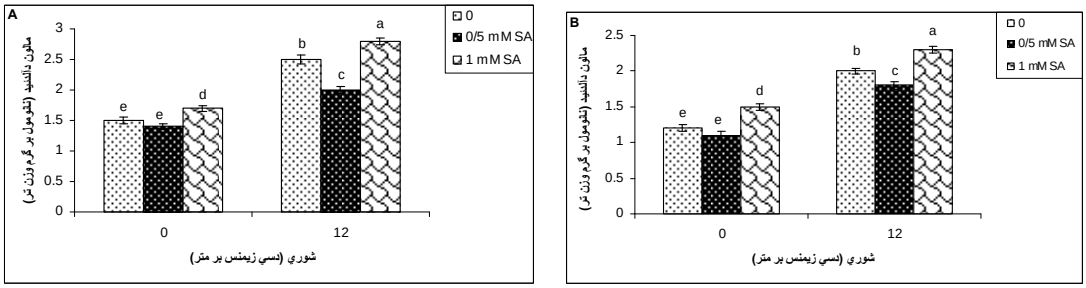
نمودار۲- اثر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر وزن خشک اندام هوایی در گلرنگ (A: رقم بهاره اصفهان و B: رقم پاییزه ۲۷۹).



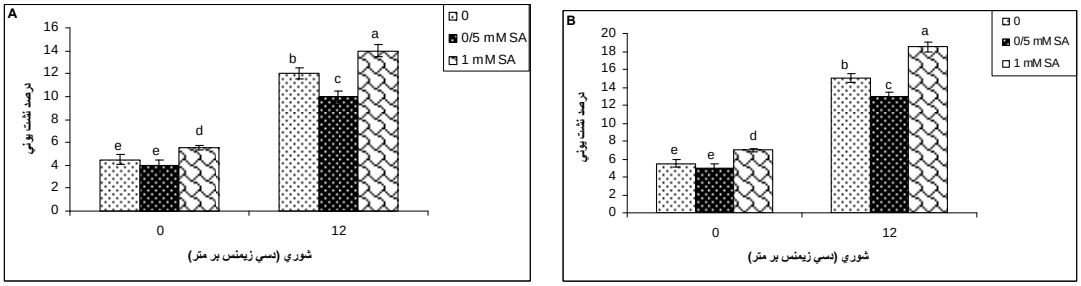
نمودار۳- اثر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر تعداد برگ در گلرنگ (A: رقم بهاره اصفهان و B: رقم پاییزه ۲۷۹).



نمودار۴- اثر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر مقدار کاروتنویید در گلرنگ (A: رقم بهاره اصفهان و B: رقم پاییزه ۲۷۹).



نمودار۵- اثر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر مقدار پراکسیداسیون لیپید (مقدار مالون دآلدئید) در گلرنگ (A: رقم بهاره اصفهان و B: رقم پاییزه ۲۷۹).



نمودار۶- اثر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر مقدار نشت یونی در گلرنگ (A: رقم بهاره اصفهان و B: رقم پاییزه ۲۷۹).

جدول ۱- اثر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پتاسیم، سدیم و کلسیم در گیاهان گلرنگ (: رقم بهاره اصفهان و: رقم پاییزه ۲۷۹).

رقم	پارامتر	کنترل	(۰/۵ mM) SA	(۱mM) SA	NaCl	(۱mM)+ NaCl SA	(۰/۵ mM) +NaCl SA
رقم بهاره	کلروفیل a (میکروگرم بر گرم وزن تر)	a۵/۸	a ۶/..	b ۵/۲۰	d ۴/۲۰	e ۳/۱۵	c ۴/۶۰
	کلروفیل b (میکروگرم بر گرم وزن تر)	b ۲/۱۰	a ۲/۵۰	c ۱/۷۹	e ۱/۲۸	f ۱/۱۰	d ۱/۵۰

اصفهان	کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم وزن تر)	b ۷/۸۷	a ۸/۵۰	c ۶/۹۹	e ۵/۴۰	d ۶/۰۰	f ۴/۲۵
	پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	a ۷/۳	a ۷/۶	b ۶/۶	c ۵/۹	b ۶/۶	d ۵/۵
	سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	c ۰/۸۶	c ۱/۰۰	c ۱/۰۳	a ۴/۱۹	b ۳/۶۲	a ۴/۰۰
	کلسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	b ۱/۷۰	a ۱/۹۵	b ۱/۷۵	c ۱/۳۵	b ۱/۷۰	d ۱/۲۰
رقم پاییزه ۲۷۹	کلروفیل a (میکروگرم بر گرم وزن تر)	b ۵/۴۰	a ۶/۰۹	b ۵/۰۰	d ۳/۹۰	c ۴/۵۰	e ۳/۰۰
	کلروفیل b (میکروگرم بر گرم وزن تر)	a ۳/۰۸	a ۳/۲۹	b ۲/۵۰	d ۲/۰۰	c ۲/۳۰	e ۱/۵۰
	کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم وزن تر)	b ۸/۵۰	a ۹/۳۸	a ۷/۵۰	e ۵/۹۰	d ۶/۸۰	f ۴/۲۰
	پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	b ۶/۰۴	a ۶/۳۵	c ۵/۹۰	e ۵/۶۰	d ۵/۷۷	f ۵/۴۰
	سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	c ۰/۶۷	c ۰/۹۳	c ۱/۰۰	a ۲/۵۱	b ۲/۰۴	a ۲/۶۱
	کلسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	b ۱/۳۲	a ۱/۴۰	b ۱/۲۵	d ۰/۹۰	c ۱/۱۰	e ۰/۷۰

بحث و نتیجه‌گیری

تنش شوری موجب کاهش معنی‌داری در رشد هر دو رقم گلرنگ گردید. کاهش رشد در تنش شوری در گیاهان مختلف به وسیله بسیاری از محققان گزارش شده است (۶۰،۲۱،۱۷،۶). کاهش میزان رشد در شرایط تنش شوری یا خشکی می‌تواند به دلیل دخالت در فرایندهای درگیر در تولید انرژی مثل فتوسنتز و تنفس باشد. گزارش شده که تغییر نسبت K^+/Na^+ بر فعالیت‌های بیو انرژیتیک سلول تأثیر می‌گذارد (یون پتاسیم به‌عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌های فتوسنتزی و تنفسی می‌باشد) (۲۹، ۵۷). تغییر در تعادل هورمونی نیز یکی دیگر از دلایل کاهش رشد می‌باشد (۴۳). مهار گسترش تقسیم سلولی، کاهش سطح برگ و کاهش سطح دریافت نور، تسریع پیری برگ‌ها، افزایش درجه حرارت برگ، تحت تأثیر قرار گرفتن دستگاه فتوسنتزی، کاهش کارآیی زنجیره انتقال الکترون و کمپکس جمع‌کننده نور، کاهش کارآیی کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و یا افزایش فعالیت اکسیژنازی این آنزیم، کاهش ظرفیت بازسازی RUBP، مهار سنتز ATP به دلیل مهار فعالیت کمپلکس ATP سنتتاز، غیرفعال شدن PSI و PSII به دلیل جدا شدن برخی از پروتئین‌ها از آنها در حضور غلظت‌های بالای سدیم و کلر، تغییر در هدایت روزانه‌ای، میزان تعرق، محتوای نسبی آب و کاهش تورگر، تغییر در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و القای کلروفیلاز، سمیت نمک به دلیل جذب مقادیر زیاد یون‌های سدیم و کلر و رقابت و اختلال در جذب و انتقال یون‌های ضروری و عدم تعادل و کمبود عناصر ضروری، تنش اکسیداتیو و اکسیداسیون ترکیبات مهم زیستی ازجمله پروتئین‌ها و یا پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب به غشاهای زیستی ازجمله غشاهای تیلاکوییدی دلایلی است که در کاهش رشد در شرایط تنش شوری در گزارش‌های مختلف ذکر شده است (۴۴ ،۴۱).

تیمار سالیسیلیک اسید در غلظت ۰/۵ میلی مولار، اثرات مخرب و منفی تنش شوری را بر رشد گیاهان گلرنگ (هر دو رقم) کاهش داد. این تأثیر سالیسیلیک اسید بر رشد گیاه گلرنگ توسط یافته‌های Shakirova و همکاران (۲۰۰۳) تأیید می‌شود (۵۲). Coronado و همکاران (۱۹۹۸) نیز در تحقیقات خود گزارش کردند که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر اندام هوایی گیاهان سویا به طور معنی‌داری رشد

ریشه و اندام هوایی این گیاهان را هم در شرایط گلخانه‌ای و هم در شرایط مزرعه‌ای بهبود بخشید (۱۲). در گیاهچه‌های گندم تحت تنش شوری نیز کاربرد سالیسیلیک اسید موجب بهبود پارامترهای رشد گردید (۱). Singh و Usha (۲۰۰۳) نیز گزارش کردند که تیمار گیاهان گندم تحت تنش خشکی با سالیسیلیک اسید موجب افزایش وزن خشک این گیاهان گردید (۵۴).

اثر تیمارهای سالیسیلیک اسید بر کاهش اثرات سایر تنش‌های محیطی هم گزارش شده است. به‌عنوان مثال سالیسیلیک اسید در تنش سرما در ذرت (۱۸)، در تنش گرما در خردل (۲۵) و در تنش کادمیوم در جو (۳۷) موجب کاهش تنش و بهبود پارامترهای رشد گردید.

اثرات تحریکی سالیسیلیک اسید بر رشد می‌تواند به دلایلی مانند افزایش میزان تقسیم در مناطق مریستمی و رشد سلولی باشد که موجب افزایش رشد می‌گردد و دلیل دیگر آن نیز تأثیر سالیسیلیک اسید بر سایر هورمونهای گیاهی می‌باشد (۸، ۵۲،۴۹). از دلایل دیگر بهبود پارامترهای رشد تحت تأثیر تیمار سالیسیلیک اسید می‌توان تأثیر سالیسیلیک اسید بر دستگاه فتوسنتزی و حفاظت از دستگاه فتوسنتزی، مقدار فتوسنتز، فعالیت آنزیم روبیسکو، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو و نشت یونی، افزاش همبستگی غشاهای زیستی، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی گیاه را نام برد که در مطالعات مختلف به آنها اشاره شده است (۱۵، ۳۱، ۴۵، ۵۶). در مطالعه حاضر تیمار سالیسیلیک اسید (غلظت ۰/۵ میلی مولار) با کاهش مقدار سدیم در برگ، موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی (به‌عنوان یکی از اجزای تأثیرگذار بر تولید زی‌توده)، مقدار کاروتنوییدها (به‌عنوان یکی از اجزای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی) و کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش همبستگی غشا شد، که نتیجه آن در بهبود پارامترهای رشد مشاهده گردید.

شوری موجب آسیب به غشاهای زیستی گیاهان می‌گردد. نفوذپذیری غشا و پراکسیداسیون لیپید (غلظت MDA) به طور معنی‌داری با تنش شوری افزایش یافت ولی تنش اکسیداتیو با کاربرد سالیسیلیک اسید (غلظت ۰/۵ میلی مولار) کاهش یافت. افزایش نشت‌پذیری غشاهای زیستی و آسیب به غشاهای زیستی در تنش‌های مختلف محیطی نظیر شوری به دلیل افزایش پراکسیداسیون لیپیدها می‌باشد (۳۸).

گزارش‌های متعدد همبستگی مثبتی را بین افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط و افزایش مقدار یون سدیم در بافت‌های گیاهی نشان می‌دهد (۳ و ۴). در این مطالعه کاربرد سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی مولار، به طور معنی‌داری منجر به کاهش مقدار یون سدیم در گیاهان تحت تنش گردید. البته کاهش مقدار سدیم و همچنین احتمال افزایش فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌تواند اثرات مثبت سالیسیلیک اسید را بر رشد گیاهان تحت تنش شوری توجیه نماید. در مطالعه حاضر کاربرد این غلظت از سالیسیلیک اسید موجب افزایش مقدار عناصر پتاسیم و کلسیم در گیاهان گلرنگ گردید.

اما در مطالعات مختلف گزارش‌های متناقضی در مورد تأثیر سالیسیلیک اسید بر جذب یون‌ها وجود دارد. کاربرد سالیسیلیک اسید هیچ تأثیری بر مقدار سدیم در هویج (۱۶) و اسفناج (۱۷) در تنش شوری نداشت. البته کاربرد استیل سالیسیلیک اسید نیز تأثیری بر عناصر معدنی در گیاهان کدوی تحت تنش خشکی نداشته است (۳۱). اما Gunes و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که سالیسیلیک اسید موجب افزایش کاتیون‌ها ازجمله پتاسیم در گیاهان ذرت در تنش‌های مختلف گردیده است (۲۲). در گیاهان گوجه فرنگی تحت تنش شوری، پیش تیمار آسپرین موجب افزایش مقدار سدیم در برگ‌ها گردید، در این گزارش جذب بیشتر سدیم، یک پاسخ مفید در افزایش توان گیاه برای تنظیم اسمزی ذکر شده است (۵۹). کاربرد

سالیسیلیک اسید در گیاه جو در تنش شوری موجب کاهش سدیم و افزایش میزان پتاسیم، کلسیم، نیتروژن، آهن در گیاهان جو گردید که در این گزارش بیان شده است. البته کاهش جذب سدیم در کاهش آسیب به غشا و افزایش تولید وزن خشک مؤثر است (۱۵). Al-Hakimi و Hamada (۲۰۰۱) نیز طی تحقیقات خود نشان دادند که سالیسیلیک اسید موجب کاهش مقدار سدیم در ریشه و اندام هوایی گیاهان گندم تحت تنش شوری می‌گردد (۵). این محققان اثرات مشابه تأثیر سالیسیلیک اسید را بر غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در گیاهان گندم تحت تنش شوری گزارش نمودند (۵). اما Eraslan و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که تأثیر سالیسیلیک اسید بر جذب و انتقال یون در گیاهان منجر به پاسخی خاص برای هر گونه می‌گردد (۱۷).

در این مطالعه تنش شوری موجب کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنویید) گردید. کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌تواند عمدتا به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آنها با اکسیژن یکتایی، تخریب پیش ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل ازجمله کلروفیلاز و اختلالات هورمونی باشد (۱۵، ۴۰، ۴۸، ۵۸). هر چند که تجمع یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها در تنش شوری نیز تأثیر منفی بر غلظت کلروفیل دارد (۵۸،۵۵). علاوه بر این، تنش شوری در جذب برخی عناصر ضروری نظیر آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند (در سنتز کلروفیل ضروری می‌باشد) (۴۰). لیپوکسیژناز نیز یکی از آنزیم‌های دخیل در کاتابولیسم کلروفیل گزارش شده است، لیپوکسیژناز در هنگام تنش یکی از آنزیم‌های دخیل در پراکسیداسیون لیپیدهاست (۱۳). کاهش مقدار کاروتنویید در شرایط تنش نیز به علت تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زئازانترین در چرخه گزانتوفیل می باشد (۵۸). کاهش مقدار کلروفیل و کاروتنویید در شرایط تنش شوری در گیاه گوجه فرنگی (۲۸، ۵۹) و سویا (۳) گزارش شده است و این کاهش در ارقام حساس بیشتر از ارقام مقاوم بود (۲۸).

تیمار گیاهان با سالیسیلیک اسید، سبب افزایش مقدار کلروفیل (به‌عنوان یکی از اجزای اصلی فتوسنتزی و تأثیرگذار بر وزن خشک) و محتوای کاروتنویید در گیاه کنترل و گیاه تحت تنش گردید که نشان‌دهنده توانایی سالیسیلیک اسید برای بهبود رشد می‌باشد. مشابه با نتایج این آزمایش، سالیسیلیک اسید در گیاهان جو (۱۵)، گندم (۴)، اسفناج (۱۷)، کلزا (۲۰)، گوجه فرنگی (۵۹) و نخود (۴۵) مقدار کلروفیل و کاروتنویید را افزایش داد.

القای سنتز کاروتنوییدها در شرایط تنش می‌تواند به دلیل نقش حفاظتی آنها در تشکیلات فتوسنتزی باشد. زیرا این رنگیزه‌ها مسئول خاموش کردن اکسیژن یکتایی و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها و نهایت تنش اکسیداتیو می‌باشند (۳۲). کاروتنوییدها انرژی زیادی را از فتوسیستم (I) و (II) به صورت گرما یا واکنش‌های شیمیایی بی‌ضرر دفع کرده و می‌توانند غشاهای کلروپلاستی را حفظ نمایند (۲۸،۳۲،۳۶). کاروتنوییدها علاوه بر خاموش کردن اکسیژن یکتایی، به طور مستقیم می‌توانند توسط این رادیکال آزاد اکسید شوند. به‌علاوه قادرند حالت برانگیخته سه‌تایی کلروفیل را خاموش نمایند. بنابراین به طور غیرمستقیم نیز تولید گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهند. همچنین کاروتنوییدها از طریق سازوکاری که چرخه گزانتوفیل نامیده می‌شود و در آن به طور پی‌درپی واکنشهای اپوکسیداسیون و داپوکسیداسیون انجام می‌گیرد باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون می‌شوند(۳۵).

در مطالعه حاضر، به نظر می‌رسد که پیش تیمار با SA (با غلظت ۰/۵ میلی مولار) به‌عنوان یک پروسه مقاوم سازی عمل نموده است و با افزایش توان آنتی‌اکسیدانی سلول (داده‌های مربوط به توان آنتی‌اکسیدانی گیاه گلرنگ در

اینجا آورده نشده است) ازجمله کاروتنوییدها موجب کاهش مقدار پراکسیداسیون لیپیدها شده و موجب حفاظت بیشتر از غشاهای سلولی و فتوسنتزی و رنگیزه‌های فتوسنتزی و مانع از کاتابولیسم کلروفیل شده است، که نتایج آن در بهبود پارامترهای رشد مشخص می‌باشد.

در این مطالعه غلظت ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید نه تنها تنش شوری را کاهش نداد بلکه با افزایش شدت تنش (به خصوص تنش اکسیداتیو) و افزایش پراکسیداسیون لیپید و نشت یونی موجب کاهش بیشتر رشد گیاهان گلرنگ تحت تنش شوری گردید. مشابه با این نتایج، در مطالعه‌ای که توسط Ganesan و Thomas (۲۰۰۱) انجام شد، کاربرد سالیسیلیک اسید منجر به تجمع H_2O_2 در برنج شد. این تیمار موجب القای سازوکارهای سلولی شد که با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن همراه است (۱۹). این محققان نتیجه‌گیری کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید می‌تواند منجر به تنش اکسیداتیو گردد (۱۹). تیمار برگ‌های گیاه توتون با سالیسیلیک اسید نیز منجر به افزایش H_2O_2 و تنش اکسیداتیو گردید (۱۱،۴۶). در جلبک *Dunaliella salina* نیز در شرایط تنش شوری کاربرد سالیسیلیک اسید موجب کاهش مقدار کلروفیل، بتاکاروتن و تقسیم سلولی گردید (۲).

به‌عنوان نتیجه‌گیری، نتایج این مطالعه نشان داد که هر دو رقم گلرنگ مورد استفاده در این آزمایش پاسخ تقریبا مشابهی به تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید دادند. سالیسیلیک اسید در غلظت کم (۰/۵ میلی مولار) در تنظیم پاسخ به تنش شوری در گیاهان گلرنگ نقش داشت و توانست به‌عنوان تنظیم کننده رشد، موجب کاهش تنش، بهبود رشد و تغذیه گیاهان گلرنگ در شرایط تنش شوری شود. اما استفاده از غلظت بالاتر سالیسیلیک اسید (۱ میلی مولار) نه تنها بهبود دهنده اثرات تنش در گلرنگ نبود، بلکه خود به‌عنوان عامل تشدیدکننده تنش عمل نمود و رشد را کاهش داد.

منابع

۱- دولت آبادیان آ، مدرس ثانوی س ع م، اعتمادی ف. ۱۳۸۷. اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک بر جوانه زنی بذر گندم در شرایط تنش شوری. مجله زیست شناسی ایران. ۲۱ (۴): ۶۹۲-۷۰۲.

۲- معین م، شریعتی م. ۱۳۸۹. اثر همزمان سالیسیلیک اسید و تنش شوری بر روی رشد (تقسیم سلولی)، رنگیزه های فتوسنتزی و مقدار بتاکاروتن در جلبک تک سلولی *Dunaliella salina* Teod. مجله زیست شناسی ایران. ۲۳ (۵): ۶۳۸-۶۴۷.

3- Abd El Samad HM, Shaddad MAK (1997) Salt tolerance of soybean cultivars. Biol Plant 39 (2): 263-269.

4- Agarawal S, Sairam RK, Srivasta GC, Meena RC (2005) Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. Biol Plant 49(4): 541-550.

5- Al-Hakimi AMA, Hamada AM (2001) Counteraction of salinity stress on wheat plants by grain soaking in ascorbic acid, thiamin or sodium salicylate. Biol Plant 44:253–61.

6- Alpaslan M, Gunes A. (2001) Interactive effects of boron andsalinity stress on the growth, membrane permeabilityand mineral composition of tomato and cucumber plants. Plant Soil 236:123–8.

7- Ben Hamed K, Castagna A, Salem E, Ranieri A, Abdelly C (2007) Sea fennel (Crithmum maritimum L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation. 53: 185-194.

8- Bezrukova MV, Sakhabutdinova R, Fathutdinova RA, Kyldiarova I, Shakirova F. (2001) The role of hormonal changes in protective action of salicylic acid on growth of wheat seedlings under water deficit. Agrochemiya (Russ) 2:51–4.

9- Bhupinder S, Usha K. (2003) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regul 39:137–41.

10- Cameron RK. (2000) Salicylic acid and its role in plant defense responses: what do we really know? Physiol Mol Plant Pathol 56:91–3.

11- Chen Z, Ricigliano JW, Klessig DF. (1993) Purification and characterization of a soluble salicylic acid-binding protein from tobacco. Proc Natl Acad Sci USA 90:9533–7.

12- Coronado MAG, Lopez CT, Saavedra AL. (1998) Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant Physiol Biochem 8:563–5.

13- Costa M, Civell PM, Chaves AR, Martinez GA (2005) Effects of ethephon and 6-benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase-linked chlorophyll bleaching during post-harvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20 °C. Postharvest Biol Tech 35: 191-199.

14- Ebert G, Eberle J, Dinar HA, Lu¨dders P. (2002) Ameliorating effects of Ca(NO3)2 on growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl-stressed guava seedlings (Psidum guajava L.). Sci Horticult 93:125–35.

15- El-Tayeb MA (2005) Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regul 42: 215-224.

16- Eraslan F, Inal A, Gunes A, Alpaslan M (2007) Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Sci Hortic-Amesterdam 113: 120-128.

17- Eraslan F, Inal A, Pilbeam DJ, Gunes A (2008) Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. CV. Matador) grown under boron toxicity and salinity. Plant Growth Regul 55: 207-219.

18- Farooq M, Aziz T, Basra S.M.A, Cheema M.A, Rahman H (2008) Chilling tolerance in hybrid maize induced by priming whit salicylic acid. Agron. Crop Sci 194: 161-168.

19- Ganesan V, Thomas G. (2001) Salicylic acid response in rice: influence of salicylic acid on H2O2 accumulation and oxidative stress. Plant Sci 160:1095–106.

20- Ghai N, Setia RC, Setia N (2002) Effect of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brassica napus* L. (cv. GSL-1). Phytomorphol. 52: 83-87.

21- Greenway H, Munns R. Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. Annu Rev Plant Physiol 1980;31:149–90.

22- Gunes A, Inal A, Alpaslan M, Cicek N, Guneri E, Eraslan F, Guzelorda T (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.

23- Gunes_A, Inal A, Alpaslan M, Eraslan F, Guneri Bagci E, Cicek N (2007) Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (Zea mays L.) grown under salinity. J. Plant Physiology.164: 728-736.

24- Hayat S, Ahmad A (2007) Salicylic acid: a plant hormone. Speringer.

25- Hayat S, Masood A, Yusef M, Fariduddin Q, Ahmad A (2009) Growth of Indian musard (Brassica juncea L.) in response to salicylic acid under hight-temperature stress. Braz J Plant Physiol 21(3):187- 195.

26- Heath R, Packer L. (1968) Photooxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch Biochem Biophys 125:189–98.

27- Horvath E, Szalai G, Janda T (2007) Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. J Plant Growth Regul 26: 290-300.

28- Juan M, Rivero RM, Romero L, Ruiz JM (2005) Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. Environ Exp Bot 54: 193-201.

29- Kao WY, Tsai TT, Tsai HC, Shih CN (2006) Response of three Glycine species to salt stress. Environ Exp Bot 56: 120-125.

30- Klessig DF, Malamy J. (1994) The salicylic acid signal in plants. Plant Mol Biol 26:1439–58.

31- Korkmaz A, Uzunlu M, Demirkairan AR (2007) Treatment with acetylsalicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. Acta Physiol Plant 29: 503-508.

32- Koyro HW (2006) Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). Environ Exp Bot 56: 136-149.

33- Levin A, Teneken R, Dixon RA, Lamb CJ. (1994) H2O2 from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. Cell 79:583–93.

34- Lichtenthaler HK. (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomemranes. Methods Enzymol 148:350–82.

35- Loggini B, Scartazza A, Brugonli E, Navari-Izzo F (1999) Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. Plant Physiol 119: 1091-1099.

36- Matysik J, Alia A, Bhalu B, Mohanty p (2002) Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. Current Sci 82(5):525-532.

37- Metwally A, Finkemeier I, Georgi M, Dietz KJ (2003) Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiol 132: 272-281.

38- Mishra A, Choudhuri MA. (1999) Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. Biol Plant 42:409–15.

39- Mur LAJ, Naylor G, Warner SAJ, Sugars JM, Draper J. (1996) Salicylic acid potentiates defence gene expression in leaf tissues exhibiting acquired resistance to pathogen attack. Plant J 9:559–71.

40- Neocleous D, Vasilakakis M (2007) Effects of NaCl stress on red raspberry (Rubus idaeus L. "Autumn Bliss"). Scientia Horticulturae 112: 282-289.

41- Orcutt DM, Nilsen ET (2000) The physiology of plants under stress, soil and biotic factors. John Wiley and Sons, New York. pp: 177-235.

42- Pal M, Szalai G, Horvath E, Janda T, Paldi E. (2002) Effect of salicylic acid during heavy metal stress. Proceedings of seventh Hungarian congress on plant physiology. Acta Biol Szegediensis 46:119–20.

43- Pandey DM, Goswami CL, Kumar B (2003/4) Physiological effects of plant hormones in cotton under drought. Biol Plant 47(4): 535-540.

44- Parida AK, Das AB (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotox Environ Safe 60: 324-349.

45- Popova LP, Maslenkova LT, Yordanova RY, Ivanova AP, Krantev AP, Szalai G, Janda T (2009) Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Plant Physiol Biochem 47:224-231.

46- Rao MV, Paliyath G, Ormrod DP, Murr DP, Watkins CB. (1997) Influence of salicylic acid on H2O2 production, oxidative stress and H2O2-metabolizing enzymes: salicylic acid-mediated oxidative damage requires H2O2. Plant Physiol 115:137–49.

47- Raskin I. (1992) Role of salicylic acid in plants. Ann. Rev Plant Physiol Mol Biol 43:439–63.

48- Rout NP, Tripathi SB, Shaw BP (1997/98) Effect of salinity on chlorophyll and proline content in three aquatic macrophytes. Biol Plant 40 (3): 453-458.

49- Sakhabutdinova AR, Fatkhutdinova DR, Bezrukova MV, Shakirova FM. (2003) Salicylic acid prevents damaging action of stress factors on wheat plants. Bulg J Plant Physiol 214–9 [special issue].

50- Senaratna T, Touchell D, Bunn E, Dixon K. (2000) Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regul 30:57–161.

51- Shakirova FM, Bezrukova MV. (1997) Induction of wheat resistance against environmental salinization by salicylic acid. Biol Bull 24:109–12.

52- Shakirova FM, Sakhabutdinova AR, Bezrukova MV, Fathutdinova RA, Fathutdinova DR. (2003) Changes in hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Sci 164:317–22.

53- Shim IS, Momose Y, Yamamoto A, Kim DW, Usui K. (2003) Inhibition of catalase activity by oxidative stress and its relationship to salicylic acid accumulation in plants. Plant Growth Regul 39: 285–92.

54- Singh B, Usha K. (2003) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regul 39:137–41.

55- Stepien P, Klobus G (2006) Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. Biol Plant 50(4): 610-616.

56- Stevens J, Senaratna T, Sivasithamparam K (2006) Salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilization. Plant Growth Regul 49: 77-83.

57- Sudhir P, Murthy SDS (2004) Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. Photosynthetica 42(4): 481-486.

58- Sultana N, Ikeda T, Itoh R (1999) Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environ Exp Bot 42(3):211-220.

59- Tari I, Csiszar J, Szalai G, Horvath F, Pecsvaradi A, Kiss G, Szepsi A, Szabo M, Erdei L (2002)

Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic acid pre-treatment. Acta Biologica Szegediensis 46 (3-4): 55-56.

60- Wang WB, Kim YH, Lee HS, Kim KY, Deng XP, Kwak SS (2009) Analysis of antioxidant enzymes activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. Plant Physiol Biochem: 47(7): 570-577.

Salicylic acid induced changes in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salinity stress

Daneshmand F.[1], Arvin M.J.[2] and Keramat B.[3]

[1] Biology Dept., Payame Noor University, Tehran, I.R. of Iran

[2] Horticulture Dept., College of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, I.R. of Iran

[3] Biology Dept., Faculty of Science, Shahid Bahonar University, Kerman, I.R. of Iran

Abstract

Salicylic acid as an endogenous signal molecule has been reported to be responsible for inducing abiotic stress tolerance in plant species. In this study, the effect of varying levels of salicylic acid (0, 0.5 and 1 mM) was studied on growth, mineral uptake, membrane permeability, lipid peroxidation and photosynthetic pigments of salt stressed safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plants. Cultivars responded similarly to salinity and salicylic acid. Salicylic acid at 0.5 mM improved plant growth and photosynthetic pigments under saline and non-saline conditions in both cultivars. Salicylic acid also inhibited Na^+ accumulation, stimulated K^+ and Ca^{2+} concentrations and decreased lipid peroxidation and ion leakage in salt stressed plants. Higher level of salicylic acid (1 mM) had negative effects on parameters recorded. These results suggested that foliar application of salicylic acid at appropriate concentration can be use as a potential growth regulator to improve plant salinity stress resistance.

Key words: Salicylic acid. Salt stress, Safflower