زیست‌شناسی گیاهی، سال پنجم، شماره پانزدهم، بهار ۱۳۹۲، صفحه ۱۵-۳۰
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۹/۰۵
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۰/۱۲/۰۲
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۱/۰۳/۰۱
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۰۳/۲۸

اثر کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر برخی شاخص‌های فتوسنتزی و تغذیه معدنی گیاه ذرت (*Zea mays* L.)

نغمه مؤمنی [۱]، محمدجواد آروین [۲]، غلامرضا خواجویی نژاد [۱]، بتول کرامت [۳] و فاطمه دانشمند [۴]*
[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران
[۲] گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران
[۳] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران
[۴] گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵، ج. ا. ایران

چکیده

تنش شوری، یک تنش محیطی است که رشد و نمو گیاهان و تولید محصولات کشاورزی را در بیشتر نقاط جهان متأثر می‌سازد. در این مطالعه، تأثیر تنش شوری (کلرید سدیم) و پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید بر شاخص‌های رشد، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II شامل عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Ø PSII)، بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ) و تغذیه معدنی شامل عناصر سدیم، پتاسیم، نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز، مس و بور در برگ‌های ذرت (KSC704) بررسی شد. برای این منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو سطح شوری و سه سطح سالیسیلیک اسید و با ۵ تکرار انجام شد. تنش شوری باعث کاهش شاخص‌های رشد، کلروفیل، کاروتنوئید، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II(Ø PSII) و بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و افزایش مقدار خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ) شد. همچنین، تنش شوری میزان عناصر معدنی را در برگ های ذرت تحت تأثیر قرار داد و باعث کاهش مقدار پتاسیم و مس و افزایش مقدار سدیم، فسفر، منیزیم، آهن، روی، منگنز و بور شد و بر مقادیر نیتروژن و کلسیم تأثیری نداشت. پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید باعث افزایش کلروفیل، کاروتنوئید، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Ø PSII) و بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و کاهش مقدار خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ) شد. سالیسیلیک اسید همچنین باعث تغییر در جذب و انتقال مواد معدنی به برگ از جمله کاهش مقدار سدیم شد. نتایج مثبت پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید در کاهش آثار تنش شوری و بهبود شاخص‌های رشد مشخص است.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، سالیسیلیک اسید، کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II، ذرت

*نویسنده مسؤول: نشانی پست الکترونیک: f.daneshmand@yahoo.com، شماره تماس: ۰۳۵۲۶۲۳۲۸۰۱

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

شوری آب و خاک یکی از مشکلات جدی در کشاورزی است. کمبود منابع آب شیرین و استفاده از آب‌های شور یا آب‌های با کیفیت پایین برای آبیاری باعث افزایش شوری خاک می‌شود، که این مسأله میزان تولید محصول را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Silva *et al.*, 2008). شوری، ارتباطات آبی و یونی را توسط آثار یونی و اسمزی خود تحت تأثیر قرار می‌دهد. به علت وجود نمک در ریزوسفر، جذب آب در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌گیرد و آثار یونی نمک به علت سمیّت نمک در داخل یا عدم تعادل به علت وجود نمک زیادی در فضای خارج سلول ایجاد می‌شود. به علاوه، تنش‌های محیطی نظیر شوری و خشکی به افزایش گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و در نتیجه تنش اکسیداتیو منجر می‌شود (Rajish *et al.*, 1998).

تنش شوری از رشد گیاهان می‌کاهد و تولید محصول هم در نتیجه بر هم خوردن تعادل در جذب عناصر ضروری و آب و تنش اکسیداتیو کاهش می‌یابد (Molassiotis *et al.*, 2006؛ Parida and Das, 2005). اگرچه رشد گیاه نتیجه فرآیندهای فیزیولوژیک منظم و کامل است و مهار رشد گیاه توسط عوامل محیطی را نمی‌توان تنها به یک فرآیند فیزیولوژیک خاص نسبت داد، اما پدیده فیزیولوژیک غالب، فتوسنتز است (Parida and Das, 2005). رشد گیاه و تولید بیوماس به میزان فتوسنتز خالص بستگی دارد و تنش نمک بسته به شدت آن بر فتوسنتز تأثیر می‌گذارد. گزارش‌های بسیاری وجود دارد که نشان می‌دهد تنش شوری بسته به شدت آن بر فتوسنتز تأثیر می‌گذارد. البته گزارش‌هایی نیز گویای این مطلب هستند که کاهش فتوسنتز به نوع گیاه و غلظت نمک بستگی داشته، حتی در غلظت‌های پایین نمک بر شدت فتوسنتز افزوده می‌شود (Parida and Das, 2005).

کارآیی فتوسنتز بستگی به توالی فرآیندهای متابولیک نظیر واکنش‌های فتوشیمیایی، آنزیم‌های دخیل در تثبیت کربن، ساختار دستگاه فتوسنتزی و انتقال حدواسط‌های فتوسنتزی بین اجزای سلولی دارد. بنابراین، در تنش شوری آن چه فتوسنتز را تحت تأثیر قرار می‌دهد، کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش سطح برگی (کاهش سطح فتوسنتزی)، کاهش دسترسی به CO_2 به علت بسته شدن روزنه‌ها (کاهش هدایت روزنه‌ای)، کاهش هدایت مزوفیلی (به علت کاهش نفوذپذیری غشا به CO_2 به علت دهیدراته شدن غشاهای سلولی)، تغییر در فعالیت آنزیم‌ها به علت تغییرات در ساختار سیتوپلاسمی (آنزیم‌های روبیسکو و چرخه کلوین)، سمیّت نمک، افزایش پیری القا شده توسط شوری و آسیب اکسیداتیو به غشاهای فتوسنتزی است (Orcutt and Nilsen, 2000; Parida and Das, 2005). همچنین، شوری فعالیت زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی و فتوسیستم‌ها به ویژه فتوسیستم II (پروتئین D_1) را نیز متأثر می‌سازد و آسیب به فتوسیستم II باعث افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. شوری بر آناتومی برگ و زیرساختارهای کلروپلاستی نیز تأثیر می‌گذارد، بنابراین، فتوسنتز تحت تأثیر این عوامل نیز قرار می‌گیرد (Parida and Das, 2005). شوری بر بسیاری از آنزیم‌های دخیل در مراحل گلیکولیز و آنزیم‌های تنفسی و زنجیره انتقال الکترون میتوکندریایی نیز تأثیر می‌گذارد، بنابراین، به طور کلی متابولیسم

Archive of SID

www.SID.ir

کربن تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد (Orcutt and Nilsen, 2000; Parida and Das, 2005).

شوری، جذب مواد معدنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شوری می‌تواند با دخالت در عمل ناقل‌ها و کانال‌های یونی در ریشه مانند کانال‌های انتخابی پتاسیم (رقابت سدیم با پتاسیم)، یا مهار رشد ریشه توسط آثار اسمزی سدیم و یا با تأثیر سدیم بر ساختار خاک باعث کاهش جذب آب و مواد معدنی شود (Orcutt and Nilsen, 2000؛ Tester and Venport, 2003؛ Parida and Das, 2005؛ Mahajan and Tuteja, 2005). در خاک‌های شور حلالیت برخی از عناصر مانند مس، آهن، منگنز، روی، بور، سلینیوم، مولیبدن، پتاسیم، فسفر و نیتروژن تغییر می‌کند و تغذیه معدنی گیاه تحت تأثیر این عامل نیز قرار می‌گیرد (Orcutt and Nilsen, 2000).

ذرت، گیاهی از خانواده غلات با دوره رشد نسبتاً کوتاه و عملکرد بالاست که در سطح جهانی از نظر میزان تولید در واحد سطح پس از گندم در رتبه دوم و از نظر سطح زیر کشت پس از گندم و برنج مقام سوم را به خود اختصاص داده است (Xu *et al.*, 2004). با توجه به اهمیّت این محصول انتظار می‌رود با به کار گرفتن روش های مناسب بتوان به افزایش تولید این محصول مهم در شرایط مختلف آب و هوایی کشور کمک نمود.

استفاده از ترکیبات یا تنظیم‌کننده‌های رشد به صورت برون‌زا در بسیاری از موارد در کاهش آثار تنش های محیطی مؤثر بوده است. نقش سالیسیلیک اسید (SA) و ترکیبات وابسته به آن در کاهش آثار بسیاری از تنش‌های محیطی ثابت شده است (Hayat and Ahmad, 2007). اما در تنش شوری گزارش‌های متفاوتی در مورد نقش این مواد در افزایش یا کاهش مقاومت به تنش وجود دارد. در این بررسی، نقش پیش تیمار سالیسیلیک اسید (با توجه به مزایایی چون ارزان و در دسترس بودن) بر بهبود شاخص‌های رشد با تأکید بر سیستم فتوسنتزی و جذب و انتقال عناصر ضروری در شرایط تنش شوری بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت گلخانه‌ای در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۷ سانتی‌متری و با گنجایش ۸ کیلوگرم خاک انجام شد. خاک گلدان‌ها، شن و خاک مزرعه با نسبت ۳ به ۱ بود که پیش از پُرکردن گلدان‌ها ابتدا شن شسته و خشک شده و سپس با خاک مزرعه که با استفاده از سرند غربال‌گیری شده بود، مخلوط شد. برای تقویت خاک و تأمین عناصر مورد نیاز اولیه گیاه، ۹۲ گرم کود اوره، ۱۳۸ گرم کود سوپر فسفات تریپل و ۹۲ گرم کود سولفات پتاسیم به خاک گلدان‌ها افزوده و مخلوط شد. همچنین، در مرحله ۴ تا ۵ برگی مجدداً کود اوره به شکل سرک به گلدان‌ها داده شد. شیوه و محاسبه مقادیر کودها با توجه به مساحت هر گلدان و مقدار کود مورد نیاز برای گیاه در شرایط مزرعه انجام شد.

بذر مورد استفاده از رقم ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ (KSC704) از مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان تهیه شد و در هر گلدان ۵ بذر سالم ضدعفونی شده با سمّ کاربوکسین تیرام به عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متر در فروردین ماه کاشته شد و پس از ظهور گیاهچه در مرحله سه برگی به سه بوته تُنک شد. آبیاری تا زمان

Archive of SID

www.SID.ir

اعمال تنش شوری به صورت یک روز در میان با توجه به ظرفیت مزرعه برای همه گلدان‌ها به طور یکسان انجام شد.

ابتدا طی چند آزمایش مقدماتی غلظت سالیسیلیک اسید و غلظت نمک و مدت زمان تیمار بهینه شد و سپس این آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی عبارتند از: شوری در دو سطح (صفر و ۸۰ میلی‌مولار) و سالیسیلیک اسید در سه سطح (شاهد، خیساندن بذر در آب، خیساندن بذر در محلول سالیسیلیک اسید ۰/۱ میلی‌مولار). برای پرایمینگ، بذرها به دو گروه تقسیم شدند بذرها برای تیمار خیساندن بذر درآب به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و بقیه بذرها به مدت ۶ ساعت در محلول ۰/۱میلی‌مولار سالیسیلیک اسید خیسانده شدند. نسبت وزن بذر به حجم محلول ۱ به ۵ بود. زمان اعمال تنش شوری دو ماه پس از کاشت، در مرحله ۶ برگی انجام شد. نحوه اعمال تنش با توجه به عصاره اشباع خاک در ۶ مرحله برای جلوگیری از وارد شدن شوک ناگهانی به گیاه و در هر مرحله به میزان ۴۰۰ میلی‌لیتر محلول NaCl (۸۰ میلی‌مولار) برای هر گلدان انجام شد و برای گلدان‌های شاهد، از آب مقطر استفاده شد. در مرحله سوم، اعمال تنش شوری از ۳ گلدان شاهدی که برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC, Electrical Conductivity) در نظر گرفته شده بود، برای اطمینان از صحت شیوه اعمال تنش EC خاک آنها اندازه‌گیری شد. همچنین، پس از برداشت گیاهان، خاک ۳ گلدان از گلدان‌های شاهد و گلدان‌های تحت تیمار شوری به طور تصادفی انتخاب و EC خاک آنها اندازه‌گیری شد.

برداشت گیاهان شش هفته پس از اعمال تنش از سطح خاک انجام شد. پس از برداشت گیاهان شاخص‌های رشد، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II شامل عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (PSII Ø)، بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ) و تغذیه معدنی شامل عناصر سدیم، پتاسیم، نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز، مس و بور اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های رشد

وزن تر اندام هوایی و ریشه گیاهان در گروه‌های تیماری مختلف اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در فویل آلومینیومی پیچیده شده و به مدت ۷۲ ساعت درآون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شد. وزن خشک و تر نمونه‌ها با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و بر حسب گرم گزارش شد.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی

اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها (کاروتنوئید و گزانتوفیل) با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) انجام شد. ۰/۲ گرم از برگ‌های فریز شده انتهای گیاه (که با استفاده از نیتروژن مایع فریز شده و در فریزر با دمای ۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری شده بودند) ساییده شد و با ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط و پس از صاف کردن، جذب آنها با اسپکتروفتومتردر طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲۰ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و غلظت رنگیزه‌ها با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد و بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر گزارش شد.

$chla = 12.25\ A_{663.2} - 2.79\ A_{646.8}$ (کلروفیل a)

Archive of SID

www.SID.ir

(کلروفیل b) $chlb= 21.21\ A_{646.8} - 5.1\ A_{663.2}$

(کلروفیل کل) $chlT= 7.15\ A_{663.2} - 18.71\ A_{646.8}$

(کاروتنوئید) $car = (1000A_{470} - 1.8\ chla - 85.02\ chlb)/198$

اندازه‌گیری عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Ø PSII)، بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ)

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل با استفاده از دستگاه فلورمتر (PAM: H. Walz GmbH, Effeltrich, Germany) انجام شد و سپس شاخص‌های عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Ø PSII)، بیشینه عملکرد فتوسیستم II (Fv/Fm) و خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ) طبق فرمول‌های زیر محاسبه شدند (Van Kooten and Snel, 1990):

$Fv/Fm= (Fm-F0)/Fm$

$NPQ= (Fm-F'm)/F'm$

$ØPSII= (Fm-Ft)/F'm$

اندازه‌گیری عناصر معدنی

برگ گیاهان تیمار شده پس از برداشت به دقت شسته و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد برای به دست آوردن ماده خشک، خشک شدند. برای اندازه‌گیری مواد معدنی، نمونه‌های گیاهی در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶ ساعت خاکستر و سپس در ۵ میلی‌لیتر محلول نیتریک اسید ۲ مولار حل شدند و در نهایت، حجم محلول با آب دو بار تقطیر به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و با کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف شد. سدیم و پتاسیم توسط فلم فتومتر (Jenway PFP7; ELE instrument Co. Ltd.) اندازه‌گیری شدند. نیتروژن با روش Lambert و DuBois (۱۹۷۱) تعیین شد. فسفر با استفاده از اسپکتوفتومتر (Schimadzu UV-VIS 1201) اندازه‌گیری شد و کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس، بور و منگنز توسط Analytic Jena (Vario AAS) تعیین شدند و مقدار عناصر ماکرو بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و عناصر میکرو بر حسب ذره در میلیون (ppm) گزارش شد.

تحلیل داده‌ها

این آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی شوری در دو سطح و سالیسیلیک اسید در سه سطح بود. محاسبات آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد با نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد.

نتایج

اثر تنش شوری و پیش تیمار سالیسیلیک اسید بر شاخص‌های رشد (وزن تر اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه) در جدول ۱ آمده است. شوری باعث کاهش وزن تر اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه به ترتیب به میزان ۴۷، ۶۴ و ۳۶ درصد شد و پیش تیمار سالیسیلیک اسید باعث بهبود این شاخص‌ها گردید (جدول ۱).

تنش شوری باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها به ترتیب حدود ۳۵، ۳۲، ۲۹ و ۴۰ درصد شد و پیش تیمار سالیسیلیک اسید باعث افزایش مقدار این شاخص‌ها گردید (جدول ۱).

عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Ø PSII)، بیشینه عملکرد فتوسیستم II (Fv/Fm) به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار شوری قرار گرفت و به ترتیب حدود ۸ و ۱۸

Archive of SID

www.SID.ir

درصد کاهش یافت. خیساندن بذر در SA باعث افزایش معنی‌دار عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط تنش و غیر تنش شد (جدول ۱). شوری، بر خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ) اثر معنی‌داری داشت، به طوری که آن را به میزان ۳ درصد افزایش داد. تیمار SA به کاهش خاموشی غیر فتوشیمیایی در هر دو شرایط شور و غیر شور منجر شد (جدول ۱).

آثار تنش شوری و پیش تیمار سالیسیلیک اسید بر مقدار عناصر معدنی در برگ ذرت در جدول ۲ آمده است. تنش شوری مقدار عناصر معدنی را نیز در برگ‌های ذرت تحت تأثیر قرار داد و باعث کاهش مقدار پتاسیم و مس و افزایش مقدار سدیم، فسفر، منیزیم، آهن، روی، منگنز و بور شد و بر مقادیر نیتروژن و کلسیم تأثیری نداشت (جدول ۲). در مقایسه با شاهد، تیمار خیساندن بذر در آب باعث افزایش یون‌های کلسیم و آهن و کاهش یون‌های فسفر، سدیم، روی، منگنز و بور در گیاهان تحت تنش شوری شده است. در صورتی که کاربرد SA باعث افزایش یون‌های کلسیم، نیتروژن، آهن، مس و بور وکاهش یون‌های فسفر، سدیم، روی و منگنز در تنش شوری شد (جدول ۲).

جدول ۱- تأثیر تیمارهای شوری (NaCl) و سالیسیلیک اسید (SA) بر شاخص‌های رشد، کلروفیل (a، b و کل)، کاروتنوئید، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Ø PSII)، بیشینه عملکرد فتوسیستم II (Fv/Fm) و خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ). مقادیر میانگین ۵ تکرار ± انحراف استاندارد است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

	وزن تر اندام هوایی (g)	کلروفیل a (µg/g fw)	کلروفیل b (µg/g fw)	کلروفیل کل (µg/g fw)	کاروتنویید (µg/g fw)
شاهد خشک	۱۹۴/۷۶±۰/۸۵ c	۹۵/۱۰±۰/۵۰ c	۱۰۷/۴۳±۰/۹۹ d	۲۰۴/۶۵±۱/۴۵ d	۲۰/۵۱±۱/۵۱ e
خیساندن در آب	۲۴۰/۴۰±۰/۸۰ b	۱۰۶/۳۰±۰/۵۰ b	۱۴۳/۷۲±۰/۹۳ b	۲۶۰/۳۵±۱/۵۴ b	۴۹/۱۹±۱/۳۱ b
خیساندن در SA (۰/۱ mM)	۲۵۸/۰۰±۰/۸۷ a	۱۳۹/۰۰±۰/۹۰ a	۱۴۹/۳۰±۰/۵۲ a	۲۹۱/۲۹±۲/۲۸ a	۷۵/۳۶±۱/۱۴ a
شوری (۸۰ mM)	۱۲۵/۱۰±۰/۷ f	۶۱/۷۰±۰/۸۸ e	۸۲/۵۸±۱/۵۶ f	۱۴۵/۸۴±۲/۳۰ f	۱۲/۴۷±۲/۱۰ f
شوری و خیساندن در آب	۱۶۲/۲۰±۰/۷۵ e	۸۶/۴۵±۰/۴۵ d	۹۰/۹۸±۱/۲۵ e	۱۷۹/۲۸±۲/۰۰ e	۲۶/۸۹±۱/۸۰ d
شوری و خیساندن در SA (۰/۱ mM)	۱۷۰/۴۰±۰/۹۹ d	۹۴/۹۸±۰/۹۰ c	۱۲۸/۸۶±۰/۸۸ c	۲۲۶/۲۸±۱/۷۱ c	۴۴/۱۳±۲/۱۳ c

ادامه جدول ۱ ...

	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)	Ø PSII	Fv/Fm	NPQ
شاهد خشک	۱۷۴/۷±۰/۷ c	۳۳/۴۲±۰/۵۱ c	۰/۳۶±۰/۰۰۸ d	۰/۴۳±۰/۰۲ d	۰/۴۸±۰/۰۰۲ b
خیساندن در آب	۲۱۲/۶±۰/۹ b	۴۳/۰۴±۰/۳۰ b	۰/۳۹±۰/۰۰۴ c	۰/۵۲±۰/۰۳ c	۰/۳۷±۰/۰۰۸ c
خیساندن در SA (۰/۱ mM)	۲۳۷/۶±۰/۸ a	۴۷/۱۸±۰/۴۲ a	۰/۴۸±۰/۰۰۷ a	۰/۶۹±۰/۰۳ a	۰/۳۵±۰/۰۰۹ c
شوری (۸۰ mM)	۹۶/۴±۰/۹ f	۲۱/۱۶±۰/۶۲ e	۰/۲۹±۰/۰۰۴ e	۰/۳۶±۰/۰۳ e	۰/۴۹±۰/۰۰۴ a
شوری و خیساندن در آب	۱۱۹/۴±۰/۶ e	۲۷/۷۲±۰/۴۵ d	۰/۳۱±۰/۰۰۵ d	۰/۴۲±۰/۰۳ d	۰/۴۶±۰/۰۰۲ b
شوری و خیساندن در SA (۰/۱ mM)	۱۳۰/۴±۰/۸ d	۳۲/۳۳±۰/۶۰ c	۰/۴۰±۰/۰۰۲ b	۰/۶۲±۰/۰۲ b	۰/۲۸±۰/۰۰۵ d

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- تأثیر تیمارهای شوری (NaCl) و سالیسیلیک اسید (SA) بر مقدار یون‌های سدیم، پتاسیم، نیتروژن، فسفر، کلسیم، آهن، روی، منگز، مس و بور مقادیر میانگین ۵ تکرار ± انحراف استاندارد است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.

	سدیم (mg/g dw)	پتاسیم (mg/g dw)	نیتروژن (mg/g dw)	فسفر (mg/g dw)	کلسیم (mg/g dw)	منیزیم (mg/g dw)
شاهد خشک	۱/۲۱±۰/۰۲ d	۲۷/۹±۰/۵۰ a	۱۳/۱±۰/۷۱ b	۰/۷±۰/۰۰۲ f	۵/۴۷±۰/۳۸ c	۴/۲±۰/۱۱ c
خیساندن در آب	۰/۳۳±۰/۰۳ e	۲۶/۷±۰/۶۱ a	۱۳/۰±۰/۸۴ b	۰/۹±۰/۰۰۳ d	۷/۰۳±۰/۲۱ b	۴/۸±۰/۳۰ b
خیساندن در SA (۰/۱ mM)	۰/۳۰±۰/۰۴ e	۲۴/۴±۰/۴۱ b	۱۲/۸±۰/۹۱ b	۰/۸±۰/۰۰۲ e	۵/۱۳±۰/۳۳ c	۴/۶±۰/۱۹ b
شوری (۸۰ mM)	۴/۲۲±۰/۰۷ a	۲۴/۲±۰/۵۲ b	۱۲/۵±۰/۷۳ b	۱/۵±۰/۰۰۳ a	۵/۴۷±۰/۳۱ c	۵/۴±۰/۲۸ a
شوری و خیساندن در آب	۲/۶۸±۰/۰۵ b	۲۳/۸±۰/۷۲ b	۱۲/۵±۰/۶۶ b	۱/۲±۰/۰۰۲ b	۸/۱۱±۰/۲۸ a	۵/۲±۰/۲۹ a
شوری و خیساندن در SA (۰/۱ mM)	۲/۵۰±۰/۰۴ c	۲۴/۸±۰/۴۵ b	۱۸/۵±۰/۵۱ a	۱/۴±۰/۰۰۳ c	۷/۲۳±۰/۱۸ b	۵/۳±۰/۳۰ a

ادامه جدول ۲ ...

	آهن (ppm)	روی (ppm)	منگنز (ppm)	مس (ppm)	بور (ppm)
شاهد خشک	۱۸۱/۳±۴/۶۱ e	۲۳/۳±۰/۴۱ c	۴۳/۳±۰/۲۱ f	۶/۸±۰/۰۰۹ b	۲۷/۵±۰/۸۷ f
خیساندن در آب	۳۰۸/۸±۴/۱۲ c	۱۶/۵±۰/۴۸ f	۴۵/۸±۰/۴۰ e	۶/۵±۰/۰۱۲ c	۴۲/۰±۰/۳۶ e
خیساندن در SA (۰/۱ mM)	۳۳۴/۵±۴/۲۱ b	۲۰/۳±۰/۲۰ e	۴۷/۸±۰/۷۱ d	۱۰/۰±۰/۰۳۱ a	۴۵/۵±۰/۴۸ d
شوری (۸۰ mM)	۲۴۸/۰±۲/۸۷ d	۳۲/۵±۰/۴۳ a	۸۱/۸±۰/۲۵ a	۴/۲±۰/۰۱۱ d	۵۷/۰±۰/۸۱ b
شوری و خیساندن در آب	۳۳۹/۰±۳/۹۱ b	۲۱/۸±۰/۳۳ d	۵۸/۰±۰/۵۲ c	۴/۳±۰/۰۱۵ d	۵۳/۰±۰/۷۶ c
شوری و خیساندن در SA (۰/۱ mM)	۴۵۱/۵±۲/۸۵ a	۲۸/۵±۰/۵۱ b	۸۰/۸±۰/۱۱ b	۶/۵±۰/۰۱۷ c	۶۰/۵±۰/۵۳ a

نتیجه‌گیری و بحث

در این پژوهش، تنش شوری باعث کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنوئید) شد. این کاهش می‌تواند عمدتاً به علت تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آنها با اکسیژن یکتایی، تخریب پیش‌ماده‌های سنتز کلروفیل و جلوگیری از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز و اختلالات هورمونی باشد (El-Tayeb, 2005؛ Rout *et al.*, 1997/1998؛ Neocleous and Vasilakakis, 2007؛ Sultana *et al.*, 1999)، هر چند که تجمع یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها در تنش شوری نیز تأثیر منفی بر غلظت کلروفیل دارد (Sultana *et al.*, 1999; Stepien and Klobus, 2006). علاوه بر این، تنش شوری در جذب برخی عناصر ضروری نظیر آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند. این عناصر در سنتز کلروفیل ضروری هستند (Neocleous and Vasilakakis, 2007). لیپوکسیژناز نیز از آنزیم‌های دخیل در کاتابولیسم کلروفیل گزارش شده است، لیپوکسیژناز در هنگام تنش یکی از آنزیم‌های دخیل در پراکسیداسیون لیپیدهاست (Costa *et al.*, 2005). کاهش مقدار کاروتنوئید در شرایط تنش نیز به علت تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زئازانتین در چرخه گزانتوفیل است (Sultana *et al.*, 1999). کاهش مقدار

Archive of SID

www.SID.ir

کلروفیل و کاروتنوئید در شرایط تنش شوری در گیاه گوجه‌فرنگی (Tari *et al.*, 2002; Juan *et al.*, 2005) و سویا (Abd El Samad and Shaddad, 1997) گزارش شده است و این کاهش در رقم‌های حساس بیشتر از رقم‌های مقاوم بود (Juan *et al.*, 2005).

در مقایسه با شاهد، تیمار خیساندن بذر در آب و پیش‌تیمار با SA، سبب افزایش مقدار کلروفیل (به عنوان یکی از اجزای اصلی فتوسنتزی و تأثیرگذار بر وزن خشک) و محتوای کاروتنویید در گیاهان در شرایط تنش و غیر تنش گردید که نشان‌دهنده توانایی پرایمینگ برای بهبود رشد است. به طور کلی، پیش تیمار با SA به مراتب تأثیر بیشتری روی این شاخص‌ها داشت. مشابه با نتایج این آزمایش، سالیسیلیک اسید در گیاهان جو (El-Tayeb, 2005)، گندم (Agarwal *et al.*, 2005)، اسفناج (Eraslan *et al.*, 2008)، کلزا (Ghai *et al.*, 2002)، گوجه‌فرنگی (Tari *et al.*, 2002) و نخود (Popova *et al.*, 2009) مقدار کلروفیل و کاروتنوئید را افزایش داد.

القای سنتز کاروتنوئیدها در شرایط تنش می‌تواند به علت نقش حفاظتی آنها در تشکیلات فتوسنتزی باشد. زیرا این رنگیزه‌ها مسؤول خاموش کردن اکسیژن یکتایی و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها و در نهایت، تنش اکسیداتیو هستند (Koyro, 2006). کاروتنوئیدها انرژی زیادی را از فتوسیستم I و II به صورت گرما یا واکنش‌های شیمیایی بی ضرر دفع کرده، می‌توانند غشاهای کلروپلاستی را حفظ نمایند (Matysik *et al.*, 2002؛ Juan *et al.*, 2005؛ Koyro, 2006). کاروتنوئیدها علاوه بر خاموش کردن اکسیژن یکتایی، به طور مستقیم می‌توانند توسط اکسیژن یکتایی اکسید شوند. به علاوه، قادرند حالت برانگیخته سه‌تایی کلروفیل را خاموش نمایند. بنابراین، به طور غیر مستقیم نیز تولید گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهند. همچنین، کاروتنوئیدها از طریق مکانیسمی که چرخه گزانتوفیل نامیده می‌شود و در آن به طور پی در پی واکنش‌های اپوکسیداسیون و داپوکسیداسیون انجام می‌گیرد باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون می‌شوند (Loggini *et al.*, 1999).

به نظر می‌رسد که پیش‌تیمار با SA به عنوان یک فرآیند مقاوم‌سازی عمل نموده است و با افزایش توان آنتی‌اکسیدانی سلول از جمله کاروتنوئیدها، (داده‌های مربوط به تنش اکسیداتیو و توان آنتی‌اکسیدانی گیاه ذرت آورده نشده است.) باعث کاهش مقدار پراکسیداسیون لیپیدها و باعث حفاظت بیشتر از غشاهای سلولی، فتوسنتزی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و مانع از کاتابولیسم کلروفیل شده است که نتایج آن در بهبود شاخص‌های رشد مشخص است.

اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل میزانی برای بررسی تغییرات در فتوسیستم II و تعیین بازدارندگی نوری فتوسنتز است که به عنوان شاخص‌های خسارت به سیستم فتوسنتزی توسط تنش‌های محیطی و تنش اکسیداتیو به آن توجه شده است. در این پژوهش، شوری باعث کاهش عملکرد فتوسیستم II و بیشینه عملکرد فتوسیستم II در برگ‌های ذرت شد. کاهش عملکرد فتوسیستم II و بیشینه عملکرد فتوسیستم II در بسیاری از گیاهان تحت تأثیر تنش‌های مختلف گزارش شده است. برای مثال، در سورگوم (Lu and Zhang, 1998; Netondo *et al.*, 2004) و کلزا (Attlasi *et al.*, 2009)

Archive of SID

www.SID.ir

تحت تأثیر تنش شوری عملکرد فتوسیستم II و بیشینه عملکرد فتوسیستم II کاهش پیدا کرده است.

تنش‌هایی نظیر شوری و خشکی به علت آسیب به دستگاه فتوسنتزی به ویژه فتوسیستم II و جدا نمودن برخی از پلی‌پپتیدهای آن (Sudhir and Murthy, 2004)، مسدود شدن زنجیره انتقال الکترون در حضور غلظت‌های بالای نمک از جمله کلر (Neocleous and Vasilakakis, 2007) و با تأثیر منفی که بر برخی از پروتئین‌های کمپلکس کینون می‌گذارند، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش می‌دهند و در نتیجه سیستم به سرعت به بیشینه فلورسانس (F_m) می‌رسد که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر (F_v) خواهد بود (Stepien and Klobus, 2006). کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II به صورت نسبت F_v/F_m بیان می‌شود. بنابراین، تنش‌های محیطی با تأثیر بر فتوسیستم II باعث کاهش این نسبت می‌شوند. کاهش‌های مشاهده شده در کارآیی عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، اشاره به کاهش سرعت انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون کلروپلاستی می‌کند و کاهش پذیرنده‌های الکترون ممکن است سبب افزایش احتمال تولید رادیکال‌های واکنش‌پذیر شود، که این رادیکال‌های آزاد می‌توانند به اجزا فتوسیستم II آسیب وارد نماید. گزارش شده است که رقم‌های متحمل به تنش دارای F_v/F_m بالاتری نسبت به رقم‌های حساس داشتند، به بیان دیگر، کارآیی فتوسیستم II در رقم‌های مقاوم بیشتر است (Lu *et al.*, 2002). متأثر شدن کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II در اثر تنش شوری و تنش اسمزی و اکسیداتیو حاصل از آن نشان می‌دهد که کارآیی این سیستم به علت بازدارندگی نوری کاهش می‌یابد (Backhausen *et al.*, 2005). در این تحقیق، شوری باعث افزایش خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ) شد. افزایش در خاموشی غیر فتوشیمیایی در سورگوم (Netondo *et al.*, 2004) و کلزا (Atlassi Pak *et al.*, 2009) تحت تنش شوری نیز گزارش شده است.

در مقایسه با شاهد، خیساندن بذر در آب تأثیر چندانی در عملکرد فتوسیستم II نداشت، اما باعث افزایش بیشینه عملکرد فتوسیستم II شد. ولی خیساندن بذر با محلول SA باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد فتوسیستم II و بیشینه عملکرد فتوسیستم II برگ‌ها شد.

تأثیر مثبت SA بر عملکرد فتوسیستم II و بیشینه عملکرد فتوسیستم II تحت تنش‌های مختلف در خیار تحت تنش گرما (Shi *et al.*, 2006)، کنف تحت تنش کادمیوم (Shi *et al.*, 2009) و لوبیا تحت تنش خشکی (Nelson and Maria, 2006) گزارش شده است.

در پژوهش حاضر، شوری باعث افزایش مقدار سدیم، کاهش پتاسیم شد که در نتیجه باعث کاهش نسبت K^+/Na^+ می‌شود. افزایش جذب سدیم معمولاً با کاهش جذب پتاسیم و در نتیجه کاهش نسبت پتاسیم به سدیم همراه است. کاهش پتاسیم و افزایش سدیم یکی از بارزترین آثار تنش شوری است که در بسیاری از گزارش‌ها به آن اشاره شده است. کاهش غلظت پتاسیم در گیاه در محیط شور به این علت است که وجود غلظت‌های بالای سدیم در محیط خارجی باعث ایجاد رقابت با پتاسیم برای ورود به داخل سلول می‌شود و چون این دو یون دارای شعاع هیدراته مشابهی هستند، پروتئین‌های انتقال‌دهنده آنها ممکن است در تشخیص آنها دچار اشتباه شوند. بنابراین، سدیم به راحتی از

Archive of SID

www.SID.ir

طریق ناقل‌های با تمایل کم به پتاسیم و یا با تمایل زیاد به پتاسیم وارد سلول شده و جذب پتاسیم کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، انتقال سدیم به قسمت‌های مختلف گیاه و برگ‌ها باعث جایگزینی آنها با کلسیم در فضای آپوپلاستی شده که به دپلاریزاسیون غشا منجر می‌شود و در نتیجه، توانایی غشاها برای جذب انتخابی برخی از یون‌ها دچار اختلال شده و عدم تعادل یونی غیر قابل اجتناب خواهد بود (Blumwald *et al.*, 2000؛ Molassiotis *et al.*, 2006؛ Aqeel Ahmad *et al.*, 2007). از آنجا که پتاسیم عنصری ضروری برای گیاهان و دارای نقش کلیدی در فرآیندهای فیزیولوژیک و رشد گیاه، سنتز پروتئین و نشاسته، انتقال قندها و فعال شدن بسیاری از آنزیم‌ها از جمله آنزیم‌های کلیدی در فتوسنتز و تنفس و حفظ یکپارچگی سیستم فتوسنتزی، سنتز ATP، تنظیم اسمزی، باز و بسته شدن روزنه، خنثی کردن بارهای منفی پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک است، جایگزین شدن آن توسط سدیم می‌تواند باعث آسیب به گیاه شود، زیرا سدیم قادر به انجام نقش‌های پتاسیم نیست. تجمع سدیم و تغییر نسبت K^+/Na^+ در سیتوپلاسم می‌تواند روی فرآیندهای انرژی‌زا اثر بگذارد. جایگزینی سدیم به جای پتاسیم می‌تواند سبب غیر فعال شدن آنزیم‌ها، کاهش رشد و حتی مرگ سلول یا گیاه شود (Rahnama and Ebrahimzadeh, 2004؛ Sudhir and Murthy, 2004؛ Kao *et al.*, 2006؛ Wu and Xu, 2008). در این پژوهش، علاوه بر یون‌های سدیم و پتاسیم، تنش شوری در جذب و انتقال عناصر دیگر نیز تغییر به وجود آورد و باعث کاهش مقدار مس و افزایش مقدار فسفر، منیزیم، آهن، روی، منگنز و بور شد و بر مقادیر نیتروژن و کلسیم تأثیری نداشت. کاربرد SA باعث افزایش یون‌های کلسیم، نیتروژن، آهن، مس و بور و کاهش یون‌های فسفر، سدیم، روی و منگنز شد.

در پژوهش‌های مختلف، گزارش‌های متناقضی در مورد تأثیر سالیسیلیک اسید بر جذب یون‌ها وجود دارد. کاربرد سالیسیلیک اسید هیچ تأثیری بر مقدار سدیم در هویج (Eraslan *et al.*, 2007) و اسفناج (Eraslan *et al.*, 2008) نداشت. کاربرد استیل سالیسیلیک اسید نیز تأثیری بر عناصر معدنی در گیاه کدو تحت تنش خشکی نداشته است (Korkmaz *et al.*, 2007). اما Gunes و همکاران (۲۰۰۷ و ۲۰۰۵) گزارش نمودند که سالیسیلیک اسید باعث کاهش غلظت سدیم و کلر و افزایش کاتیون‌ها از جمله پتاسیم، نیتروژن، منیزیم، آهن، منگنز و مس در گیاهان ذرت در تنش‌های مختلف شده است. در گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری، پیش تیمار آسپرین باعث افزایش مقدار سدیم در برگ‌ها شد. در این گزارش، افزایش جذب سدیم، پاسخی مفید در افزایش توان گیاه برای تنظیم اسمزی یاد شده است (Tari *et al.*, 2002). کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه جو در تنش شوری باعث کاهش سدیم و افزایش میزان پتاسیم، کلسیم، نیتروژن، آهن در گیاهان جو شد که در این گزارش بیان شده است، کاهش جذب سدیم در کاهش آسیب به غشا و افزایش تولید وزن خشک مؤثر است (El-Tayeb, 2005) و بالاخره Eraslan و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند تأثیر سالیسیلیک اسید بر جذب و انتقال یون در گیاهان به پاسخی خاص برای هر گونه منجر می‌شود.

در این پژوهش، تنش شوری باعث کاهش

Archive of SID

www.SID.ir

شاخص‌های رشد شد. کاهش رشد تحت تنش‌های مختلفی از جمله شوری در اسفناج (Eraslan *et al.*, 2008)، گوجه‌فرنگی (Juan *et al.*, 2005; Shibli *et al.*, 2007)، عدس (Bandeoglu *et al.*, 2004)، یونجه (Wang *et al.*, 2009) گزارش شده است. کاهش میزان رشد در شرایط تنش شوری یا خشکی می‌تواند به علت دخالت در فرآیندهای دخیل در تولید انرژی مثل فتوسنتز و تنفس باشد. گزارش شده است که تغییر نسبت K^+/Na^+ بر فعالیت‌های انرژی‌زای سلول تأثیر می‌گذارد (یون پتاسیم به عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌های فتوسنتزی و تنفسی است) (Kao *et al.*, 2006; Sudhir and Murthy, 2004). تغییر در تعادل هورمونی نیز یکی دیگر از علل کاهش رشد است (Pandey *et al.*, 2003/2004). مهار گسترش تقسیم سلولی، کاهش سطح برگ و بنابراین، کاهش سطح دریافت نور، تسریع پیری برگ‌ها، افزایش درجه حرارت برگ، تحت تأثیر قرار گرفتن دستگاه فتوسنتزی، کاهش کارآیی زنجیره انتقال الکترون و کمپکس جمع کننده نور، کاهش کارآیی کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و یا افزایش فعالیت اکسیژنازی این آنزیم، کاهش ظرفیت بازسازی RUBP، مهار سنتز ATP به علت مهار فعالیت کمپلکس ATP سنتتاز، غیر فعال شدن PSI و PSII به علت جدا شدن برخی از پروتئین‌ها از آنها در حضور غلظت‌های بالای سدیم و کلر، تغییر در هدایت روزانه‌ای، نرخ تعرق، محتوای نسبی آب و کاهش تورگر، تغییر در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و القای کلروفیلاز، سمیّت نمک به علت 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 از جمله پروتئین‌ها و یا پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب به غشاهای زیستی از جمله غشاهای تیلاکوییدی از جمله عللی است که در کاهش رشد در شرایط تنش شوری در گزارش‌های مختلف یاد شده است (Parida and Das, 2005; Orcutt and Nilsen, 2000).

در مقایسه با شاهد، خیساندن بذر در آب باعث افزایش معنی‌داری در شاخص‌های رشد شده است که نشان دهنده اثر مثبت پیش‌تیمار بذر است. ولی خیساندن بذر با محلول SA افزایش قابل ملاحظه‌ای در شاخص‌های رشد شد. گزارش‌های زیادی از اثر تیمارهای SA بر کاهش آثار تنش‌های محیطی بر رشد وجود دارد. برای مثال، گیاهان تحت تأثیر تنش شوری در لوبیا (Palma *et al.*, 2009) و آفتابگردان (Noreen *et al.*, 2008)، تحت تنش سرما در ذرت (Farooq *et al.*, 2008)، تحت تنش خشکی در گندم (Singh and Usha, 2003)، تحت تنش گرما در خردل (Hayat *et al.*, 2009) و تحت تیمار کادمیوم در جو (Metwally *et al.*, 2003) گزارش شده است.

آثار تحریکی SA بر رشد می‌تواند به عللی مانند افزایش میزان تقسیم در مناطق مریستمی و رشد سلولی باشد که باعث افزایش رشد می‌شود و علت دیگر آن نیز تأثیر SA بر سایر هورمون‌های گیاهی است (Sakhabutdinova *et al.*, 2003؛ Shakirova *et al.*, 2003). از علل دیگر بهبود شاخص‌های رشد تحت تأثیر تیمار SA، می‌توان تأثیر سالیسیلیک اسید بر دستگاه فتوسنتزی و حفاظت از دستگاه فتوسنتزی، مقدار فتوسنتز، فعالیت آنزیم روبیسکو، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سیستم دفاع

Archive of SID

www.SID.ir

آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو و نشت یونی، افزایش همبستگی غشاهای زیستی، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی گیاه را نام برد که در مطالعه‌های مختلف به آنها اشاره شده است (El-Tayeb, 2005؛ Stevens *et al.*, 2006؛ Kormkaz *et al.*, 2007؛ Popova *et al.*, 2009). در این پژوهش، پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید با کاهش مقدار سدیم در برگ باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی (به عنوان یکی از اجزای تأثیرگذار بر تولید بیوماس)، مقدار کاروتنوئیدها (به عنوان یکی از اجزای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی) و بهبود شاخص‌های فتوسنتزی شد که نتیجه آن در بهبود شاخص‌های رشد مشاهده شد.

منابع

Abd El Samad, H. M. and Shaddad, M. A. K. (1997) Salt tolerance of soybean cultivars. Biologia Plantarum 39(2): 263-269.

Agarwal, S., Sairam, R. K., Srivasta, G. C. and Meena, R. C. (2005) Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. Biologia Plantarum 49(4): 541-550.

Aqueel Ahmad, M. S., Javed, F. and Ashraf, M. (2007) Iso osmotic effect of NaCl and PEG on growth, cations and free proline accumulation in callus tissue of two indica rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Plant Growth Regulation 53: 53-63.

Atlassi Pak, V., Nabipour, M. and Meskarbashee, M. (2009) Effect of salt stress chlorophyll content, fluorescence, Na and K content in rape plants (*Brassica napus* L.). Asian Joutnal of agricultural 3(2): 28-37.

Backhausen, J. E., Kelin, M., Klocke, M., Jung, S. and Scheibe, R. (2005) Salt tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L. var. Desiree) plants depends on light intensity and air humidity. Plant Science 169: 229-237.

Bandeoglu, E., Egidogan, F., Yucel, M. and Avni Oktem, H. (2004) Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl- salinity stress. Plant Growth Regulation 42: 69-77.

Blumwald, E., Aharon, G. S. and Apse, M. P. (2000) Sodium transport in plant cells. Biochemistry and Biophysics Acta 1465: 140-151.

Costa, M., Civell, P. M., Chaves, A. R. and Martinez, G. A. (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 20ºC. Postharvest Biology and Technology 35: 191-199.

El-Tayeb, M. A. (2005) Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation 42: 215-224.

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and 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. Scientia Horticalturae 113: 120-128.

Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D. J. and 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 Regulation 55: 207-219.

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 and Crop Science 194: 161-168.

Ghai, N., Setia, R. C. and Setia, N. (2002) Effect of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brassica napus* L. (cv. GSL-

Archive of SID

www.SID.ir

1). Phytomorphology 52: 83-87.

Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Cicek, N., Guneri, E., Eraslan, F. and Guzelorda, T. (2005) effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) Archive of Agronomy and Soil Science 51: 687-695.

Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri, E. and 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. Journal of Plant Physiology 164: 728-736.

Hayat, S. and Ahmad, A. (2007) Salicylic acid: a plant hormone. 1st edition, Speringer, Netherlands.

Hayat, S., Masood, A., Yusef, M., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. (2009) Growth of Indian musard (*Brassica juncea* L.) in response to salicylic acid under high-temperature stress. Brazilian Journal of Plant Physiology 21(3): 187-195.

Juan, M., Rivero, R. M., Romero, L. and Ruiz, J. M. (2005) Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. Environmental and Experimental Botany 54: 193-201.

Kao, W. Y., Tsai, T. T., Tsai, H. C. and Shih, C. N. (2006) Response of three Glycine species to salt stress. Environmental and Experimental Botany 56: 120-125.

Korkmaz, A., Uzunlu, M. and Demirkairan, A. R. (2007) Treatment with acetylsalicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. Acta Physiologia Plantarum 29: 503-508.

Koyro, H. W. (2006) Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* L. Environmental and Experimental Botany 56: 136-149.

Lambert, R. S. and DuBois, R. J. (1971) Spectrophotometric determination of nitrate in the presence of chloride. Annals of Chemistry 43: 494-501.

Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382.

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

Lu, C. and Zhang, J. (1998) Thermostability of photosystem II is increased in salt-stressed sorghum. Australian Journal of Plant Physiology 25: 317-324.

Lu, C., Qiu, N., Lu, Q., Wang, B. and Kuango, T. (2002) Does salt stress lead to increased susceptibility of photosystem II to photoinhibition and changes in photosynthetic pigment composition in halophyte *Sueda salsa* grown outdoors? Plant Science 163: 1063-1068.

Mahajajn, S. and Tuteja, N. (2005) Cold, salinity and drought stresses: an overview. Archive of Biochemistry and Biophysics 444: 139-158.

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

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. J. (2003) Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiology 132: 272-281.

Molassiotis, A. N., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Kofidis, G., Diamantidis, G. and Therios, I. (2006) Antioxidant and anatomical responses in shoot culture of the apple rootstock MM 106 treated with NaCl, KCl , mannitiol or sorbitol. Biologia Plantarum 50(1): 61-68.

Nelson, B. M. N. and Maria, A. B. D. (2006) Physiological and biochemical response of common bean varieties treated with salicylic

Archive of SID

www.SID.ir

acid under water stress. Crop Breeding and Applied Biotechnology 6: 269-277.

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

Netondo, G. W., Onyango, J. C. and Beck, E. (2004) Sorghum and Salinity: II. Gas Exchange and Chlorophyll Fluorescence of Sorghum under Salt Stress. Crop Science 44: 806-811.

Noreen, S. and Ashraf, M. (2008) Alleviation of adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of salicylic acid: growth and photosynthesis. Pakistan Journal of Botany 40: 1657-1663.

Orcutt, D. M. and Nilsen, E. T. (2000) The physiology of plants under stress, soil and biotic factors. 1st edition. John Wiley and Sons, New York.

Palma, F., Liuch, C., Iribarne, C., Garcia-Garrido, J. M. and Garcia, N. A. T. (2009) Combined effect of salicylic acid and salinity on some antioxidant activities, oxidative stress and metabolite accumulation in *Phaseolus vulgaris*. Plant Growth Regulation 58(3): 307-316.

Pandey, D. M., Goswami, C. L. and Kumar, B. (2003/4) Physiological effects of plant hormones in cotton under drought. Biologia Plantarum 47(4): 535-540.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

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.

Rahnama, H. and Ebrahimzadeh, H. (2004) The effect of NaCl on proline accumulation in potato seedlings and calli. Acta Physiologia Plantarum 26(3): 263-270.

Rajesh, A., Arumugam, R. and Venkatesalu, V. (1998) Growth and photosynthetic characteristics of *Ceriops roxburghiana* under NaCl stress. Photosynthetica 35(2): 285-287.

Rout, N. P., Tripathi, S. B. and Shaw, B. P. (1997/98) Effect of salinity on chlorophyll and proline content in three aquatic macrophytes. Biologia Plantarum 40(3): 453-458.

Sakhabutdinova, A. R., Fatkhutdinova, D. R., Bezrukova, M. V. and Shakirova, F. M. (2003) Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology Special Issue: 314-319.

Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bozrutkova, 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.

Shi, G. R., Cai, Q. S., Liu, Q. Q. and Wu, L. (2009) Salicylic acid-mediated alleviation of cadmium toxicity in hemp plants in relation to cadmium uptake, photosynthesis, and antioxidant enzymes. Acta Physiologia Plantarum 31: 969-977.

Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., Ying, Q. and Qian, Q. (2006) Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll flurescence and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. Plant Growth Regulation 48: 127-135.

Shibli, R. A., Kushad, M., Yousef, G. G. and Lila, M. A. (2007) Physiological and biochemical responses of tomato micro shoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. Plant Growth Regulation 51: 159-169.

Silva, C., Martinez, V. and Carvajal, M. (2008) Osmotic versus toxic effects of NaCl on pepper plants. Biologia Plantarum 52(1): 72-79.

Singh, B. and Usha, K. (2003) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water

Archive of SID

www.SID.ir

stress. Plant Growth Regulation 39: 137-141.

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

Stevens, J., Senaratna, T. and 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 Regulation 49: 77-83.

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

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

Tari, I., Csiszar, J., Szalai, G., Horvath, F., Pecsvaradi, A., Kiss, G., Szepsi, A., Szabo, M. and Erdei, L. (2002) Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic acid pre-treatment. Acta Biologica Szegediensis 46 (3-4): 55-56.

Tester, M. and Venport, R. D. (2003) Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annals Botany 91: 503-527.

Van Kooten, O. and Snel, J. F. H. (1990) The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant strees physiology. Photosynthesis Research 25:147-150.

Wang, W. B., Kim, Y. H., Lee, H. S., Kim, K. Y., Deng, X. P. and Kwak, S. S. (2009) Analysis of antioxidant enzymes activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. Plant Physiology and Biochemistry 47(7): 570-577.

Wu, Y., Hu, Y. and Xu, G. (2008) Interactive effects of potassium and sodium on root growth and expression of K/Na transporter genes in rice. Plant Growth Regulation 57(3): 271-280.

Xu, N., Yrle, K., Miler, P. O. and Cheilch, N. (2004) Co regulation of ear growth and internode elongation in corn. Plant Growth Regulation 44: 231-241.

Archive of SID

www.SID.ir

Effects of sodium chloride and salicylic acid on some photosynthetic parameters and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) plants

Naghme Momeni [1], Mohammad Javad Arvin [2], Gholamreza Khagoei negad [1], Batoul Keramat [3] and Fatemeh Daneshmand [4]*

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran
[2] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran
[3] Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran
[4] Department of Biology, Payame Noor University, 19395-4697 Tehran, I. R. of Iran

Archive of SID

Abstract

Salinity is a common abiotic stress that affects plant growth and development as well as crop production in most parts of the world. To study the effects of salt stress and salicylic acid pretreatments on the growth parameters, photosynthetic pigments, photochemical efficiency of photosystem II including: quantum yield of PS II (Ø PSII), maximum quantum yield of PS II (*F*v/*F*m) and non-photochemical quenching (NPQ) and mineral nutrients (Na^+, K^+, N, P, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe, Zn^{2+}, Mn, Cu and B) of *Zea mays* L. (KSC704) a factoriel experiment was conducted in completely randomized design (salinity in tow levels and salicylic acid in three levels) with 5 replicates. Salt stress reduced growth parameters and photosynthetic pigments (chl a, b and total), carotenoids, quantum yield of PS II (Ø PSII), maximum quantum yield of PS II (*F*v/*F*m) and increased non-photochemical quenching (NPQ). Moreover, salt stress affected mineral elements in the leaves of the plants. Salinity decreased the amounts of K^+ and Cu and increased Na^+, P, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe, Zn^{2+}, Mn and B but the contents of N and Ca^{2+} were not affected by salinity. SA pretreatment increased photosynthetic pigments and carotenoids, quantum yield of PS II (Ø PSII), maximum quantum yield of PS II (*F*v/*F*m) and decreased non-photochemical quenching (NPQ). SA application changed the absorption and translocation of mineral elements in the leaves and specifically decreased Na content. Positive effects of SA pretreatment appeared in reduction of salt stress and improving the plants growth.

Key words: Salt stress, Salicylic acid, Photochemical efficiency of photosystem II, Maize

* Corresponding Author: f.daneshmand@yahoo.com

www.SID.ir