نشریهٔ پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۷ شمارهٔ۲، صفحهٔ ۹۴-۷۸، نیمهٔ دوم ۱۳۹۵

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 7, No. 2, 2016, p. 78-94
DOI: 10.22067/ijpr.v7i2.44059

برهمکنش اثرات شوری و سالیسیلیک‌اسید بر جوانه‌زنی، رشد و برخی از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.)

علی گنجعلی[1*]، پروانه ابریشم‌چی[2] و مریم شوریابی[3]

۱- دانشیار گروه زیست‌شناسی دانشکدهٔ علوم و عضو هیئت علمی گروه بقولات پژوهشکدهٔ علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۸

چکیده

تحقیقات نشان‌داده است که سالیسیلیک‌اسید می‌تواند تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله شوری را بهبود بخشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر صفات مربوط به جوانه‌زنی، رشد و برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی دو ژنوتیپ نخود (MCC414 و MCC789) در مواجهه با تنش شوری در مراحل گیاهچه‌ای و گلدهی انجام شد. این آزمایش در مرحله جوانه‌زنی در پنج‌سطح شوری شامل صفر، ۳، ۵، ۱۰ و $12dsm^{-1}$و سه غلظت صفر، ۰/۵ و یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و در مرحله گیاهچه‌ای و گلدهی شامل سه‌سطح شوری صفر، ۴ و $8dsm^{-1}$ و تیمار سالیسیلیک‌اسید با غلظت‌های صفر و ۰/۵ میلی‌مولار به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه‌تکرار انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌داد که در هر دو ژنوتیپ با افزایش سطح تنش شوری، سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. کاربرد سالیسیلیک‌اسید (۰/۵میلی‌مولار) در ژنوتیپ MCC789 در سطح تنش شوری ۳ و $12dsm^{-1}$ به‌ترتیب، سرعت و درصد جوانه‌زنی را بهبود بخشید. همچنین در سطح تنش شوری $10dsm^{-1}$ استفاده از سالیسیلیک‌اسید (یک و ۰/۵میلی‌مولار) سرعت جوانه‌زنی را در ژنوتیپ MCC414 افزایش داد. در این ژنوتیپ در شوری $12dsm^{-1}$ سالیسیلیک‌اسید (یک میلی‌مولار) سبب افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه شد و در ژنوتیپ MCC789، استفاده از سالیسیلیک‌اسید (۰/۵میلی‌مولار) در سطح تنش شوری $3dsm^{-1}$، طول ساقه‌چه را افزایش داد. در مرحلهٔ گیاهچه‌ای کاهش وزن خشک ریشه و ساقه در سطوح مختلف تنش شوری مشاهده شد. در سطح شوری $4dsm^{-1}$، کاربرد خارجی سالیسیلیک‌اسید در ژنوتیپ MCC789 و MCC414 به‌ترتیب وزن خشک ساقه و مجموع طول ریشه‌ها را افزایش داد. در مرحلهٔ گلدهی، در هر دو ژنوتیپ تنش شوری موجب کاهش شاخص کلروفیل، شاخص پایداری غشاء، میزان تعرق و کارایی فتوسیستمII و افزایش مقاومت روزنه‌ای شد. سالیسیلیک‌اسید در تنش شوری $8dsm^{-1}$، شاخص کلروفیل را در ژنوتیپ MCC789 و در ژنوتیپ MCC414 شاخص پایداری غشاء را افزایش داد. در هر دو ژنوتیپ سالیسیلیک‌اسید در تنش شوری $8dsm^{-1}$، سبب کاهش مقاومت روزنه‌ای و افزایش کارایی فتوسیستمII شد. این نتایج می‌تواند گویای اثر تعدیل‌کنندهٔ سالیسیلیک‌اسید بر جوانه‌زنی و فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه نخود تحت تنش شوری باشد. با توجه به نتایج، احتمالاً ژنوتیپ MCC789 نسبت به ژنوتیپ MCC414 از حساسیت بیشتری به تنش شوری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، سالیسیلیک‌اسید، شاخص پایداری غشاء، کارایی فتوسیستمII ، نخود

مقدمه

شوری یک عامل مهم و تعیین‌کننده برای رشد و تولید گیاهان است و مقدار آن در سطح کرهٔ زمین به‌سرعت در حال افزایش است، در حال‌حاضر بیش از ۸۰۰میلیون هکتار معادل بیش از شش‌درصد از اراضی جهان متأثر از شوری هستند (FAO, 2011). هرچند که تنش شوری تمام مراحل رشد یک گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما مراحل جوانه‌زنی دانه و رشد دانه‌رُست برای اغلب گونه‌های گیاهی بسیار حساس شناخته شده است (Ungar, 1995). اثرات مضر شوری بر جوانه‌زنی ممکن است به‌علت جذب آب کم و تفاوت در سیالیت ماده ذخیره‌شده و پروتئین‌های ساختاری باشد، همچنین اثرات مهاری شوری بر روی جوانه‌زنی به‌سبب اثر اسمزی و سمی نمک‌ها است (Demir & Mavi, 2008).

تنش شوری بسیاری از واکنش‌های معمول را در گیاهان به‌راه می‌اندازد که به آب‌زدایی سلولی همراه با تغییرات اسمزی پیوسته منجر می‌شود. تنش شوری دارای اثرات سه‌گانه‌ای است

* **نویسنده مسئول:** ganjeali@um.ac.ir، تلفن همراه: ۰۹۱۵۳۰۵۷۶۴۵

که به‌اختصار شامل: کاهش پتانسیل آب، عدم تعادل یونی یا اختلال در تعادل یونی و سمیت می‌باشد. این حالت متغیر آب به کاهش رشد اولیه و محدودیت تولید گیاهی منجر می‌شود (Asish Kumar & Anath, 2005). شوری رشد گیاه را به‌علت تغییر در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مثل فتوسنتز (Kalaji Guo, 2008)، اختلال انتقال الکترون در زنجیرهٔ انتقال الکترونی و کاهش فعالیت فتوسیستمII و تغییر در طیف جذبی کلروپلاست‌ها (Allakhverdiev *et al*., 2000) و کاهش هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد (Parsons & Zekri, 1990). همچنین شوری باعث تخریب ساختار کلروپلاست‌ها و عدم پایداری ترکیب‌های رنگیزه-پروتئین مثل کاروتنوئیدها می‌شود (Singh & Dubey., 1995). بررسی‌ها نشان‌داده است که در محیط‌های شور، درصد جوانه‌زنی کاهش، رشد رویشی ضعیف و رشد زایشی گیاه به‌تأخیر می‌افتد (Karen *et al*., 2002). در برخی گیاهان، شوری متابولیسم اسیدهای‌نوکلئیک را تحت تأثیر قرار داده و سبب کاهش رشد گیاه شده است. در بافت‌های گوجه‌فرنگی، مقدار DNA در حضور کلرورسدیم ۰/۸درصد افزایش اما مقدار DNA و RNA در غلظت‌های سمی نمک (۱/۶درصد) کاهش یافت. علت این کاهش جلوگیری از تولید و افزایش تجزیه اسیدهای‌نوکلئیک است. کلرورسدیم فرآیندهای همانندسازی و رونویسی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نوکلئوتیدهای ساده‌تر نیز در پاسخ به تنش شوری تغییر می‌یابند (Allen., 1995).

در سال‌های اخیر شواهد زیادی به‌دست آمده است که تأیید می‌کند سالیسیلیک‌اسید نقش مهمی در پاسخ به اثرات تنش زیستی و غیرزیستی (مانند دمای بالا و پایین، اشعه UV-B، أزن، فلزات سنگین و ...) ایفا می‌کند. سالیسیلیک‌اسید می‌تواند مقاومت به تنش را ایجاد کند (Senaratna, 2000). خیساندن دانه‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) در سالیسیلیک‌اسید ۰/۰۵میلی‌مولار اثرات مضر شوری را بر روی رشد دانه‌رُست کاهش می‌دهد و فرآیندهای رشد را به‌علت افزایش سطح تقسیم سلولی در مریستم رأسی ریشه‌های دانه‌رُست تسریع می‌کند (Shakirova *et al.*, 2003). تیمار سالیسیلیک‌اسید باعث تجمع ABA می‌شود که به‌علت دارابودن نقش کلیدی در القای سنتز طیفی از پروتئین‌های تنش که تضمین‌کنندهٔ توسعهٔ واکنش‌های ضدتنش است، در ایجاد سازگاری‌های اولیه به تنش سهیم است.

اخیراً مشخص شده است که پروتئین القا شده توسط شوری (SALT)، در سلول‌های پارانشیمی چوب دسته‌جات آوندی در رگبرگ‌های بزرگ و کوچک حضور دارد. بیان ژن کُدکنندهٔSALT به‌دنبال تیمار با NaCl به‌میزان زیادی تنظیم می‌شود. سالیسیلیک‌اسید به تنهایی یا همراه با NaCl، به‌شدت بیان ژن SALT را مهار می‌کند (Kim *et al.*, 2004). با توجه به موارد اشاره شده، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر صفات مربوط به جوانه‌زنی، رشد و برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی دو رقم نخود (تیپ دسی و کابلی) در مواجه با تنش شوری در انجام شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش اول (مرحله جوانه‌زنی)

به‌منظور بررسی تأثیر برهمکُنش تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر صفات مربوط به جوانه‌زنی بذور نخود، آزمایشی در سال ۱۳۹۰ در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. دو ژنوتیپ نخود شامل MCC414 (تیپ کابلی) و MCC789 (تیپ دسی) در پنج‌سطح شوری شامل صفر، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۲ $ds\ m^{-1}$ و سه غلظت صفر ، ۰/۵ و یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه‌تکرار انجام شد.

ابتدا بذرها توسط بنومیل ۲درهزار ضدعفونی و سپس با آب‌مقطر آبکشی شدند. سپس به‌مدت سه ساعت در غلظت ۰، ۰/۵ و یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید قرار گرفتند و سپس به پتری‌های مربوطه منتقل شدند. مقدار پنج‌میلی‌لیتر از محلول‌های NaCl تهیه شده در غلظت‌های مختلف به هر پتری‌دیش اضافه شد و در تاریکی و دمای ۲۵درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

درصد و سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب بر اساس معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند. دیگر صفات مربوط به جوانه‌زنی شامل طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در روز هفتم پس از کاشت اندازه‌گیری شدند.

$$Gp\ \% = \sum Gi/N \times 100 \qquad \text{معادله (۱)}$$

$$GR = \sum Gi / \sum GiDi \qquad \text{معادله (۲)}$$

در معادلات فوق Gp درصد جوانه‌زنی، Gi تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز iام، N تعداد کل بذرها؛ در معادله دوم GR سرعت جوانه‌زنی، Gi تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز iام و Diروز iام از شروع آزمایش است.

آزمایش دوم (مرحله گیاهچه‌ای)

این آزمایش نیز با هدف بررسی برهمکنش سالیسیلیک‌اسید و تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های نخود در مرحله گیاهچه‌ای انجام شد. آزمایش مشابه آزمایش مرحله قبل به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح

کاملاً تصادفی با سه‌تکرار انجام شد. بذرها پس ازضدعفونی، درگلدان‌هایی به حجم ۲/۵لیترکه از ماسه و خاک باغچه به نسبت ۲:۳ پُر شده بودند، کشت شدند. در هر گلدان پنج‌عدد بذر کشت شد و پس از اطمینان از سبزشدن به سه گیاهچه تقلیل یافت. گلدان‌ها به‌مدت ۱۰روز تا سبزشدن با آب معمولی آبیاری شدند، پس از گذشت ۱۰روز از سبزشدن بذرها، بر اساس نتایج آزمایش قبل، تیمار شوری شامل سه‌سطح صفر، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر و سپس تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در ۲سطح صفر و ۰/۵ میلی‌مولار بر روی اندام هوایی اعمال شد. به‌منظور تنظیم سطوح شوری در طول دوره آزمایش، قابلیت هدایت‌الکتریکی آب خروجی از گلدان‌ها در هر نوبت آبیاری اندازه‌گیری و بر اساس آن سطوح شوری موردنظر برای هر تیمار تنظیم و در طول دوره آزمایش ثابت نگه‌داشته‌شد.

در طول دوره رشد، فتوپریود شامل ۱۶ساعت روشنایی و هشت‌ساعت تاریکی، درجه‌حرارت روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۱۲درجه سانتی‌گراد مطابق فصل رشد در محیط طبیعی و شدت نور حدود $۴۰۰\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ثابت نگه داشته شد. حدود ۳۰روز پس از سبز شدن، گلدان‌ها تخریب و پس از آن بخش هوایی و ریشه گیاه تفکیک شدند. برخی صفات مورفولوژیکی شامل مجموع طول ریشه‌ها، وزن خشک بخش‌هوایی و ریشه‌ها و سطح برگ اندازه‌گیری شدند. طول ریشه‌ها با دستگاه Root Analyzer تعیین شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ (Leaf Area Meter) سنجش شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌های گیاهی به‌طور جداگانه در خشک‌کُن ۷۰درجه سیلسیوس به‌مدت ۴۸ساعت قرار گرفت و سپس با ترازوی دیجیتال توزین شدند.

آزمایش سوم (مرحله گلدهی)

این آزمایش مشابه آزمایش مرحله گیاهچه‌ای انجام شد، با این تفاوت که در این مرحله عمدتاً صفات فیزیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفتند و گلدان‌ها پس از گذشت ۵۰روز از زمان کاشت (زمان گلدهی) برداشت شدند. در این مرحله شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه CCM-200، شاخص پایداری غشاء از روش Sairam *et al*, 2001، میزان مقاومت روزنه‌ای با دستگاه AP4 POROMETER، میزان تعرق و اسمیلاسیون دی‌اکسیدکربن در یک سانتی‌مترمربع از سطح برگ جوان با دستگاه IRGA ، LCA4 ADC Bio.Scientific Ltd. Herfordshire UK اندازه‌گیری شد (Ahmed *et al*., 2002). جهت اندازه‌گیری عملکرد فتوسیستمII (Fv/Fm) از دستگاه *Fluorimeter* مدل OS5-FI و از سه برگچه انتهایی هر گیاه استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

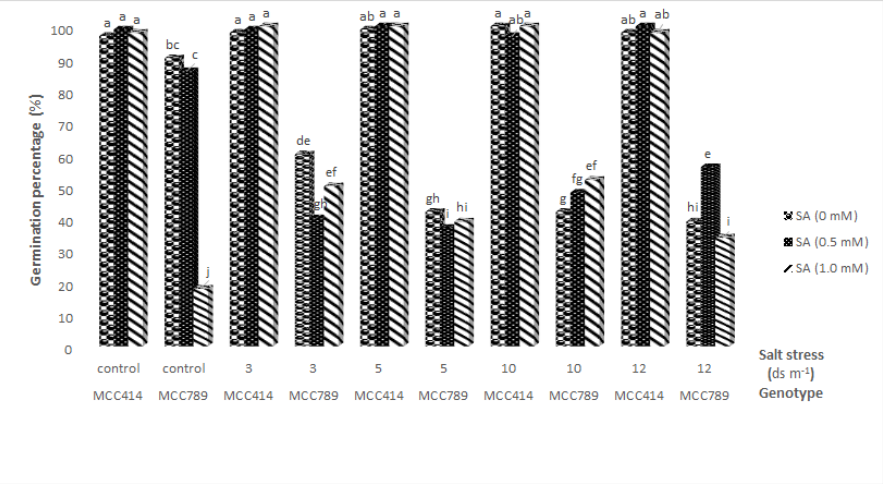
داده‌های آماری در هر آزمایش پس از جمع‌آوری، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفتند. برای پردازش داده‌ها از نرم‌افزارهای JMP و MSTAT-C و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. مقایسهٔ میانگین داده‌ها توسط آزمون چنددامنه دانکن، با احتمال خطای پنج‌درصد ($p<0.05$) انجام شد.

نتایج و بحث

مرحله جوانه‌زنی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان‌داد که تنش شوری کلریدسدیم تا ۱۲دسی‌زیمنس در متر در ژنوتیپ MCC414 تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نداشت، اما در ژنوتیپ MCC789 شوری $۱۲ds\ m^{-1}$ در مقایسه با شاهد، درصد جوانه‌زنی بذرها را ۵۸درصد کاهش داد. احتمالاً ژنوتیپ MCC789 نسبت به ژنوتیپ دیگر به شوری حساس‌تر است. واکنش درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ MCC414 به غلظت‌های مختلف شوری و سالسیلیک‌اسید معنی‌داری نبود. در ژنوتیپ MCC789، در سطح شوری ۱۰ و $۱۲ds\ m^{-1}$ سالیسیلیک‌اسید به‌ترتیب با غلظت ۰,۵ و یک میلی‌مولار، درصد جوانه‌زنی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۱). در این رابطه احتمالاً کاهش جوانه‌زنی در اثر شوری به‌دلیل مهار مسیرهای تنفسی، فعال‌نمودن برخی هورمون‌ها، تغییر فعالیت برخی آنزیم‌ها و تغییر تراوایی غشاء می‌باشد. شوری از طریق افزایش فشار اسمزی و در نتیجه کاهش جذب آب توسط بذرها و همچنین از طریق اثرات سمی یون‌های سدیم و کلر، جوانه‌زنی بذر را تحت تأثیر قرارمی‌دهد (Rehman *et al*., 1996). تنش شوری میزان هورمون آبسیزیک‌اسید را در بذر افزایش داده و از این طریق مانع جوانه‌زنی می‌شود (Erick, 1996). شوری همچنین از طریق تأثیر بر پمپ‌های پروتونی و اختلال در آنها سبب کاهش تقسیم سلولی و طویل‌شدن سلول می‌شود (Liu *et al*., 2003). El-Tayeb (2005) در بررسی پیش‌تیمار گیاه جو با سالیسیلیک‌اسید دریافت که درصدجوانه‌زنی دانه‌های جو با افزایش NaCl در محیط کشت کاهش می‌یابد. همچنین این محقق بیان کرد که بذرهای پیش‌تیمارشده با محلول سالیسیلیک‌اسید نسبت به شاهد درصد جوانه‌زنی بیشتری را نشان می‌دهند. از طرف دیگر،

عدم تأثیر مثبت سالیسیلیک‌اسید بر درصد جوانه‌زنی را می‌توان این‌گونه توضیح داد که با توجه به‌این‌که در بسیاری از دانه‌ها اتیلن به‌عنوان محرک جوانه‌زنی معرفی شده است، اما برخی تحقیقات نشان می‌دهد سالیسیلیک‌اسید نقش مهارکنندگی در بیوسنتز اتیلن دارد و این اثر را از طریق تأثیر بر آنزیم ACCسنتاز اعمال می‌نماید. این احتمال هست که عدم تأثیر مثبت بر درصد جوانه‌زنی تحت تیمار با سالیسیلیک‌اسید، ناشی از مهار بیوسنتز اتیلن باشد. همچنین سالیسیلیک‌اسید از طریق القای سنتز ABA، از جوانه‌زنی بذر جلوگیری می‌کند (Hayat *et al*., 2007).



شکل۱- مقایسه درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید

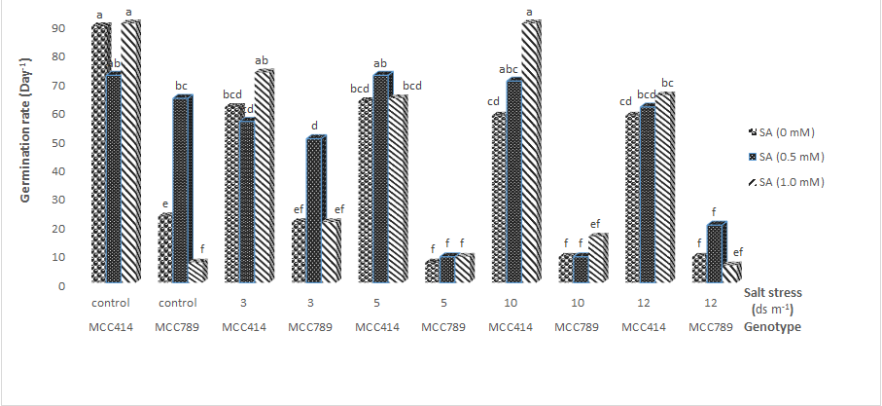
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 1. Comparison of germination percentage of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

در هر دو ژنوتیپ با افزایش سطح شوری کاهش معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی مشاهده شد و در شرایط غیرشور کاربرد سالیسیلیک‌اسید تأثیر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها نداشت. در ژنوتیپ MCC414 فقط در سطح شوری $10\ ds\ m^{-1}$، غلظت‌های ۰/۵ و یک‌میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید به‌عنوان غلظت‌های بهینه برای سرعت جوانه‌زنی مشخص شد. در ژنوتیپ MCC789 در سطوح شوری صفر و $3ds\ m^{-1}$، تیمار سالیسیلیک‌اسید ۰/۵mM سرعت جوانه‌زنی را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد؛ در حالی‌که در بقیه سطوح شوری، سالیسیلیک‌اسید نتوانست تأثیر افزایشی بر میزان سرعت جوانه‌زنی داشته باشد (شکل ۲). در رابطه با سرعت جوانه‌زنی Kar & De (1994) گزارش کردند که اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد، فرایندهای متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به‌آرامی انجام خواهند شد و در نتیجه مدت‌زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. پیش‌تیمار بذرها با سالیسیلیک‌اسید به فعال‌سازی جوانه‌زنی و رشد دانه‌رُست‌ها منجر می‌شود که اثر تحریک‌کنندگی رشد مربوط به سالیسیلیک‌اسید را می‌توان به افزایش تقسیم سلولی و گسترش و توسعهٔ سلول‌های ریشه‌چه نسبت داد (Shakirova *et al*., 2002) در تحقیق حاضر کاهش بارزی در سرعت جوانه‌زنی بذر ژنوتیپ MCC789 نسبت به ژنوتیپ MCC414 مشاهده شد (شکل ۱) که علت آن را می‌توان به اختلاف ژنتیکی دو نوع بذر نسبت داد.

نتایج حاصل از بررسی طول ریشه‌چه نشان‌داد که در شرایط کنترل، ژنوتیپ MCC414 نسبت به ژنوتیپ MCC789 طول ریشه‌چه بلندتری دارند (حدود۶/۰۹برابر). در هر دو ژنوتیپ، افزایش سطح شوری به‌تنهایی نسبت به شاهد منجر به کاهش معنی‌داری در طول ریشه‌چه شد. تنش شوری $12ds\ m^{-1}$ به‌تنهایی در ژنوتیپ MCC414 طول ریشه‌چه را نسبت به‌شرایط کنترل به‌میزان ۴۸درصد کاهش داد؛ اما در ژنوتیپ MCC789، ۹۲درصد کاهش مشاهده شد. مقایسهٔ میانگین داده‌ها حاکی از آن بود که در ژنوتیپ MCC414 در سطح شوری $3ds\ m^{-1}$ و شرایط غیرشور، تیمار اسیدسالیسیلیک (۰/۵mM) نسبت به‌شرایط فاقد تیمار، طول ریشه‌چه را به‌ترتیب به‌میزان ۱/۴۹ و ۱/۵۹برابر کاهش داد. در سطح شوری $5ds\ m^{-1}$ و تیمار سالیسیلیک‌اسید (یک میلی‌مولار) طول ریشه‌چه به‌میزان ۱/۲۲برابر کاهش یافت، اما در سطح شوری $12ds\ m^{-1}$ و تیمار سالیسیلیک‌اسید (یک میلی‌مولار) طول ریشه‌چه به‌میزان ۱/۳۲برابر افزایش یافت (شکل ۳).



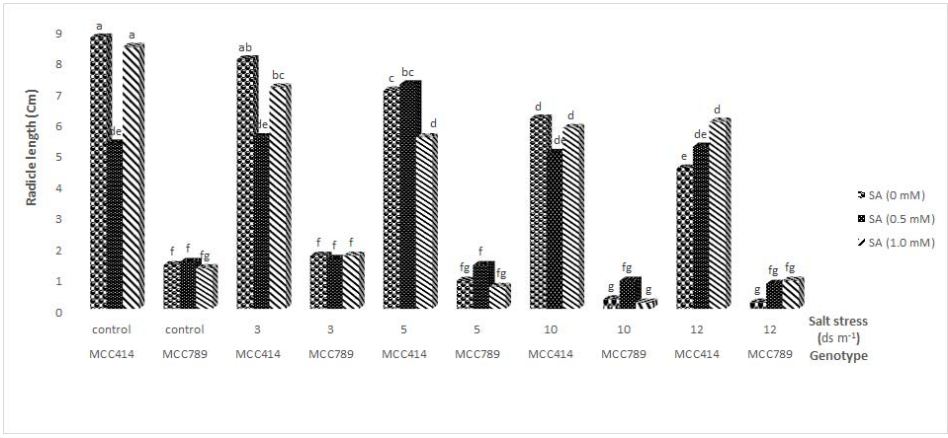
شکل۲- مقایسه سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 2. Comparison of germination rate of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

در تحقیقی Hanan (2007) نیز گزارش کرد که تیمار با سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در گیاه گندم و جو شد. در این آزمایش پیش‌تیمار با سالیسیلیک‌اسید منجر به تجمع IAA و ABA و باعث بهبود رشد گندم شد. در آزمایش دیگر مشخص شد که سالیسیلیک‌اسید از طریق القای تولید ABA در پیش‌سازش گیاهان به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی مؤثر است، چراکه ABA دارای نقش کلیدی در واکنش‌های حفاظتی گیاهان و القای سنتز طیفی از پروتئین‌های تنشی است (Rock, 2000).



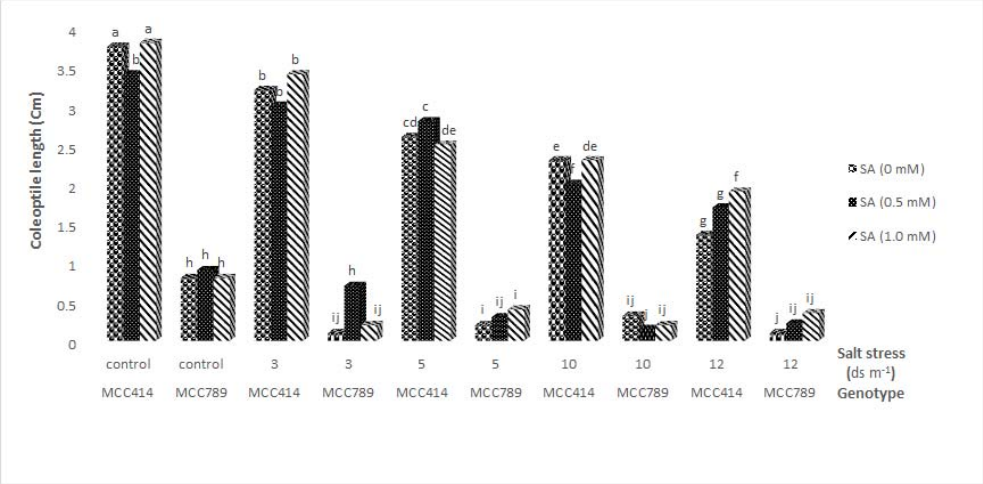
شکل ۳- مقایسه طول ریشه‌چه ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 3. Comparison of radicle length of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

در این تحقیق تأثیر تنش شوری بر کاهش طول ساقه‌چه در ژنوتیپ MCC789 نسبت به ژنوتیپ دیگر شدیدتر بود. بررسی اثر متقابل ژنوتیپ، سالیسیلیک‌اسید و شوری حاکی از آن بود که در ژنوتیپMCC414 فقط در سطح شوری ۱۲ds/m، غلظت یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید به‌صورت معنی‌داری طول ساقه‌چه را افزایش داد و در سایر سطوح شوری، سالیسیلیک‌اسید نتوانست تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشته باشد. در ژنوتیپ MCC789 غلظت سالیسیلیک‌اسید ۰/۵mM فقط در سطح شوری ۳ds/m طول ساقه‌چه را نسبت به شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش داد (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه طول ساقه‌چه ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 4. Comparison of coleoptile length of chickpea cultivars at different levels of salinity and salicylic acid

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

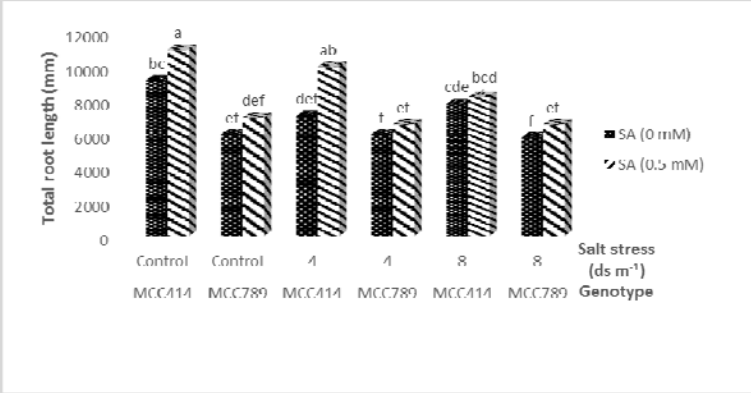
مرحله گیاهچه‌ای

مجموع طول ریشه‌ها: در تیمار شاهد مجموع طول ریشه در ژنوتیپ MCC414 نسبت به ژنوتیپ MCC789، به‌طور معنی‌داری و به‌میزان ۱/۵۱برابر بیشتر بود. تنش شوری فقط در ژنوتیپ MCC414 و سطح شوری ۴ds m^{-1} به‌طور چشمگیری موجب کاهش این مجموع طول ریشه‌ها شد و در ژنوتیپ MCC789 تأثیر معنی‌داری بر روی این صفت نداشت. بررسی اثر متقابل سالیسیلیک‌اسید، شوری و ژنوتیپ حاکی از آن بود که در ژنوتیپ MCC414 اسیدسالیسیلیک توانست در سطح شوری ۴ds m^{-1} و شرایط غیرشور نسبت به‌شرایط فاقد اسیدسالیسیلیک، مجموع طول ریشه را به‌ترتیب به‌میزان۱/۳۸ و ۱/۲۰برابر افزایش دهد. اثر متقابل سالیسیلیک‌اسید، شوری و ژنوتیپ در ژنوتیپ MCC789 نشان‌داد که اسیدسالیسیلیک، در هیچ‌یک از سطوح شوری تأثیر معنی‌داری بر روی مجموع طول ریشه نداشت (شکل ۵).

ویژگی جذب انتخابی در ریشه، مشابه یک فیلتر عبور یون‌ها را کنترل و نسبت مطلوب یون‌های سدیم و پتاسیم را برای فعالیت‌های سلول فراهم می‌سازد (Shabala *et al*., 2000). هرگونه اختلال در سیستم جذب و انتقال انتخابی مواد به‌دلیل شرایط شیمیایی نامناسب محلول خاک از طریق ایجاد نسبت نامطلوب K/Na ایجاد مسمومیت می‌کند. نتایج دیگر تحقیقات نشان می‌دهد استفاده از سالیسیلیک‌اسید به‌صورت تغذیه برگی باعث افزایش طول ریشه‌های سویا، افزایش رشد سیستم ریشه‌ای و جذب بیشتر آب و موادغذایی شده که در نهایت منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود (Gutie´rrez-Coronado *et al*., 1998).

وزن خشک ریشه و ساقه: به‌طور کلی با افزایش تنش شوری، وزن خشک ریشه در هر دو ژنوتیپ کاهش یافت. تیمار سالیسیلیک‌اسید نیز تنها در ژنوتیپMCC789 و در محیط فاقد تنش شوری باعث افزایش وزن خشک ریشه شد (شکل ۶). در ژنوتیپ MCC789 تنش شوری وزن خشک ساقه را در شرایط عدم‌کاربرد سالیسیلیک‌اسید به‌طور متوسط به‌میزان ۲۲/۵درصد کاهش داد. کاربرد سالیسیلیک‌اسید در سطوح شوری صفر و ۴ds m^{-1} به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش وزن خشک ساقه شد (شکل ۷).

با افزایش شوری، وزن خشک ریشه و ساقه کاهش یافت که می‌تواند ناشی از کاهش طول ریشه و ساقه باشد. در تربچه (*Raphanus sativus*) وزن خشک گیاه در غلظت‌های بالای شوری کاهش یافت که حدود ۸۰درصد این کاهش رشد به‌علت کاهش توسعه سطح برگ و۲۰درصد به‌علت کاهش هدایت روزنه مربوط دانسته اند (Singh & Usha, 2003). اثر مثبت سالیسیلیک‌اسید بر کلیه صفات رشدی در گیاهان گندم (Shakirova, 2003)، جو (El-Tayeb, 2005) و ذرت (Farooq *et al*., 2008) گزارش شده است.

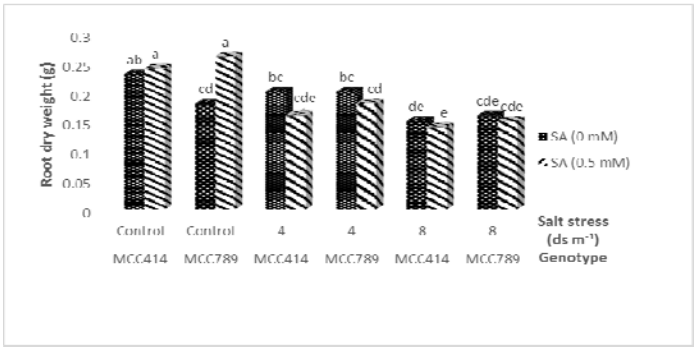


شکل ۵- مقایسه مجموع طول ریشه‌ها در ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید در مرحله گیاهچه‌ای

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن(P<0.05) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 5. Comparison of total root length of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid at seedling stage

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

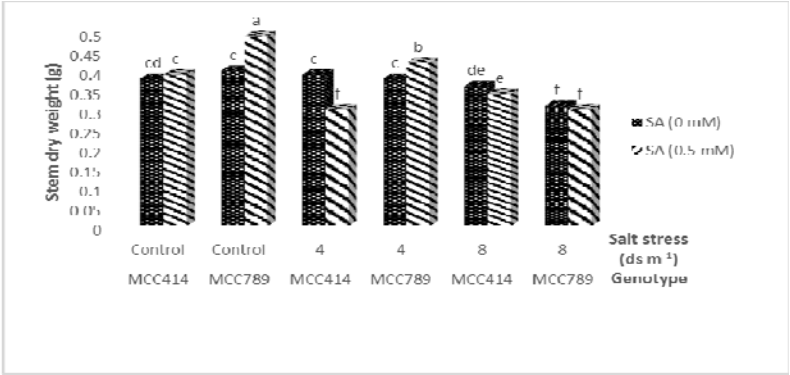


شکل ۶- مقایسه وزن خشک ریشه‌ها در ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید در مرحله گیاهچه‌ای

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن(P<0.05) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 6. Comparison of root dry weight of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid at seedling stage

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.



شکل ۷- مقایسه وزن خشک ساقه ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید در مرحله گیاهچه‌ای

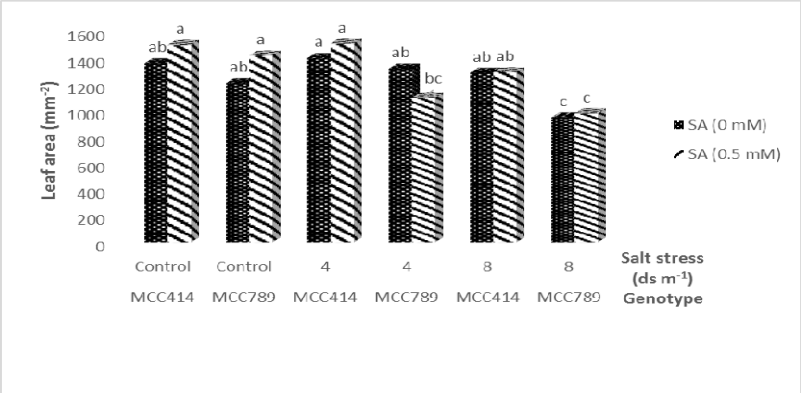
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن(P<0.05) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 7. Comparison of shoot dry weight of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid at seedling stage

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

سطح برگ: بررسی نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین داده‌ها در شرایط غیرشور، اختلاف معنی‌داری در میزان سطح برگ بین دو ژنوتیپ را نشان نداد. در ژنوتیپ MCC789 در سطح شوری ۸ds m^{-1} نسبت به شرایط غیرشور، کاهش معنی‌دار ۲۳درصدی در این پارامتر مشاهده شد. می‌توان نتیجه گرفت ژنوتیپ MCC789 نسبت به ژنوتیپ MCC414 حساسیت بیشتری به شوری نشان می‌دهد. در هر دو شرایط کنترل و تنش، تیمار سالیسیلیک‌اسید در هر یک از دو ژنوتیپ، تأثیر معنی‌داری بر روی سطح برگ نشان نداد (شکل ۸).

پیامد سریع تنش شوری، کاهش میزان توسعه سطح برگ به موازات افزایش غلظت نمک است. کاهش سطح برگ را می‌توان در نتیجه کاهش سرعت گسترش و طویل‌شدن سلول‌ها و یا کاهش سرعت تقسیم سلولی به‌علت کم‌شدن آماس سلولی بیان نمود (Hernandez *et al.*, 1995). به‌نظر می‌رسد سالیسیلیک‌اسید با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و در نتیجه بهبود فتوسنتز، سبب افزایش سطح برگ می‌شود (Du *et al.*, 1981).



شکل ۸- مقایسه سطح برگ در ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید در مرحله گیاهچه‌ای

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

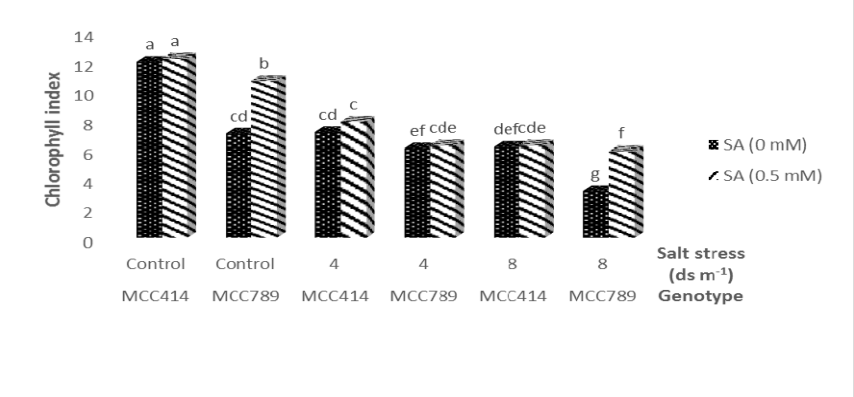
Fig. 8. Comparison of leaf area of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid at seedling stage

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

بررسی صفات فیزیولوژیکی گیاه در مرحله رشد زایشی

شاخص کلروفیل: نتایج نشان‌داد تنش شوری ۸ds m^{-1} در ژنوتیپ MCC789 و MCC414، میزان شاخص کلروفیل را نسبت به شرایط غیرشور، به‌ترتیب به‌میزان ۵۷درصد و ۴۴درصد کاهش داد. سالیسیلیک‌اسید در شرایط غیرشور و شوری ۸ds m^{-1} این شاخص را نسبت به شاهد، به‌ترتیب به‌میزان ۱/۴۶ و ۱/۸۷ برابر افزایش داد (شکل ۹).

بررسی‌ها حاکی از آن است که در شرایط تنش شوری میزان کلروفیل کل کاهش می‌یابد که علت آن به کاهش گلوتامات که ماده پیش‌ساخت کلروفیل و پرولین است، مربوط می‌شود. در شرایط تنش شوری، گلوتامات عمدتاً صرف تولید پرولین می‌شود، چراکه در تنش شوری، فعالیت آنزیم گلوتامات‌لیگاز برای تبدیل گلوتامین به پرولین فعال می‌گردد (Molazem *et al.*, 2010). همچنین براساس گزارش‌های داده‌شده از طرف پژوهشگران، کاهش میزان کلروفیل می‌تواند ناشی از اثر بازدارندگی یون‌های تجمع یافته در کلروپلاست (Chookhampaeng *et al.*, 2011)، تخریب کلروفیل توسط تنش اکسیداتیو ناشی از شوری (Sevengor *et al.*, 2011) و فعال‌شدن آنزیم کلروفیلاز یا ناپایدارشدن کمپلکس رنگیزه پروتئین توسط یون‌های شوری و تأثیر منفی در پروتوپورفیرین (Khan, 2003) می‌باشد. سالیسیلیک‌اسید بسته به غلظت، زمان کاربرد و گیاه مورد استفاده دارای آثار دوگانه‌ای است، اما در غلظت‌های مناسب با کاهش تخریب رنگیزه کلروفیل، افزایش توان آنتی‌اکسیدانتی سلول از جمله کاروتنوئیدها و سنتز پروتئین‌های جدید، از دستگاه فتوسنتزی حمایت می‌کند (Popova *et al.*,2003).



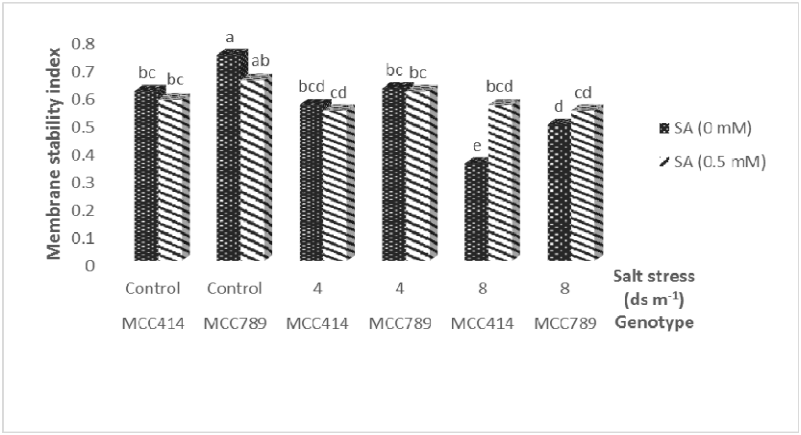
شکل ۹- مقایسه میزان شاخص کلروفیل در ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید در مرحله گلدهی

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 9. Comparison of chlorophyll index of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid at flowering stage

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

شاخص پایداری غشاء: در شرایط تنش شوری، در هر دو ژنوتیپ با افزایش سطح شوری، میزان شاخص پایداری غشاء به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بررسی اثر متقابل ژنوتیپ، سالیسیلیک‌اسید و شوری مؤید آن است که سالیسیلیک‌اسید در ژنوتیپ MCC789 در هیچ‌یک از سطوح شوری تأثیر معنی‌داری بر روی شاخص پایداری غشاء نداشت و در ژنوتیپ MCC414 فقط در سطح شوری۸ds/m توانست شاخص پایداری غشاء را نسبت به‌شرایط فاقد تیمار سالیسیلیک‌اسید به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (شکل ۱۰). سالیسیلیک‌اسید از طریق اثر بر پلی‌آمین‌هایی مانند پوتریسین، اسپرمین، اسپرمیدین و همچنین ایجاد کمپلکس‌های پایدار غشاء باعث محافظت از غشا می‌شود (Nemeth *et al*., 2002). Wahid *et al*, (2007) گزارش کردند که پراکسیداسیون لیپید و نفوذپذیری غشاء با تنش شوری افزایش می‌یابد و این افزایش در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک‌اسید کمتر است.



شکل ۱۰- مقایسه شاخص پایداری غشاء در ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و کاربرد سالیسیلیک‌اسید در مرحله گلدهی

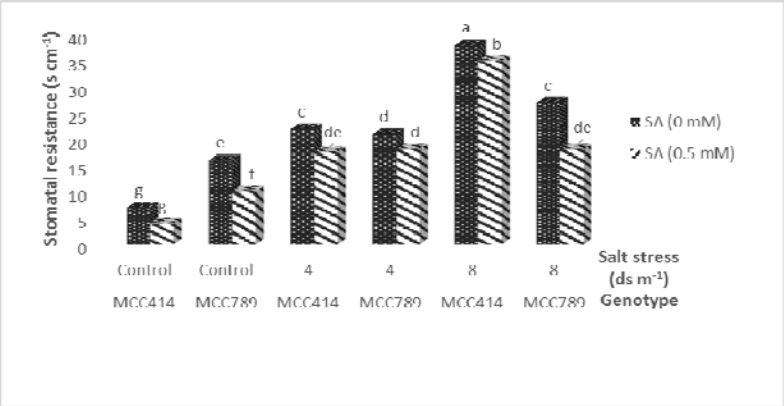
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 10. Comparison of membrane stability index of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid at flowering stage

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

مقاومت روزنه‌ای: در شرایط شوری در هر دو ژنوتیپ، با افزایش تنش شوری مقاومت روزنه‌ای به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. مقایسهٔ میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ، شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان‌داد که در ژنوتیپ MCC414 در شرایط غیرشور، SA تأثیر معنی‌داری بر روی مقاومت روزنه‌ای نداشت اما در سطح شوری ۴ و ۸ds/m مقاومت روزنه‌ای را نسبت به شاهد کاهش داد. سالیسیلیک‌اسید در ژنوتیپ MCC789 در سطح شوری ۸ds/m، مقاومت روزنه‌ای را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش داد. به‌طور کلی کاربرد سالیسیلیک‌اسید در تمام سطوح شوری باعث کاهش مقاومت روزنه‌ای شد، ولی این افزایش گاهاً معنی‌دار نبود (شکل ۱۱).

در یک آزمایش کاربرد سالیسیلیک‌اسید باعث کاهش میانگین تعداد روزنه و قطر روزنه شد. در این شرایط مقاومت گیاه در برابر از دست‌دادن آب افزایش یافت (Hussain *et al*., 2009).



شکل ۱۱- مقایسه مقاومت روزنه‌ای در ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید در مرحله گلدهی

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 11. Comparison of stomatal resistance of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid at flowering stage

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

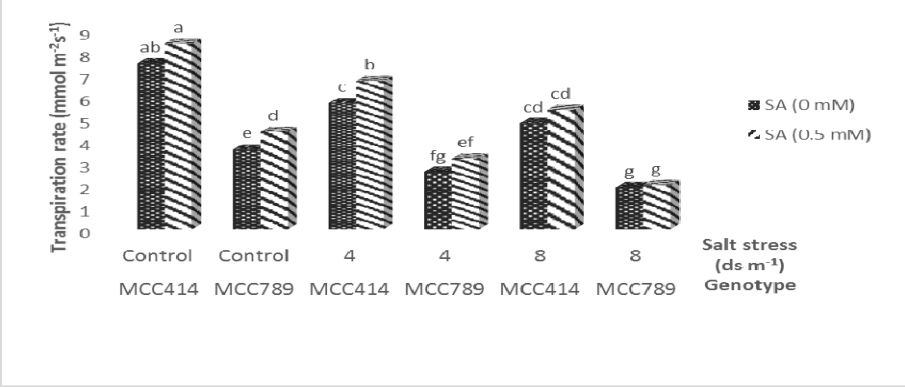
میزان تعرق: در هر دو ژنوتیپ، تنش شوری به‌صورت معنی‌داری میزان تعرق را کاهش داد (به‌طور متوسط ۴۳درصد). در ژنوتیپ MCC414، SA فقط درسطح شوری ۴ds/m و در ژنوتیپ MCC789 در محیط بدون تنش، توانست افزایش معنی‌داری بر مقدار تعرق داشته باشد. به‌طور کلی کاربرد سالیسیلیک‌اسید در تمام سطوح شوری باعث افزایش تعرق شد، ولی این افزایش اغلب معنی‌دار نبود (شکل ۱۲). کاهش شدید هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق، مکانیسم‌های سازشی در شرایط تنش شوری هستند. هالوفیت‌هایی مانند *Beta vulgaris* و *Spartina townsendi* درآستانهٔ مقاومت به شوری، ترکیبی از فتوسنتز کم، تعرق حداقل، مقاومت روزنه‌ای بالا و غلظت CO_2 درونی کم را نشان می‌دهند (Koyro, 2003).

آسیمیلاسیونCO_2: در این پژوهش در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ MCC414 نسبت به ژنوتیپMCC789 میزان تثبیت CO_2 بیشتری داشت (۱/۲برابر). تنش در هر دو ژنوتیپ به‌صورت معنی‌داری میزان تثبیت CO_2 را کاهش داد. اثر متقابل ژنوتیپ، SA و شوری نشان‌داد که درهر دو ژنوتیپ، سالیسیلیک‌اسید در هیچ‌یک از سطوح شوری و شاهد تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (شکل ۱۳).

کمبود آب ناشی از تنش شوری، از یک طرف با تأثیر بر ساختار غشای سلول سبب افزایش نفوذپذیری غشاء نسبت به یون‌ها و ماکرومولکول‌ها می‌گردد و از طرف دیگر با اُفت محتوی رطوبت نسبی و پتانسیل آب برگ زمینه کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ را فراهم آورد (Popova, 2009). در تنش شوری آنچه فتوسنتز را تحت تأثیر قرار می‌دهد، کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش سطح برگ (کاهش سطح فتوسنتزی)، کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش هدایت مزوفیلی می‌باشد (Parida & Das, 2005). استفاده از سالیسیلیک اسید با جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های کلروفیل‌اُکسیداز مانع از تجزیه کلروفیل شده و از این طریق سبب افزایش فتوسنتز می‌شود (Delany *et al*., 1994). Khan *et al*, (2003) در گزارش کردند که کاربرد سالیسیلیک‌اسید در دو گیاه سویا و ذرت میزان فتوسنتز، تعرق و همچنین هدایت روزنه را افزایش داد. علاوه‌بَراین تیمار برگ‌های سویا با سالیسیلیک‌اسید موجب

افزایش کارآیی آب، افزایش میزان تعرق و افزایش غلظت CO_2 درون‌سلولی شد (Pancheva *et al*., 1996).

Khodary (2004) بیان کرد که اسپری برگی ذرت با سالیسیلیک‌اسید، میزان رنگیزه‌ها و همچنین میزان فتوسنتز را تحت تنش شوری افزایش داد. Najafian & Khoshkliui (2009) بیان کردند که گیاه آویشن تیمارشده با سالیسیلیک‌اسید دارای وزن خشک ریشه و بخش هوایی، میزان فتوسنتز، کارآیی مزوفیل و کارایی استفاده از آب بیشتری در مقایسه با گیاهان تحت تنش است.

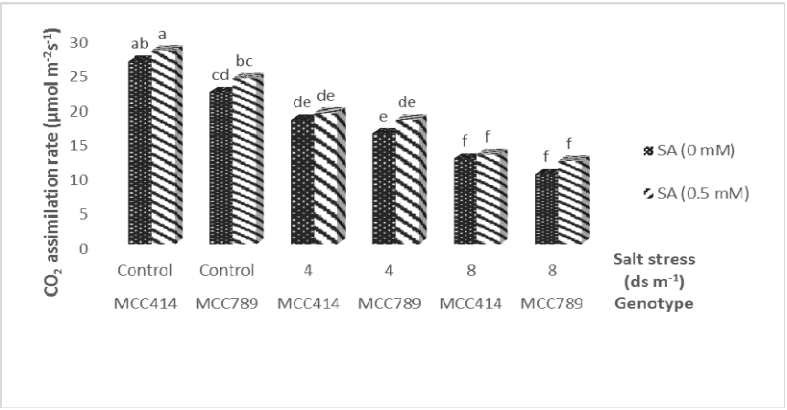


شکل ۱۲- مقایسه میزان تعرق در ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید در مرحله گلدهی

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 12. Comparison of transpiration rate of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid at flowering stage

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.



شکل ۱۳- مقایسه میزان اسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن در ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید در مرحله گلدهی

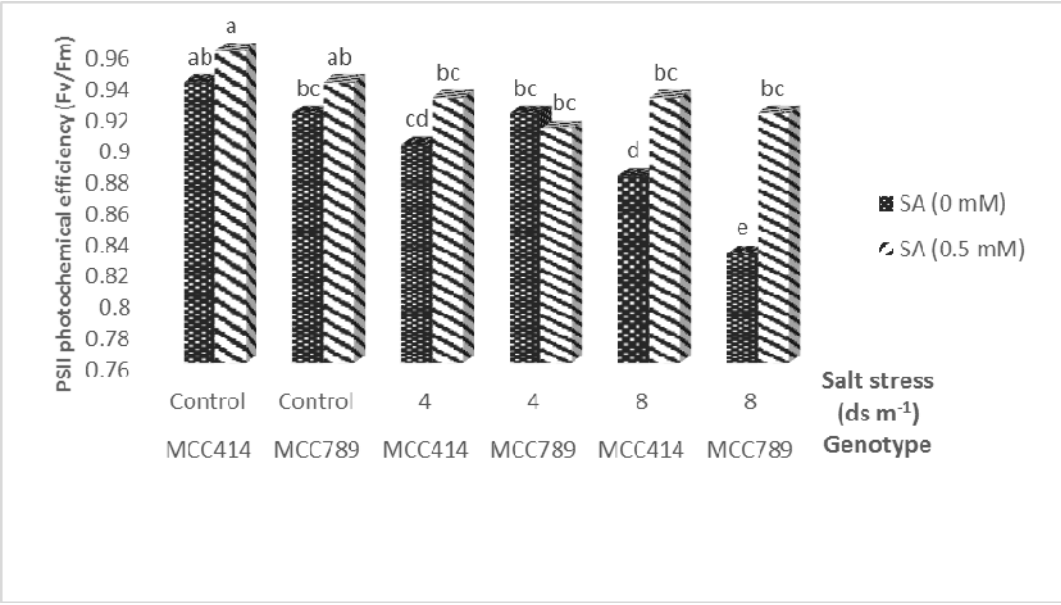
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 13. Comparison of CO2 assimilation rate of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid at flowering stage

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

کارآیی فتوسیستمII: در هر دو ژنوتیپ با افزایش تنش شوری، میزان کارآیی فتوسیستمII به‌میزان چشمگیری کاهش یافت. بررسی اثر متقابل ژنوتیپ، سالیسیلیک‌اسید و شوری حاکی از آن بود که در شوری۸ds/m، سالیسیلیک‌اسید توانست میزان کارآیی فتوسیستمII را نسبت به‌شرایط عدم کاربرد سالیسیلیک‌اسید در ژنوتیپ‌های MCC789 و MCC414 به‌ترتیب به‌میزان۱/۱۰ و ۱/۰۴برابر افزایش دهد. اما در شرایط کنترل (سطح شوری صفر) و شوری $^{-1}$ds m۴ در هر دو ژنوتیپ سالیسیلیک‌اسید تأثیر معنی‌داری بر میزان کارآیی فتوسیستمII نداشت (شکل ۱۴).

کاهش نسبت Fv/Fm در شرایط تنش شوری به اختلال ایجادشده در انتقال الکترون از فتوسیستمII به فتوسیستمI تحت تأثیر تنش شوری مربوط می‌شود. بررسی‌ها نشان‌داده است که کلرورسدیم میزان تثبیت دی‌اکسیدکربن و فعالیت آنزیم PEPکربوکسیلاز را کاهش، اما فعالیت آنزیم مالات‌دهیدروژناز را افزایش می‌دهد. تنش شوری تقریباً از سنتز همه پروتئین‌های القاشونده با نور، ازجمله پروتئین D1 ممانعت می‌نماید و دلیل آن بازدارندگی از رونویسی ژن‌های رمزگذار این پروتئین‌ها است و لذا فعالیت فتوسیستمII کاهش می‌یابد (Levitt, 1980). در گندم، تیمار سالیسیلیک‌اسید باعث بهبود میزان Fv/Fm شد (Waseem *et al.*, 2006). Szepesi *et al*, (2005) گزارش کردند که در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی، سالیسیلیک‌اسید با غلظت‌های $^{-6}$۱۰ و $^{-7}$۱۰مولار توانست میزان Fv/Fm را افزایش دهد.



شکل ۱۴- مقایسه میزان کارآیی فتوسیستمII کل در ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف شوری و سالیسیلیک‌اسید در مرحله گلدهی

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن($P<0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 14. Comparison of PSII photochemical efficiency (Fv/Fm) of chickpea genotypes at different levels of salinity and salicylic acid at flowering stage

Values labeled with the same letter(s) are not different at the 5% significance level according to Duncan's multiple range test.

سپاسگزاری

هزینه‌های این آزمایش از محل اعتبارات متمرکز معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله تشکر و سپاس‌گزاری می‌شود. از آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکدهٔ علوم پایه و آزمایشگاه فیزیولوژی تنش‌های پژوهشکدهٔ علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد که امکانات لازم جهت انجام این آزمایش‌ها را در اختیار ما قرار دادند سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y., and Sakuratani, T. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. Plant Science 163: 117-123.
2. Allakhverdiev, S.I., Sakamoto, A., Nishiyama, Y., Inaba, M., and Murata, N. 2000. Ionic and osmotic effects of NaCl-induced inactivation of photosystems I and II in *Synechococcus sp*. Plant Physiology 123: 1047-1056.
3. Allen, R.D. 1995. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. Plant Physiology 57: 1049-1054.
4. Asish Kumar Paridaa, A., and Anath Bandhu Das, A. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349
5. Chookhampaeng, S. 2011. The Effect of salt stress on growth, chlorophyll content proline content and antioxidative enzymes of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedling. European Journal of Scientific Research 49: 103-109.
6. De, F., and Kar, R.K. 1994. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiate*) under water stress induced by PEG-6000. Seed Science and Technology 23: 301-304.
7. Delany, T.P., Uknes, S., Vernooij, B., Friedrich, L., Weymann, K., Negrotto, D., Gaffney, T., Gut-Rella, M., Kessmann, H., Ward, E., and Ryals, J. 1994 . A central role of salicylic acid in plant disease resistance. Science 266: 1247-1250.
8. Demir, I., and Mavi, K. 2008. Effect of salt and osmotic stresses on the germination of pepper seeds of different maturation stages. Brazilian Archives of Biology and Technology 51: 897-902.
9. Du, Y.C., Nose, A., Wasano, K., and Ushida, Y. 1981. Responses to water stress of enzyme activities and metabolite levels in relation to sucrose and starch synthesis, the Calvin cycle and the C4 pathway in sugarcane (*Saccharum sp*). Australian Journal of Plant Physiology 25: 253-260.
10. El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation 45: 215-224.
11. Erik, T.N., and David, M.O. 1996 .The Physiology of Plants Under Stress, Abiotic Factors . Copyright by John Wiley, sons. Inc
12. FAO 2005. Salt affected soils from sea water intrusion: strategies for rehabilitation and management. Report of the Regional Workshop. Bangkok, Thailand, 62 pp.
13. Farooq, M., Aziz, T., Basra, S.M.A., Cheema, M.A., and Rahman, H. 2008. Chilling tolerance in hybrid maize induced by priming whit salicylic acid. Agronomy Crop Science 194: 161-168.
14. Gutie´rrez-Coronado, M.A., Trejo-Lopez, C., and Larque´-Saavedra. 1998. Effects of salicylic acid on growth of roots and shoots in soybean. Plant Physiology and Biochemistry 36: 653-665.
15. Hanan, E.D. 2007. Influence of salicylic acid on stress tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare.* Biological Research 1: 40-48.
16. Hayat, S., Ali, B., and Ahmad, A. 2007. Salicylic acid: biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. Department of Botany, Aligarh Muslim University, Aligarh, INDIA 46: 1-14.
17. Hernandez, J.A., Olmos, E., Corpas, F.J., Sevilla, F., and Del Rio, L. 1995. Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plants. Plant Science 105: 151-167.
18. Hussain, M., Farooq, M., Jabran, K., and Wahid, A. 2009. Foliar application of Glycine-betaine and Salicylic acid improves growth, yield and water productivity of hybrid Sunflower planted by different sowing methods. Australian Journal of Basic & Applied Science 196(2): 136-145.
19. Kalaji, M.H., and Guo, P. 2008. Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breedingprograms. In: A. Sanchez and S.J. Gutierrez (Eds.). Photochemistry Research Progress. Nova Publishers, NY, USA: 439-463.
20. Welfare, K., Yeo, A.R., and Flowers, T.J. 2002. Effects of salinity and ozone, individually and in combination, on the growth and ion contents of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties. Environmental Pollution 120: 397-40.

21. Khan, N.A. 2003. NaCl inhibited chlorophyll synthesis and associated changes in ethylene evolution and antioxidative enzyme activities in wheat. Plant Biology 47: 437-440.
22. Khodary, S.E.A. 2004. Effect of Salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed msaize plants. International Journal of Agriculture and Biology 6: 5-8.
23. Kim, S.T., Kim, S.G., Hwang, D.H., Kang, S.Y., Koo, S.C., Cho, M.J., and Kang, K.Y. 2004. Expression of a salt-induced protein (SALT) in suspension-cultured cells and leaves of rice following exposure to fungal elicitor and phytohormones. Plant Cell Report 23: 256-262.
24. Koyro, H.W. 2003. Study of potential cash crop halophytes in a quick check system task. Vegetable Science 38: 5-17.
25. Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses (Physiological Ecology): Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses .Academic Press, New York.
26. Liu, D., Jiang, W., and Gao, X. 2003. Effect of cadmium on root growth, cell division and nucleolic in root tipe cells of garlic. Biological Plant 47(1): 79-83.
27. Molazem, D., Qurbanov, E.M., and Dunyamaliyev, S.A. 2010. Role of proline, Na and chlorophyll content in salt tolerance of corn (*Zea mays* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science 9(3): 319-324.
28. Najafian, S.M., and Khoshkliui, V. 2009. Effect of salicylic acid and salinity in thyme (*Thymus vulgaris* L.): Investigation on changes in gas exchange, water relations and membrane stabilization and biomass accwnulation. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 3(23): 2620-2626.
29. Nemeth, M., Janda, T., Horvath, E., Paldi, E., and Szalai, G. 2002. Exogenous salicylic acid increase polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. Plant Science 162 :569-574.
30. Pancheva, T.V., Popova, L.P., and Uzunova, A.M. 1996. Effect of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. Journal of Plant Physiology 149: 57-63.
31. Parida, A.K., and Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.
32. Popova, L.P., Maslenkova, L.T., Yordanova, R.Y., Ivanova, A.P., Krantev, A.P., Szalai, G., and Janda, T. 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Plant Physiology and Biochemistry 47: 224-231.
33. Popova, L., Ananieva, V., Hristova, V., Christov, K., Geovgieva, K., Alexieva, V., and Stoinova, Z. 2003. Salicylic acid and methyl jasmonate induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Bulgarian Journal of Plant Physiology (Special issue): 133-152.
34. Rehman, S., Harris, P.J.C., Bourne, W.F., and Wikin, J. 1996. The effect of sodium chloride on germination and the potassium and calcium contents of Acacia seeds. Seed Science and Technology 25: 45-57.
35. Rock, C.D. 2000. Pathways to abscisic acid-regulated gene expression. New Phytologist 148: 357-396.
36. Sairam, R.K., Veerabhadra Rao, K., and Srivastava, G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science 163: 1037-1046.
37. Sairam, R., and Saxena, K. 2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. Journal of Agronomy and Crop Science 184(1): 55-61.
38. Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., and Dixon, K. 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation 30: 157-161.
39. Sevengor, S., Yasar, F., Kusvuran, S., and Ellialtioglu, S. 2011. The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidative enzymes of pumpkin seedling. African Journal of Agricultural Research 21: 4920-4924.
40. Shabala, S., Babourina, O., and Newman, I. 2000. Ionspecific mechanisms of osmoregulation in bean mesophyll cells. Journal of Experimental Botany 51: 1243-1253.
41. Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A., and Fatkhutdinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.

42. Singh, A.K., and Dubey, R.S. 1995. Changes in chlorophyll a and b contents and activities of photosystems I and II in rice seedlings induced by NaCl. Photosynthetica 31: 489.
43. Szepesi, Á., Csiszár, J., Bajkán, Sz., Gémes, K., Horváth F., Erdei, L., Deér, A., Simon, L.M., and Tari, I. 2005. Role of salicylic aicd pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt- and osmotic stress. Acta Biologica Szegediensis 49: 123-125.
44. Ungar, I.A. 1995. Seed germination and seed-bank ecology of halophytes. In: J. Kigel and G. Galili (Eds). Seed Development and Germination, Marcel and Dekker Inc., 1995.
45. Wahid, A., Perveen, M., Gelani, S., and Basra, S.M.A. 2007. Pretreatment of seed with H2O2 improves salt tolerance of wheat seedlings by alleviation of oxidative damage and expression of stress proteins. Journal of Plant Physiology 164: 283-294.
46. Waseem, M., Athar, H.U.R., and Ashraf, M. 2006. Effect of salicylic acid applied through rooting medium on drought tolerance. Pakistan Journal of Botany 4(38): 1127-1136.
47. Zekri, M., and Parsons, L.R. 1990. Response of split-root sour orange seedlings to NaCl and polyethylene glycol stresses. Journal of Experimental Botany 41(222): 35-40.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 7, No. 2, 2016, p. 78-94

Interaction effects of salinity and salicylic acid on germination, growth and some morpho-physiological characteristics of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.)

Ganjeali[1*], A., Abrishamchi[2], P. & Shooryabi[3], M.

1. Associate Professor, Department of Biology; College of Sciences & Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2. Associate Professor, Biology Department, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran
3. PhD. Student in Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran

Received: 3 February 2015
Accepted: 19 September 2015

DOI: 10.22067/ijpr.v7i2.44059

Introduction

Salinity has various effects on plant growth by affecting physiological processes. The decline in plant productivity under saline condition, frequently linked with the reduction of photosynthetic capability. It has been reported that efficiency of PSII photochemistry (Fv/Fm) of numerous plant species have been decreased due to salt stress studies have shown that salicylic acid (SA) improves resistance of plants to environmental stresses (heat, cold, drought and salt stress). In this relation, convincing data have showed that the SA-induced enhances resistance of plants to the salinity. Therefore, the present study was conducted to estimate salicylic acid effects on germination, growth and some physiological characteristics of two chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) in salt stress condition.

Materials and Methods

In this research we studied the effects of different concentrations of SA (0.5 and 1mM), on chickpea genotypes (MCC414, MCC789) during growth stages (germination, seedling and flowering) under salinity stress. Five levels of salinity including 0, 3, 5, 10 and 12 dsm^{-1} in germination stage and three levels of salinity (0, 4 and 8 dsm^{-1}) at seedling and flowering stages) were employed separately in a factorial experiment based on Randomized Completely Block Design with three replications.

Results and Discussion

Results of means comparison showed that germination rate, significantly decreased under salt stress in both genotypes ($P\leq0.05$). Under salt stress, increasing the osmotic pressure and the reduction seeds water absorption and the toxic effects of sodium and chlorine ions, can affect seed germination. Exogenouse application of SA concentrations (0.5 mM), under salt stress (3 and 12 dsm^{-1}) increased rate and percentage of germination in MCC789 genotype. For MCC414 genotype, the combination of the treatment with salicylic acid (0.5 and 1 mM) and salinity (10 dsm^{-1}) increased significantly germination rate. In same genotype, radicle and coleoptile length increased significantly after treating with SA (1mM) in salt stress (12 dsm^{-1}). Exogenous application of SA concentration (0.5 mM), under salt stress (3 dsm^{-1}) increased coleoptile length in MCC789 genotype ($P\leq0.05$). Seed priming with SA leads to an activation of germination and seedling growth, while the enhancement of the division of root apical cells are important contribution to the growth stimulating effect of SA. In seedling stage, salinity decreased

* **Corresponding Author:** ganjeali@um.ac.ir, Mobile: 09153057645

stem and root dry weight. SA and on some salinity levels, significantly increased stem dry weight in MCC789 and total root length in MCC414 genotype ($P \leq 0.05$). The decline in plant productivity under saline condition is frequently linked with the reduction in leaf area and stomatal conductance. Positive effects of SA on growth characteristics, in wheat, barley and maize have been reported. In both genotype, chlorophyll index, transpiration rate, membrane stability index and efficiency of PSII photochemistry significantly decreased and stomatal resistance increased under salt stress in flowering stage. Serious reduction in stomatal conductance and transpiration rate are adaptive mechanisms under salt stress. Halophytes such as *Beta vulgaris* and *Spartina townsendi* have salinity tolerance and show a combination of low photosynthesis, minimal transpiration, high stomatal resistance and low internal CO_2 concentrations. Studies showed chlorophyll contents decreased under saline condition. Biochemical analysis of leaves of different maize cultivars for proline and chlorophyll contents indicated that proline accumulation increased and chlorophyll contents decreased under saline condition. SA application increased chlorophyll index and membrane stability index respectively in MCC789 and MCC414 genotypes. In both genotypes, stomatal resistance, significantly decreased and efficiency of PSII photochemistry increased with SA treatment under salt stress (12 dsm^{-1}) ($P \leq 0.05$). Studies have shown that salicylic acid protects membranes by increasing polyamines such as putrescine, spermine, spermidine, as well as membrane sustainable complexes. In wheat, SA application improves the Fv/Fm. Szepesi *et al*, (2005) reported SA (10^{-6} and 10^{-7} M) could increase Fv/Fm in tomato plants under drought stress.

Conclusion

The results indicated that the modulator effects on salicylic acid on germination and other physiological processes of chickpea genotypes under salt stress.

Key words: Chickpea (*Cicer arietinum* L.), Efficiency of PSII photochemistry, Growth parameters, Membrane stability index, Salicylic acid, Salt stress