برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک بالنگو (*Lallemantia royleana*)

میهن آزاد، مجید رستمی*، مهدی قبولی و زهرا موحدی

ملایر، دانشگاه ملایر، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۱

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی بالنگو آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح مختلف تنش شوری (صفر، ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی زیمنس بر متر) و دو سطح اسید سالیسیلیک (صفر و ۲۰۰ppm) بودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین برگ، پروتئین محلول، غلظت سدیم و پتاسیم برگ و فعالیت آنزیم‌های پاد اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز معنی‌دار بود. تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a و کلروفیل b داشت درحالی‌که اثر کاربرد اسید سالیسیلیک فقط بر روی کلروفیل b معنی‌دار شد. افزایش شدت تنش شوری تا ۸ دسی زیمنس بر متر باعث شد میزان پرولین گیاه در مقایسه با تیمار شاهد ۱۸۹ درصد افزایش یابد درحالی‌که در همه سطوح تنش شوری کاربرد اسید سالیسیلیک باعث کاهش معنی‌دار میزان پرولین شد و به‌طور میانگین در شرایط مصرف اسید سالیسیلیک میزان پرولین در مقایسه با شرایط عدم مصرف حدود ۸۴ درصد کاهش یافت. بیشترین میزان پروتئین محلول برگ (۰/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در تنش شوری صفر دسی زیمنس بر متر و در شرایط عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار آن (۵۴/ ۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در تنش شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و کاربرد اسید سالیسیلیک مشاهده شد. استفاده از اسید سالیسیلیک در سطوح شوری ۲ تا ۶ دسی زیمنس بر متر باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد ولی در تیمار شاهد و همچنین بالاترین سطح تنش شوری، در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک میزان فعالیت این آنزیم کاهش یافت. در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در شوری ۲ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد، درحالی‌که در سطوح بالاتر تنش میزان فعالیت این آنزیم کاهش یافت. با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش تیمارها بر صفت‌های مورد مطالعه بالنگو می‌توان بیان نمود که میزان سودمندی کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری به شدت تنش بستگی دارد و کاربرد این هورمون با غلظت ۲۰۰ppm در سطوح بالای تنش شوری، به دلیل تشدید اثرات نامطلوب ناشی از املاح، تاثیر منفی بر صفات مورد بررسی دارد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های پاد اکسیدان، پرولین، تنش‌های محیطی، هورمون‌های گیاهی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۵۹۸۲۷۳، پست الکترونیکی: m.rostami@malayeru.ac.ir

مقدمه

تنش شوری اثرات قابل‌توجهی روی بسیاری از صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک اکثر گیاهان دارد و با تأثیر منفی بر رشد و نمو گیاهان عملکرد را بسته به اینکه تنش در چه زمانی بر گیاه وارد شده باشد، تحت تأثیر قرار می‌دهد. گیاهان در شرایط تنش شوری بخش قابل‌توجهی از انرژی خود را صرف مقابله با اثرات نامطلوب تنش می‌کنند بنابراین در این شرایط رشد کاهش یافته و زیست‌توده کمتری تولید می‌شود (۱۳). با این‌حال عوامل متعددی در

تعیین میزان خسارت تنش شوری نقش دارند که ازجمله آن‌ها می‌توان به گونه گیاهی، سن گیاه، نوع و غلظت نمک‌ها و همچنین طول دوره تنش اشاره کرد.

گیاهان از راه‌کارهای مختلفی برای مقابله با اثرات منفی تنش شوری استفاده می‌کنند که ازجمله آن‌ها می‌توان به کنترل فرآیند جذب و انتقال یون‌ها به اندام‌های هوایی، تجمع و خروج انتخابی یون‌ها، جایگزینی ویژه یون‌ها در سلول، سنتز مواد سازگار و بی‌اثر، تغییر در ساختار غشای سلول، تولید آنزیم‌های پاد اکسیدانی و تولید هورمون‌های گیاهی اشاره کرد (۳۷). یکی از هورمون‌های گیاهی مؤثر در کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی بر رشد و نمو گیاهان اسید سالیسیلیک است. نتایج بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که اسید سالیسیلیک در گیاهانی که تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار دارند نقش حفاظتی دارد (۵). گیاهان در پاسخ به تنش‌های محیطی و از جمله تنش شوری ترکیباتی همچون آنزیم‌های پاد اکسیدانی و پرولین تولید می‌کنند که القا و تحریک تولید آن‌ها توسط اسید سالیسیلیک صورت می‌گیرد. این ترکیب شیمیایی در گیاهانی که تحت تنش قرار می‌گیرند، تولید می‌شود و تجمع می‌یابد و سبب افزایش مقاومت به تنش می‌شود (۱۷).

نتایج آزمایش‌ها، روی گیاه درمنه نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک هم در شرایط تنش شوری و هم در شرایط بدون تنش باعث بهبود صفات فیزیولوژیک گیاه شده است (۱). محمدی و سیاری (۱۷) گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری باعث شد که صفات رشدی گیاه کاهو (*Lactuca sativa* L.) به‌صورت معنی‌داری بهبود یابند و از اثرات منفی تنش شوری در گیاه کاسته شود. به عقیده این پژوهشگران افزایش محتوای پرولین گیاه و همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های پاد اکسیدان از مهم‌ترین دلایل کاهش اثرات تنش شوری در این گیاه بوده است. پژوهشگران دیگر (۷) نتایج کاملاً متضادی را به دست آوردند و گزارش کردند که اسید سالیسیلیک نه‌تنها تأثیری در کنترل اثرات تنش شوری روی گیاه تربچه (*Raphanus sativus* L.) نداشت بلکه حتی باعث تشدید اثرات تنش شوری در این گیاه شد. پسندی-پور و همکاران (۵) نیز با مطالعه اثر اسیدسالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) در شرایط تنش شوری گزارش کردند که کاربرد این هورمون با غلظت ۱۰ و ۱۵ میکرومولار در شرایط تنش شوری باعث بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک همچون میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های پاد اکسیدان شد ولی کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت کمتر از ۱۰ میکرو مولار یا بیشتر از ۱۵ میکرومولار باعث تأثیر منفی بر این صفات شد و در واقع شرایط تنش را برای گیاه تشدید کرد.

بالنگو با نام علمی (*Lallemantia royleana* (Benth. یکی از گیاهان دارویی خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است (۳) که بیشتر به علت وجود موسیلاژ در دانه‌های آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، بخش هوایی این جنس مشابه سایر گیاهان تیره نعناعیان دارای مقادیر قابل‌توجهی اسانس است. گیاهان تیره نعناعیان به دلیل انعطاف اکولوژیکی بسیار زیاد نسبت به اقلیم‌های متنوع به‌عنوان یکی از ذخایر ژنتیکی مهم گیاهی محسوب می‌شوند (۲) با این وجود، مطالعات محدودی در رابطه با رشد و نمو گیاه دارویی بالنگو در شرایط تنش انجام شده است. از این رو هدف اصلی این پژوهش بررسی اثر تنش شوری و برهم‌کنش آن با کاربرد اسید سالیسیلیک بر تغییرات صفات فیزیولوژیک گیاه بالنگو مانند میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین برگ، فعالیت آنزیم‌های پاد اکسیدان و جذب سدیم و پتاسیم بود.

مواد و روشها

به منظور بررسی تأثیر همزمان تنش شوری و کاربرد اسید سالیسیلیک بر تعدادی از صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی بالنگو آزمایش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح

کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۳ تکرار در شرایط کنترل شده انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل پنج سطح مختلف شوری (۰، ۲، ۴، ۶، ۸ دسی زیمنس بر متر) و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک (صفر و ۲۰۰ppm) بود. سطوح مختلف شوری با استفاده از کلرید سدیم اعمال شد. اسید سالیسیلیک مورد استفاده از شرکت سیگما تهیه شد و به‌صورت محلول‌پاشی برگی در دو مرحله با فاصله زمانی دوهفته‌ای بعد از اعمال تنش شوری استفاده شد. برای محلول‌پاشی گیاهان شاهد نیز آب معمولی مورد استفاده قرار گرفت.

جهت انجام آزمایش، بذور بالنگو تهیه شده از شرکت پاکان بذر در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و طول ۱۸ سانتی‌متر حاوی خاک و ماسه و کود دامی (با نسبت اختلاط ۲:۱:۱) به‌صورت سطحی کشت گردید. برای سهولت در کشت سطحی بذرها، چند روز قبل از کشت، گلدان‌ها با آب معمولی آبیاری شدند و وقتی رطوبت کمی داشتند خاک سطح گلدان توسط بیلچه نرم گردید و به تعداد ۲۰ عدد بذر در هر گلدان کاشته شد و آبیاری اولیه در همان روز صورت گرفت. تیمارهای مختلف تنش شوری هر ۵ روز یک‌بار تا انتهای فصل رشد بعد از استقرار گیاه صورت گرفت. برای اینکه در هر گلدان تعداد بوته یکسانی وجود داشته باشد در مرحله چهاربرگی تعدادی از گیاهچه‌های ضعیف حذف شدند و در هر گلدان فقط ۵ بوته تا انتهای آزمایش حفظ شد.

رنگیزه‌های برگ به روش اسپکتروفتومتری (۲۲۲۲) اندازه-گیری شد. ۰/۱ گرم از بافت برگ تازه بالنگو توسط ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد تا زمان بیرنگ شدن کامل ساییده شد و سپس نمونه‌ها توسط کاغذ واتمن صاف شدند و میزان رنگیزه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل JENUS UV-1200 در دو طول‌موج ۶۶۳ نانومتر برای سنجش کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای سنجش کلروفیل b اندازه‌گیری شد. اعداد مربوط به جذب‌ها در فرمول‌های پایین صفحه قرار داده شد و مقدار کلروفیل a و کلروفیل b محاسبه گردید.

جهت سنجش پرولین برگ از روش Bates و همکاران (۲۴) استفاده شد. به این منظور ۰/۵ گرم از بافت گیاهی توزین و توسط ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد مخلوط و ساییده شد و به‌صورت همگن درآمد، مخلوط همگن به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس یک میلی‌لیتر عصاره رویی با یک میلی‌لیتر معرف اسید نین هیدرین و یک میلی‌لیتر اسید استیک خالص مخلوط و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خنک شدن نمونه ها، دو میلی‌لیتر تولوئن اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه تکان داده شدند. سپس میزان جذب فاز قرمز رنگ در طول موج ۵۲۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر ثبت گردید و در نهایت غلظت پرولین نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد پرولین محاسبه و گزارش شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان جذب دو عنصر سدیم و پتاسیم روش Hamada و EL-Enany (۲۹۲۹) انتخاب شد و میزان جذب این دو عنصر توسط دستگاه فلیم فتومتر (Flame Photometry) مدل JENWAY pfp.7 و با کمک منحنی استاندارد سدیم و پتاسیم تعیین گردید. برای سنجش میزان آنزیم‌های پاد اکسیدان برگ بالنگو، ابتدا عصاره آنزیمی تهیه شد. برای این کار ۰/۵ گرم از بافت تر گیاه در بافر پتاسیم فسفات ۰/۰۵ مولار (اسیدیته ۷/۵) حاوی پلی‌وینیل پیرولیدین ۱ درصد، EDTA یک میلی‌مولار بر روی یخ ساییده شد.

$$\text{Chla}(^{mg}/_{g}) = \frac{[(12.7\times A663)-(2.6\times A645)]\times 10ml\ Acetone}{100mg\ Leaf\ tissue}$$

$$\text{Chlb}(^{mg}/_{g}) = \frac{[(22.9\times A645)-(4.68\times A663)]\times 10ml\ Acetone}{100mg\ Leaf\ tissue}$$

پس از آن همگنای حاصل با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد و از محلول روشناور جهت سنجش مقدار پروتئین محلول و فعالیت آنزیم‌ها استفاده شد.

پروتئین محلول به روش Bradford (۲۵) و با استفاده از آلبومین سرم گاوی به عنوان استاندارد مورد سنجش قرار گرفت. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با روش Abeles و Biles (۱۸) انجام شد. مخلوط واکنش شامل ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی استخراج شده، ۲۵ میکرولیتر پراکسیدهیدروژن یک میلی‌مولار، ۲۵ میکرولیتر بنزیدین یک میلی‌مولار و ۴۰۰ میکرولیتر بافر استات ۵۰ میلی مولار (اسیدیته ۵)، با حجم کل یک میلی‌لیتر بود. تغییرات جذب به‌وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل JENUS UV-1200 در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و میزان فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول بنزیدین اکسید شده در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین (Unit/ mg protein) محاسبه شد. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با بررسی میزان کاهش پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر صورت گرفت. مخلوط واکنش شامل ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، بافر فسفات پتاسیم (۰/۱ مولار، اسیدیته ۷) و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی مولار، با حجم کل سه میلی‌لیتر بود (۱۹). میزان فعالیت آنزیم برحسب واحد آنزیمی بر میلی-گرم پروتئین محاسبه گردید. نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از نسخه ۲۱ نرم افزار SPSS برای طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین داده‌ها در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) صورت گرفت.

نتایج

رنگیزه‌های فتوسنتزی بالنگو: بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان کلروفیل a (۲/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شوری ۲ دسی زیمنس بر متر و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک مشاهده شد درحالی‌که کمترین مقدار آن (۱/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و در شرایط عدم استفاده از اسید سالیسیلیک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). در شرایط عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک تنش ملایم (۲ دسی زیمنس بر متر) باعث افزایش جزئی و غیر معنی‌دار میزان کلروفیل a شد. به نظر می‌رسد که تأثیر تنش شوری بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی به نوع گونه گیاهی و شدت تنش بستگی دارد و روند ثابتی را نمی‌توان برای همه گیاهان انتظار داشت. مقایسه اثر ساده مربوط به اسید سالیسیلیک نشان داد که با کاربرد این هورمون میزان کلروفیل a کاهش یافت.

بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین بیشترین مقدار کلروفیل b (۱/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر (شاهد) و شرایط عدم کاربرد اسید سالیسیلیک مشاهده شد و کمترین مقدار آن (۰/۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و استفاده از اسیدسالیسیلیک مشاهده شد. کاربرد اسیدسالیسیلیک در این آزمایش باعث کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل b شد (جدول ۲). به‌طور میانگین با افزایش شوری میزان کلروفیل b همانند کلروفیل a کاهش پیدا کرد و از ۱/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار شوری صفر دسی زیمنس بر متر به یک میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر رسید (جدول ۲).

پرولین: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در کلیه سطوح مختلف شوری کاربرد اسید سالیسیلیک باعث کاهش میزان پرولین شده است. بیشترین میزان پرولین ۰/۵۹ میکرو مول بر گرم در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۳). در آزمایش حاضر در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک مقدار پرولین موجود در برگهای گیاه بالنگو در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک) به صورت معنی‌داری کاهش یافت.

پروتئین محلول: بیشترین میزان پروتئین محلول برگ (۰/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تنش شوری صفر دسی زیمنس بر متر و در شرایط عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار آن (۰/۵۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تنش شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و کاربرد اسیدسالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری مقدار پروتئین برگ بالنگو به‌صورت خطی کاهش یافت. بر اساس نتایج به‌دست آمده کاربرد اسید سالیسیلیک فقط در سطوح شوری ۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر توانست باعث افزایش پروتئین محلول گیاه شود و در سایر سطوح شوری مصرف این هورمون باعث کاهش مقدار پروتئین محلول برگ شد.

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر اسید سالیسیلیک، شوری و اثر متقابل آنها بر کلروفیل a گیاه بالنگو (mg/g)

شوری ($dS.m^{-1}$)	اسید سالیسیلیک (ppm)		میانگین شوری
	۰	۲۰۰	
۰	۱/۸۸^{ab}	۱/۹^{ab}	۱/۸۹^{A}
۲	۲/۰۶^{a}	۱/۶۶$^{a-c}$	۱/۸۶^{A}
۴	۱/۶۶$^{a-c}$	۱/۶۸$^{a-c}$	۱/۶۷^{A}
۶	۱/۶۹$^{a-c}$	۱/۵۵$^{a-c}$	۱/۶۲^{AB}
۸	۱/۰۹^{c}	۱/۳۷^{bc}	۱/۲۳^{B}
میانگین اسید سالیسیلیک	۱/۶۸^{A}	۱/۶۳^{A}	

اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک (حروف کوچک مربوط به برهم‌کنش‌ها و حروف بزرگ مربوط به اثرات ساده تیمارها) می‌باشند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند ($P\leq0.05$).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر اسید سالیسیلیک، شوری و اثر متقابل آنها بر کلروفیل b گیاه بالنگو (mg/g)

شوری ($dS.m^{-1}$)	اسید سالیسیلیک (ppm)		میانگین شوری
	۰	۲۰۰	
۰	۱/۹۰^{a}	۱/۰۵$^{b-d}$	۱/۴۸^{A}
۲	۱/۶۶^{a}	۰/۸۵^{cd}	۱/۲۵^{AB}
۴	۱/۶۶^{a}	۰/۸۴^{cd}	۱/۲۵^{AB}
۶	۱/۵۵^{ab}	۰/۷۴^{d}	۱/۱۵^{B}
۸	۱/۳۷$^{a-c}$	۰/۶۳^{d}	۱^{B}
میانگین اسید سالیسیلیک	۱/۶۳^{A}	۰/۸۲^{B}	

اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک (حروف کوچک مربوط به برهم‌کنش‌ها و حروف بزرگ مربوط به اثرات ساده تیمارها) می‌باشند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند ($P\leq0.05$).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اسید سالیسیلیک، شوری و اثر متقابل آنها بر پرولین گیاه بالنگو (µmol/g)

شوری ($dS.m^{-1}$)	اسید سالیسیلیک (ppm)		میانگین شوری
	۰	۲۰۰	
۰	۰/۱۶۷^{d}	۰/۰۴۲^{f}	۰/۱۰۵^{E}
۲	۰/۱۹۱^{d}	۰/۰۵۸^{ef}	۰/۱۲۵^{D}
۴	۰/۲۶۲^{c}	۰/۰۶۶^{ef}	۰/۱۶۴^{C}
۶	۰/۴۳۲^{b}	۰/۰۷۷^{e}	۰/۲۵۵^{B}
۸	۰/۵۹۶^{a}	۰/۰۱۲^{g}	۰/۳۰۴^{A}
میانگین اسید سالیسیلیک	۰/۳۳^{A}	۰/۰۵^{B}	

اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک (حروف کوچک مربوط به برهم‌کنش‌ها و حروف بزرگ مربوط به اثرات ساده تیمارها) می‌باشند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند ($P\leq0.05$).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اسید سالیسیلیک، شوری و اثر متقابل آنها بر پروتئین محلول گیاه بالنگو (mg/g FW)

شوری ($dS.m^{-1}$)	اسید سالیسیلیک (ppm)		میانگین شوری
	۰	۲۰۰	
۰	۰/۹۴^{a}	۰/۸۸^{c}	۰/۹۱^{A}
۲	۰/۸۲^{d}	۰/۹۱^{b}	۰/۸۷^{B}
۴	۰/۸۴^{d}	۰/۸۷^{c}	۰/۸۵^{B}
۶	۰/۷۶^{ef}	۰/۶۸^{g}	۰/۷۲^{C}
۸	۰/۷۴^{f}	۰/۵۴^{h}	۰/۶۴^{D}
میانگین اسید سالیسیلیک	۰/۸۲^{A}	۰/۷۷^{B}	

اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک (حروف کوچک مربوط به برهم‌کنش‌ها و حروف بزرگ مربوط به اثرات ساده تیمارها) می‌باشند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند ($P\leq0.05$).

فعالیت آنزیم‌های پاد اکسیدانی برگ بالنگو: بررسی جدول مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار شوری ۴ دسی زیمنس بر متر و در شرایط مصرف اسید سالیسیلیک مشاهده شد. استفاده از اسید سالیسیلیک در سطوح شوری ۲ تا ۶ دسی زیمنس بر متر باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد ولی در تیمار شاهد و همچنین بالاترین سطح تنش شوری، در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک میزان فعالیت این آنزیم کاهش یافت (جدول ۵). به‌طور میانگین با افزایش شدت تنش شوری تا سطح ۴ دسی زیمنس بر متر فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش و در سطوح بالاتر کاهش یافت.

طبق جدول مقایسه میانگین بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در شوری ۶ دسی زیمنس بر متر و در شرایط عدم کاربرد اسید سالیسیلیک مشاهده شد، در حالی‌که کمترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و استفاده از اسید سالیسیلیک مشاهده شد. بر اساس نتایج مربوط به اثر ساده تیمارها استفاده از اسید سالیسیلیک موجب کاهش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ بالنگو شد (جدول ۶).

غلظت عناصر: بر اساس نتایج بیشترین غلظت یون پتاسیم (۶۷/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک بود و کمترین میزان پتاسیم (۱۳/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شوری ۲ دسی زیمنس بر متر و کاربرد اسیدسالیسیلیک مشاهده شد. در تمام سطوح تنش شوری کاربرد اسید سالسیلیک باعث کاهش غلظت پتاسیم شد ولی در سطوح بالاتر تنش میزان کاهش جذب پتاسیم بیشتر بود (جدول ۷).

بیشترین غلظت یون سدیم (۵۰/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و کاربرد اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار آن (۱۳/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در شوری صفر دسی زیمنس بر متر و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک مشاهده شد. در کلیه سطوح تنش شوری کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش غلظت سدیم در گیاه شد (جدول ۸).

بحث

در آزمایش حاضر تنش شوری ملایم (۲ دسی زیمنس بر متر) باعث شد که میزان کلروفیل a در مقایسه با شاهد افزایش یابد در حالی‌که سطوح بالاتر تنش شوری باعث کاهش میزان این رنگیزه در مقایسه با شاهد شدند. هرچند کاربرد اسید سالیسیلیک باعث شد که میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش یابد ولی میزان کاهش کلروفیل a معنی-

دارنبود. نتایج ربیعی و احسانپور (۱۱) نیز نشان داد که افزایش غلظت نمک تا حد ۱۲۰ میلی‌مولار نه‌تنها تأثیر معنی‌داری بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گوجه وحشی (*Lycopersicon peruvianum* L.) نداشت بلکه تنش شوری ۹۰ میلی مولار باعث افزایش میزان رنگیزه‌ها شد. نتایج آزمایشی که به‌طور هم‌زمان بر روی دو گیاه ذرت (*Zea mays* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) انجام شد نیز نشان داد که تنش شوری در هر دو گیاه باعث افزایش ملایم میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شد درحالی‌که کاربرد اسید سالیسیلیک میزان این رنگیزه‌ها را کاهش داد که با نتایج به‌دست‌آمده در آزمایش حاضر مطابقت دارد (۹).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اسید سالیسیلیک، شوری و اثر متقابل آن‌ها بر فعالیت آنزیم کاتالاز (Unit/mg Protein)

شوری ($dS.m^{-1}$)	اسید سالیسیلیک (ppm)		میانگین شوری
	۰	۲۰۰	
۰	۰/۲۲۴^{fg}	۰/۱۰۷^{g}	۰/۱۶۵^{D}
۲	۰/۵۰۱^{d}	۰/۵۴۳^{d}	۰/۵۲۲^{C}
۴	۰/۸۱۴^{bc}	۰/۹۸۲^{a}	۰/۸۹۸^{A}
۶	۰/۳۱۸^{ef}	۰/۹۴۵^{ab}	۰/۶۳۲^{B}
۸	۰/۶۸۲^{c}	۰/۳۶۵^{e}	۰/۵۲۳^{C}
میانگین اسید سالیسیلیک	۰/۵۰۸^{B}	۰/۵۸۸^{A}	

اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک (حروف کوچک مربوط به برهم‌کنش‌ها و حروف بزرگ مربوط به اثرات ساده تیمارها) می‌باشند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند ($P\leq0.05$).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اسید سالیسیلیک، شوری و اثر متقابل آنها بر پراکسیداز گیاه بالنگو (Unit/mg Protein)

شوری ($dS.m^{-1}$)	اسید سالیسیلیک (ppm)		میانگین شوری
	۰	۲۰۰	
۰	۰/۰۸۶^{bc}	۰/۰۷۱^{c}	۰/۰۷۸^{B}
۲	۰/۰۸۰^{bc}	۰/۰۹۴^{ab}	۰/۰۸۷^{AB}
۴	۰/۰۹۵^{ab}	۰/۰۸۳^{bc}	۰/۰۸۹^{AB}
۶	۰/۱۰۹^{a}	۰/۰۸۸$^{a-c}$	۰/۰۹۸^{A}
۸	۰/۱۰۰^{ab}	۰/۰۷۰^{c}	۰/۰۸۵^{B}
میانگین اسید سالیسیلیک	۰/۰۹۴^{A}	۰/۰۸۱^{B}	

اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک (حروف کوچک مربوط به برهم‌کنش‌ها و حروف بزرگ مربوط به اثرات ساده تیمارها) می‌باشند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند ($P\leq0.05$).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر اسید سالیسیلیک، شوری و اثر متقابل آنها بر غلظت پتاسیم گیاه بالنگو (mg/Kg)

شوری ($dS.m^{-1}$)	اسید سالیسیلیک (ppm)		میانگین شوری
	۰	۲۰۰	
۰	۶۰/۸۸^{c}	۵۲/۷۷^{d}	۵۶/۸۳^{C}
۲	۶۲/۸۶^{bc}	۵۱/۷۷^{d}	۵۷/۳۲^{BC}
۴	۶۴/۹۱^{ab}	۵۲/۹۳^{d}	۵۹/۸۴^{AB}
۶	۶۷/۲۷^{a}	۵۴/۳۹^{d}	۶۰/۱۸^{AB}
۸	۶۷/۶۱^{a}	۵۲/۲۳^{d}	۶۰/۶۷^{A}
میانگین اسید سالیسیلیک	۶۴/۷۱^{A}	۵۲/۸۲^{B}	

اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک (حروف کوچک مربوط به برهم‌کنش‌ها و حروف بزرگ مربوط به اثرات ساده تیمارها) می‌باشند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند ($P\leq0.05$).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر اسید سالیسیلیک، شوری و اثر متقابل آنها بر غلظت سدیم گیاه بالنگو (mg/Kg)

شوری ($dS.m^{-1}$)	اسید سالیسیلیک (ppm)		میانگین شوری
	۰	۲۰۰	
۰	۱۳/۹۲^{ef}	۱۴/۶۶^{f}	۱۴/۲۹^{D}
۲	۱۴/۸۳^{ef}	۱۴/۷۰^{f}	۱۴/۷۷^{D}
۴	۱۵/۹۱^{e}	۲۱/۱۷^{d}	۱۸/۵۴^{C}
۶	۲۵/۳۷^{c}	۲۷/۴۶^{c}	۲۶/۴۲^{B}
۸	۴۲/۲۹^{b}	۵۰/۷۴^{a}	۴۶/۵۱^{A}
میانگین اسید سالیسیلیک	۲۲/۴۷^{B}	۲۵/۷۴^{A}	

اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک (حروف کوچک مربوط به برهم‌کنش‌ها و حروف بزرگ مربوط به اثرات ساده تیمارها) می‌باشند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند ($P\leq0.05$).

گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک روی برگ‌های گیاه کلزا با غلظت ۰/۱ میلی مولار باعث افزایش ۲۰ درصدی کلروفیل در مقایسه با تیمار شاهد شد ولی کاربرد این هورمون با غلظت بیشتر از ۱ میلی مولار باعث کاهش مقدار کلروفیل گیاه شد (۳۰). دانشمند و همکاران (۱۰) نیز گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت یک میلی مولار نه تنها باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری نشد بلکه موجب افزایش نشت یونی و پراکسیداسیون لیپید و همچنین کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی از پارامترهای رشدی شد. این امر بیانگر اثرات منفی کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت زیاد است. به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک تأثیر دوگانه‌ای بر متابولیسم گیاهی دارد و هرچند اسید سالیسیلیک در غلظت‌های اندک خاصیت پادآکسیدانی دارد ولی در غلظت‌های زیاد می‌تواند به صورت متفاوتی عمل کند و حتی ممکن است به دلیل ایجاد تنش اکسیداتیو تاثیر مخربی برگیاه داشته باشد (۷).

موفقیت در کاربرد ترکیبات هورمونی همچون اسید سالیسیلیک به چندین عامل مختلف ازجمله گونه گیاهی، مرحله نموی گیاه، روش کاربرد و غلظت آن بستگی دارد. پژوهشگران دیگر نیز گزارش کرده‌اند که میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تیمار اسید سالیسیلیک کاهش می‌یابد (۳۱). میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت فتوسنتزی گیاهان است زیرا به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک مؤثر هستند، بااین‌حال تأثیر تنش شوری بر میزان کلروفیل-ها به‌شدت و مدت تنش و نوع گونه گیاهی بستگی دارد (۲۸). در شرایط تنش شوری شدید غلظت کلروفیل در گیاه به دلیل تخریب ساختار کلروپلاست‌ها کاهش‌یافته و به دنبال آن دریافت نوری و فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد. گزارش شده که با افزایش غلظت نمک در گیاه کل محتوای کلروفیل گیاه کاهش می‌یابد (۱۶). یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل این است که در شرایط تنش شوری گلوتامات (که هم در مسیر تولید کلروفیل نقش دارد و هم در مسیر ساخت پرولین) بیشتر صرف ساخت پرولین می‌شود و میزان تولید کلروفیل کاهش یابد (۲۶). علت دیگر آن نیز احتمالاً به دلیل سست شدن اتصال کلروفیل با پروتئین‌های کلروپلاستی، با افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (متلاشی کننده ساختار کلروپلاست) است که در اثر افزایش غلظت یون‌های سمی سدیم و کلر تحت تنش شوری می‌شود (۴).

کاربرد اسید سالیسیلیک مقدار پرولین گیاه بالنگو را در مقایسه با شاهد (بدون اسید سالیسیلیک) کاهش داد که با نتایج خوشبخت و همکاران (۸) مطابقت دارد. سلیمانی اقدم و همکاران (۱۵) نیز با کاربرد سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر روی گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L) گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت یک میلی‌مولار باعث افزایش پرولین در مقایسه با شاهد شد در حالی که استفاده از اسید سالیسیلیک با غلظت دو میلی‌مولار باعث شد میزان پرولین حتی در مقایسه با شاهد نیز کاهش یابد. پژوهشگران دیگر نیز گزارش کردند که تیمار گیاهچه‌های گندم با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری موجب کاهش پرولین شد و این کاهش در تجمع پرولین را با آنزیم‌های چرخه بیوسنتز پرولین و یا تنظیم آنزیم‌های کاهش‌دهنده پرولین مرتبط دانستند (۳۶). اسکندری زنجانی و همکاران (۱) نیز با مطالعه اثر کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش بر روی گیاه درمنه (*Artemisia annua* L.) گزارش کردند که کاربرد این هورمون باعث کاهش پرولین در گیاه شد. به عقیده این پژوهشگران اسید سالیسیلیک از طریق تولید ترکیبات پاد اکسیدان فنولیک به‌طور مستقیم باعث از بین رفتن رادیکال‌های آزاد و کاهش اثرات تنش شده و به همین دلیل میزان تجمع پرولین کاهش می‌یابد. تغییر محتوای پرولین یکی از رایج‌ترین واکنش‌های گیاهان در شرایط تنش‌های اسمزی است که می‌تواند باعث بهبود مقاومت گیاه در شرایط تنش شود (۲۱). پرولین علاوه بر نقش پاد اکسیدانی در حفاظت از غشاء سلول می‌تواند نقش حفاظتی را برای پروتئین‌ها و آنزیم‌ها در شرایط وقوع تنش داشته باشد. تجمع پرولین به‌عنوان یک ترکیب اسمزی سازگار در بافت‌های گیاهان تحت تنش (با تجمع در سیتوپلاسم سلول ها از طریق کاهش پتانسیل اسمزی درون‌سلولی، تجمع نمک در واکوئل را تنظیم می‌کند) می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه و کاهش جذب یون-های سمی برای گیاهان را فراهم آورد.

در آزمایش حاضر با افزایش شدت تنش شوری مقدار پروتئین برگ بالنگو به‌صورت خطی کاهش یافت که این نتیجه با یافته‌های سایر پژوهشگران (۲۰) مطابقت دارد. رحیمی تشی و نیکنام (۱۲) نیز گزارش کردند که با افزایش شدت تنش شوری محتوای پروتئین برگ در دو رقم گندم کاهش یافت ولی پیش تیمار بذر (رقم مقاوم به شوری) با اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان پروتئین محلول در شرایط تنش شوری و همچنین تیمار شاهد شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده کاربرد اسید سالیسیلیک فقط در سطوح شوری ۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر توانست باعث افزایش پروتئین محلول گیاه شود و در سایر سطوح شوری مصرف این هورمون باعث کاهش مقدار پروتئین محلول برگ شد. این کاهش می‌تواند به دلایل مختلف همچون افزایش سرعت تجزیه پروتئین‌ها، کاهش ساخت پروتئین، کاهش در اسیدهای آمینه و یا تغییر ساختار آنزیم‌های درگیر در سنتز پروتئین باشد (۳۴). با توجه به کاهش میزان پروتئین در اثر تیمار با اسید سالیسیلیک در این گیاه به نظر می‌رسد در غلظت به‌کاررفته برای محلول‌پاشی، تخریب پروتئین‌ها تشدید شده است. نتایج تحقیق دیگری نیز نشان داده است که محتوای پروتئین محلول و آزاد در اندام هوایی و ریشه گیاهچه جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش شوری و اسید سالیسیلیک کاهش‌یافته است (۲۷).

در این آزمایش با افزایش شدت تنش شوری تا سطح ۴ دسی زیمنس بر متر فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش و در سطوح بالاتر کاهش یافت. نتایج رضوی زاده و محققیان (۱۴) نیز نشان داد که با افزایش غلظت کلرید سدیم تا ۱۲۰ میلی مولار میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهچه آویشن افزایش یافت ولی با افزایش غلظت نمک تا مرز ۱۵۰ میلی مولار میزان فعالیت این آنزیم به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. در طی تنش آنزیم‌های پاد اکسیدانی گیاهان از قبیل (کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و پلی فنل اکسیداز) فعال می‌شوند که این ترکیبات، گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) را تجزیه می‌کنند و در نتیجه ظرفیت پاد

اکسیدانی گیاهان با تحمل تنش در گیاهان، رابطه مستقیم دارند (۳۲). اشرف و علی (۲۳) نیز گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های پاد اکسیدانی مثل کاتالاز و پراکسیداز در برگ‌های کلزا تحت شرایط شوری افزایش می‌یابد. افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های پاد اکسیدان گیاه جو در شرایط تنش شوری و اعمال تیمار اسید سالیسیلیک نیز گزارش‌شده است (۲۷). هرچند افزایش فعالیت آنزیم‌های پاد اکسیدان، به عنوان راهکاری برای تحمل گیاه به تنش-های محیطی شناخته شده است با این وجود بین افزایش شدت تنش شوری و افزایش فعالیت آنزیم‌های پاد اکسیدان الزاماً یک رابطه خطی برقرار نیست و همانگونه که نتایج این آزمایش نشان داد بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تنش شوری معادل ۴ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد و با افزایش شدت تنش در سطوح بالاتر به‌تدریج فعالیت این آنزیم کاهش یافت. برای آنزیم پراکسیداز نیز شرایط تقریباً مشابهی وجود داشت و با افزایش شدت تنش تا سطح ۶ دسی زیمنس بر متر میزان فعالیت این آنزیم افزایش و پس از آن کاهش یافت. پژوهشگران دیگر نیز گزارش کردند که با افزایش شدت تنش شوری تا ۱۰۰ میلی‌مول، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز افزایش یافت ولی در سطوح بالاتر تنش شوری فعالیت این آنزیم‌ها به‌صورت معنی‌داری کاهش نشان داده است (۵).

تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش میزان جذب دو عنصر پتاسیم و سدیم را به صورت معنی‌داری تغییر دادند. در تمام سطوح تنش شوری کاربرد اسید سالسیلیک باعث کاهش غلظت پتاسیم شد ولی در سطوح بالاتر تنش میزان کاهش جذب پتاسیم بیشتر بود. از مهمترین دلایل کاهش غلظت پتاسیم در شرایط کاربرد اسید سالیسیلیک این است که با کاربرد این هورمون میزان جذب سدیم افزایش یافته است و رقابت به زیان یون پتاسیم تمام شده است. علاوه بر این سدیم با ورود به فضای آپوپلاستی جایگزین کلسیم شده و به دلیل دپلاریزه کردن غشای سلول موجب اختلال در جذب انتخابی سایر یون‌ها از جمله پتاسیم می‌شود (۳۳).

افزایش معنی‌دار پتاسیم در شرایط تنش شوری بیانگر نقش این یون در کاهش پتانسیل اسمزی در گیاه است. همچنین یون پتاسیم در باز و بسته شدن روزنه‌ها و حفظ تعادل یونی نقش دارد. گزارش‌شده است که افزایش غلظت پتاسیم می‌تواند نقش مهمی در افزایش هدایت روزنه‌ای داشته باشد (۳۵). افزایش یون پتاسیم در برگ گیاه تحت تنش ممکن است ناشی از افزایش جذب همراه با کاهش انتقال یون به بخش‌های مختلف باشد. بررسی غلظت یون پتاسیم در شرایط تنش شوری اهمیت زیادی دارد زیرا یون پتاسیم به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی در حفظ پتانسیل اسمزی گیاه نقش مهمی دارد و وجود آن در حفظ آب گیاه ضروری است. وجود پتاسیم در گیاه بیانگر بالا بودن مقاومت به شوری است، برای ارقام متحمل این توانایی وجود دارد که با تبادل بین یون‌های سدیم و پتاسیم توانایی خود را در برابر تنش شوری افزایش دهند.

ثابت‌شده است که شوری سبب افزایش جذب سدیم و کلر به وسیله ریشه و انتقال به اندام هوایی می‌شود به‌طوری‌که افزایش بیش از حد سدیم در سیتوپلاسم، فعالیت‌های آنزیمی، یکپارچگی ساختار و عمل غشاهای سلول را دچار اختلال می‌کند و با افزایش بازدارندگی نوری فتوسنتز بر ناحیه در حال توسعه پهنک برگ که در معرض تابش نور است، پیری برگ را شدت بخشیده و موجب تسریع ریزش آن می‌گردد (۶). در آزمایش حاضر کاربرد اسید سالیسیلیک باعث شد که میزان جذب سدیم در گیاه افزایش یابد. به نظر می‌رسد که در شرایط کاربرد اسید سالسیلیک گیاه ممانعت کمتری برای جذب و انتقال یون سدیم اعمال کرده است و به همین دلیل اثرات مرتبط با این یون را گیاهی تقویت کرده است. نتایج آزمایش انجام شده بر روی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری نشان داد که با کاربرد اسیدسالیسیلیک مقدار سدیم در برگ‌ها افزایش یافت و این

افزایش جذب سدیم به عنوان پاسخی مفید برای بهبود فرایند تنظیم اسمزی در گیاه معرفی شد (۳۷).

نتیجه گیری کلی

تنش شوری بر روی بیشتر صفات مورد بررسی در این مطالعه از جمله میزان پروتئین، کلروفیل a و کلروفیل b اثر منفی و کاهشی داشت در حالی‌که صفات دیگری همچون میزان پرولین گیاه و غلظت سدیم در برگ‌های گیاه در شرایط تنش افزایش یافتند. واکنش آنزیم‌های آنتی اکسیدان گیاه بالنگو به تغییرات غلظت نمک در محیط ریشه به‌صورت خطی نبود و در بالاترین سطح تنش شوری میزان فعالیت این دو آنزیم کاهش یافت. کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت ۲۰۰ppm بر بیشتر صفات موردمطالعه همچون میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز، پروتئین محلول، پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی و غلظت پتاسیم برگ تأثیر منفی داشت، بنابراین به نظر می‌رسد که میزان سودمندی این هورمون به گونه گیاهی و غلظت مصرفی و برهم‌کنش با عامل تنش بستگی دارد.

منابع

۱. اسکندری زنجانی، ک.، شیرانی راد، ا.، مرادی اقدم، ا.، و طاهرخانی، ت. ۱۳۹۱. اثر کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه دارویی درمنه (*Artemisia annua* L.). مجله اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۲۴ (۴): ۴۲۸-۴۱۵.

۲. اکبرزاده، م. (۱۳۸۲). گیاهان دارویی از خانواده نعناییان در منطقه مازندران. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۱۹(۱): ۴۵-۳۶.

۳. امیدبیگی، ر. (۱۳۸۴). تولید و فرآوری گیاهان دارویی. مشهد. انتشارات آستان قدس رضوی.

۴. انفراد، ا.، پوستینی، ک.، مجنون حسینی، ن.، طالعی، ع.ر.، و خواجه احمد عطاری، و. (۱۳۸۲). واکنش های فیزیولوژیکی ارقام کلزا (*Brassica napus*) در مرحله رشد رویشی نسبت به تنش شوری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷ (۴): ۱۱۲-۱۰۳.

۵. پسندی‌پور، ا.، فرح‌بخش، ح.، صفاری، م.، و کرامت، ب. ۱۳۹۲. اثر سالیسیلیک اسید بر برخی واکنشهای فیزیولوژیک گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) تحت تنش شوری. نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۷ (۲): ۲۲۸-۲۱۵.

۶. پوستینی، ک.، و سی وسه مرده، ع. (۱۳۸۰). نسبت K^+/Na^+ و انتقال انتخابی یونها در واکنش به تنش شوری در گندم. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۲(۳): ۵۳۲-۵۲۵.

۷. حسین‌زاد بهبود، ع.، چاپارزاده، ن.، و دیلمقانی، ک. ۱۳۹۳. اثر سالیسیلیک اسید بر پارامترهای رشد، اسمولیت‌ها و پتانسیل اسمزی در گیاه تربچه (*Raphanus sativus* L.) تحت تنش شوری. مجله پژوهشهای گیاهی، ۲۷ (۱): ۴۰-۳۲.

۸. خوشبخت، د.، رامین. ع.ا.، و باغبان‌ها، م.ر. (۱۳۹۱). امکان کاهش اثر تنش شوری در گیاه لوبیا با استفاده از اسید سالیسیلیک. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۲ (۵): ۱۹۹-۱۸۹.

۹. داش‌اقا، م.، مظاهری تیرانی، م.، و قاسمی خوراسگانی، م. ۱۳۹۳. اثر سالیسیلیک اسید بر برخی پارامترهای رشد و بیوشیمیایی گیاه گندم و ذرت تحت تنش شوری در شرایط آزمایشگاهی. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۱: ۲۱۵-۲۰۷.

۱۰. دانشمند، ف.، آروین، م. ج.، و کرامت، ب. ۱۳۹۳. تغییرات ایجاد شده توسط سالیسیلیک اسید در گیاهان گلرنگ *Carthamus tinctorius* L. تحت تنش شوری. مجله پژوهشهای گیاهی، ۲۷ (۲): ۲۱۵-۲۰۴.

۱۱. ربیعی، ف.، و احسانپور، ع. ا. ۱۳۹۴. اثر تنش شوری بر الگوی پروتئینی و برخی از شاخص های فیزیولوژی گیاه *Lycopersicon peruvianum* L. در شیشه. مجله زیست شناسی گیاهی ایران، ۲۳: ۲۸-۱۵.

۱۲. رحیمی تشی، ط.، و نیکنام، و. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر پیش تیمار سالیسیلیک اسید بر برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم (*Triticum aestivum* L.) به تنش شوری. مجله پژوهشهای گیاهی، ۲۸ (۲): ۳۰۶-۲۹۷.

۱۳. رستمی، م.، محمدپرست، ب.، و گلفام، ر. (۱۳۹۴). اثر سطوح مختلف تنش شوری بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه

زعفران (*Crocus sativus* L.). نشریه زراعت و فناوری زعفران. ۳ (۳): ۱۹۳-۱۷۹.

۱۴. رضوی‌زاده، ر.، و محققیان، ن. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و متابولیتهای ثانویه گیاهچه‌های آویشن (*Thymus vulgaris*) تحت تنش شوری در شرایط کشت درون شیشه. مجله زیست شناسی گیاهی ایران، ۲۶: ۵۸-۴۱.

۱۵. سلیمانی اقدم، م.، اصغری، م. ر.، خرسندی، ا.، مرادبیگی، ه.، محمدخانی، ن.، مهیجی، م.، و حسن‌پور اقدم، م. ب. ۱۳۹۲. سازوکارهای احتمالی تاثیر اسید سالیسیلیک بر کاهش سرمازدگی پس از برداشت میوه گوجه فرنگی. مجله پژوهشهای گیاهی، ۲۷ (۲): ۲۲۷-۲۱۶.

۱۶. عسگری، م.، امینی، ف.، و جمالی، ف. (۱۳۹۳). اثرات روی بر رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، پروتئین و کربوهیدرات‌های گوجه فرنگی تحت تنش شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۳ (۲): ۴۵-۵۷.

۱۷. محمدی، م.، و سیاری، م. ۱۳۹۳. اثر اسید سالیسیلیک بر ویژگی-های رشدی، محتوی پرولین و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه کاهو در شرایط شوری. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۳: ۱۲-۱.

18. Abeles, F., Biles, C. (1991). Characterization of Peroxidases in Lignifying Peach Fruit Endocarp. Plant Physiology 95: 269-273.

19. Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. Methods Enzymology 105: 121-126.

20. Agastian, P., Kingsley, S.J. and Vivekanandan, M. (2000). Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. Photosynthetica 38: 287-290.

21. Akhkha, A., Boutra, T., and Alhejely, A. (2011). The rates of photosynthesis, chlorophyll content, dark respiration, proline and abscicic acid (ABA) in wheat (*Triticum durum*) under water deficit conditions. International Journal of Agriculture and Biology 13: 215-221.

22. Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in Beta vulgaris, Plant Physiology 24: 150-151.

23. Ashraf, M. and Ali, Q. (2008). Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany 63: 266-273.

24. Bates, L.S., Waldern, R.P., and Tear, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 207-207.

25. Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248- 254.

26. Bybordi, A., Tabatabaei, S.J., and Ahmadev, A. (2010). Effect of salinity on the growth and peroxidase and IAA oxidase activities in canola. Journal of Food, Agriculture and Environment 8(1): 109-112.

27. El-Tayeb, M.A. (2005). Response of barley Gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation 45: 215-225.

28. Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Chaïbi, W., and Zarrouk, M. (2009). Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Scientia Horticulturae 119: 257-263.

29. Hamada, A.M., and EL-Enany, A.E. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. Biologia Plantarum 36: 75- 81.

30. Hayat, S., Ali, B. and Ahmad, A. (2007). Salicylic acid: biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. In Salicylic acid: A plant hormone (pp. 1-14). Springer Netherlands.

31. Liusa, L., Penuelas, J., and Munne Bosch, S. (2005). Sustained accumulation of methyl Salicylate alters antioxidant protection and reduces tolerance of holm oak to heat stress. Physiology Plantarum 124: 353-361.

32. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science 7: 405-410.

33. Molassiotis, A. N., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Kofidis, G., Diamantidis, G. and Therios, E. (2006). Antioxidant and anatomical responses in shoot culture of the apple rootstock MM 106 treated with NaCl, KCl, mannitol or sorbitol. Biologia Plantarum 50 :331-338.

34. Muthukumarasamy, M., Dutta Gupta, S., and Panneerselvam, R. (2000). Influence of triadimefon on the metabolism of NaCl stressed radish. Biologia Plantarum 43: 67-72.

35. Patakas, A., Nikolaou, N., Zioziou, E., Radoglou, K., and Noitsakis, B. (2002). The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. Journal of Plant Science 163: 361-367.

36. 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 29: 314- 319.

37. 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: 55-56.

Interaction of salinity and salicylic acid on physiological characteristics of *Lallemantia royleana*

Azad M., Rostami M., Ghabooli M. and Movahhedi Z.

Agronomy and Plant Breeding Dept., Malayer University, Malayer, I.R. of Iran

Abstract

In order to study the effects of different levels of salinity and salicylic acid on physiological parameters of Balangu (*Lallemantia royleana* Benth.) a factorial experiment was conducted based on completely randomized design (CRD) with five treatments and three replications. Two experimental factors were included five different salinity levels (0, 2, 4, 6, 8 dS/m) and two different concentrations of salicylic acid (0 and 200 ppm). Based on results, the interaction of treatments on proline of leaves, photosynthetic pigments, protein content, the concentration of Na and K in leaves and also the activity of catalase and proxidase enzymes activity were significant. According to the results by increasing the salinity stress, the proline content increased 189% compared with control treatment, whereas application of salisilic acid decreased the proline content about 84%. The highest amounts of protein of leaves observed in control treatment without application of salisilic acid. Application of salicylic acid resulted in higher activity of catalas in salinity levels of 2-6 dS/m but in 8 dS/m, catalas activity decreased significantly. Salicylic acid application also increased the activity of proxidas in salinity level of 2 dS/m, but in higher levels of salinity the activity of proxidase decreased. In general, it could be conclude that in higher levels of salinity, application of salisilic acid because of increasing undesirable effects of salts, negatively affected the studied parameters.

Key words: Antioxidant enzymes, environmental stress, plant hormones, proline