مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر صفات رشدی و غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش شوری

حدیث زارع منش

گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۱/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۸/۰۳)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر صفات رشدی و غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش شوری، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه پیام‌نور لرستان در سال ۱۳۹۹ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی، تنش شوری در سه سطح (صفر، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سه سطح (صفر، ۰/۵ و ۲ میکرومولار) بود. بیشترین میانگین ارتفاع بوته (۳۲/۵۶ سانتی‌متر)، طول ریشه (۲۲/۰۲ سانتی‌متر)، وزن تر اندام هوایی (۵/۸۹ گرم در بوته)، وزن خشک اندام هوایی (۲ گرم در بوته)، وزن خشک ریشه (۰/۸۷ گرم در بوته) و محتوی پتاسیم اندام هوایی (۱۶/۳۹ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در شرایط شاهد (بدون شوری) بود که تحت شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب ۳۲، ۲۱، ۱۹، ۱۷، ۳۱، ۲۳ و ۷۹ درصد کاهش یافتند. در مقابل کاربرد هورمون براسینواستروئید به ویژه در سطح ۲ میکرومولار سبب افزایش میانگین ارتفاع بوته (۳۰/۴۶ سانتی‌متر)، طول ریشه (۲۱/۷ سانتی‌متر)، وزن تر (۵/۹۵ گرم در بوته) و خشک (۲/۰۵ گرم در بوته) اندام هوایی و محتوی پتاسیم (۱۰/۶۳ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) اندام هوایی شد. نتایج اثرات متقابل فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی نشان داد که با افزایش شدت شوری، محتوی سدیم به طور معنی‌داری افزایش (محتوی سدیم در تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و بدون محلول‌پاشی برابر با ۱۰/۹۳ میلی‌گرم در گرم ماده خشک بود) و به تبع آن نسبت پتاسیم به سدیم (میانگین این صفت در تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و بدون محلول‌پاشی برابر با ۰/۲ بود) شدیداً کاهش یافت؛ هر چند که کاربرد محلول‌پاشی براسینواستروئید تا حدی میزان جذب سدیم را کاهش داد (محتوی سدیم در تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و سطح ۲ میکرومولار محلول‌پاشی برابر با ۶/۵۶ میلی‌گرم در گرم ماده خشک بود). به‌طورکلی، شوری با اختلال در میزان جذب پتاسیم و کاهش شدید نسبت پتاسیم به سدیم گیاه سبب کاهش صفات رشدی مورد مطالعه و محلول‌پاشی براسینواستروئید سبب بهبود افزایش وزن تر و خشک مرزه شد.

کلمات کلیدی: تنش‌های غیرزیستی، براسینواستروئید، مرزه، هورمون‌های رشدی، عناصر غذایی

مقدمه

مرزه تابستانه با نام علمی *Satureja hortensis* L. به عنوان گیاهی علفی و یکساله، یکی از مهمترین گیاهان متعلق به

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Hadis_zaremanesh@pnu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]

خانواده نعناعیان است که از این جنس، تاکنون پانزده گونه در ایران شناسایی شده است که سه گونه آن انحصاراً بومی ایران هستند (Jamzad, 2009؛ بابالار و همکاران، ۱۳۹۵). برگ‌ها و سرشاخه گلدار مرزه تابستانه به واسطه خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و اثرات درمانی ویژه از جمله ضدنفخ، ضددل درد، ضدانگل، مقوی معده، محرک، خلط‌آور و غیره اهمیت ویژه‌ای در صنایع داروسازی و غذایی یافته است (Yazdanparast and Shahriyary, 2008). این گیاه دارویی می‌تواند با توجه به کاربردهای وسیع، به صورت زراعی مورد کشت قرار گیرد. با این وجود، مرزه تابستانه نیز همانند بسیاری از گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی نظیر تنش شوری واکنش نشان می‌دهد. در این راستا برخی از مطالعاتی که بر روی مرزه تابستانی انجام شده است حاکی از حساسیت این گونه دارویی با ارزش نسبت به تنش شوری است. در این راستا، نتایج حاصل از پژوهش‌های قبلی نشان دادند که شوری سبب کاهش برخی صفات مورفولوژیک گیاه مرزه گردید (Mehdizadeh *et al.*, 2019). محققان در بررسی خصوصیات رشدی و نسبت پتاسیم به سدیم مرزه تابستانه تحت تنش کلرید سدیم (سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار) گزارش دادند که شوری با اختلال در میزان جذب پتاسیم و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم گیاه سبب کاهش صفات مورد مطالعه از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی و به تبع آن عملکرد ماده خشک مرزه تابستانه شد. در واقع تنش شوری ابتدا از طریق ایجاد تنش اسمزی سبب کاهش جذب آب توسط گیاه و نهایتاً تنش خشکی فیزیولوژیک شده و در ادامه با ورود املاح به درون سلول‌های گیاه و اختلال در سیستم‌های غشایی و آنزیمی سبب سمیت یونی می‌گردد (Munns and Tester, 2008). از پیامدهای قرارگیری گیاه در معرض اثرات اسمزی و سمیت یونی املاح، می‌توان به ایجاد تغییرات فیزیولوژیک ازجمله بسته شدن روزنه‌های برگ، شوک بیش از حد اسمزی، کاهش رشد سلول، کاهش میزان فتوسنتز و همچنین بهم خوردن تعادل مواد غذایی و غلظت بالای یون‌های سمی اشاره نمود (Zarehmanesh *et al.*, 2020). هم راستا با این نتایج، مطالعه Zarehmanesh و همکاران (۲۰۲۰) نیز حاکی از تأثیرپذیری معنی‌دار ماده خشک تولیدی مرزه خوزستانی از فاکتورهای آزمایشی بود؛ به‌طوریکه تنش شوری در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار بیشترین کاهش ماده خشک (۱۶ درصد کاهش نسبت به شرایط شاهد) تولیدی این گیاه را سبب شد. حال با توجه به این محدودیت‌ها، استفاده از تکنیک‌هایی جهت کاهش اثرات نامطلوب شوری، می‌تواند نقش به سزایی در بهبود عملکرد کمی و کیفی این گیاه با ارزش داشته باشد. در این راستا، برای کاهش اثرات منفی تنش شوری می‌توان از محلول‌پاشی هورمون‌های گیاهی بهره گرفت. در این میان، براسینواستروئیدها، به عنوان گروه مهمی از هورمون‌های استروئیدی، می‌توانند با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و هومئوستازی یونی به افزایش تحمل گیاهان کمک شایانی نمایند (Krishna, 2003). براسینوستروئید از مشتقات آلفا کولستان (α- cholestan) بوده و از مسیر موالانات در گیاه سنتز می شوند (Khripach *et al.*, 1998). این ترکیبات در اکثر قسمت‌های گیاه یافت می‌شوند و بیشترین میزان آنها در اندام‌های زایشی قرار دارد. امروزه ساختمان و عملکرد ۵۹ براسینواستروئید (۵۴ عدد به صورت آزاد و ۵ هم‌یوغ با اسیدهای چرب و قندها) از گیاهان مختلف استخراج و شناسایی شده است (Gholami, 2018). این ترکیبات با تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه، پتانسیلی قوی را در تعدیل بسیاری از تنش‌ها دارند (Anwar *et al.*, 2018). در این راستا محققان گزارش دادند که گیاهان با افزایش رشد ساقه و ریشه واکنش‌های بسیار سریعی را در پاسخ به کاربرد براسینواستروئیدها نشان دادند (Hong *et al.*, 2002). همچنین تحقیقات نشان داده است که براسینواستروئیدها به واسطه تأثیر مثبت بر انبساط سلولی ارتفاع گیاه را افزایش دادند (Zhiponova *et al.*, 2013). با این وجود تحقیقات نشان داده است که استفاده از براسینواستروئیدها در غلظت‌های بسیار پایین به طور قابل توجهی رشد گیاه را افزایش می‌دهد، در حالیکه سطوح بالاتر تأثیرات نامطلوبی بر رشد و پارامترهای مربوط به رشد در مراحل اولیه دارد (Choudhary *et al.*,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]

جدول ۱- تجزیه خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی ds/m	درصد ماده آلی	وزن مخصوص ظاهری	ظرفیت تبادل کاتیونی
شنی- رسی- لومی	۷/۱۵	۰/۴۱	۱/۸۰	۱/۲۲	۱۱/۴۰

2012). لذا بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر سطوح محلول‌پاشی براسینواستروئید بر صفات رشدی و فیزیولوژیک مرزه تابستانه تحت تأثیر سطوح شوری بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر صفات رشدی و غلظت یون‌های سدیم پتاسیم گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*) تحت تنش شوری، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه پیام‌نور لرستان در سال ۱۳۹۹ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش شوری در سه سطح (صفر، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب معادل صفر، ۳/۵ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر) و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سه سطح (صفر، ۰/۵ و ۲ میکرومولار) بود. مخلوط خاک مورد استفاده در گلدان‌های آزمایشی شامل خاک زراعی، ماسه و کود گوسفندی به ترتیب با نسبت ۲: ۱: ۰/۵، بود که بعد از مخلوط کردن کامل آن‌ها با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفت. گلدان‌ها از نوع پلاستیکی چهار کیلوگرمی (از جنس پلی‌اتیلن، با قطر ۲۱ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر)، بود. خصوصیات خاک گلدان مورد استفاده پیش از آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جهت اجرای این آزمایش، بذر مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*)، از شرکت پاکان بذر اصفهان، نمک کلرید سدیم Merck آلمان از شرکت برنا طب و هورمون براسینواستروئید مربوط به شرکت سیگما تهیه گردید.

اعمال تیمارهای آزمایشی، تنش شوری: جهت اعمال سطوح شوری مورد نظر، آبیاری با آب شور حاصل از نمک کلرید سدیم (NaCl) در مرحله ۴-۶ برگی هر سه روز یکبار انجام شد و آبشویی گلدان‌ها به منظور جلوگیری از تجمع نمک هر ۱۴ روز یکبار در هر تیمار انجام شد.

تیمار محلول‌پاشی: محلول‌پاشی برگی هورمون براسینواستروئید مجموعاً در دو مرحله صورت گرفت. مرحله اول در زمان رشد رویشی و دو هفته پس از اعمال تنش انجام شد. مرحله دوم محلول‌پاشی در ابتدای ورود گیاهان به فاز زایشی و با مشاهده اولین غنچه‌های گل (شروع غنچه‌دهی) انجام شد.

گیاهان در مرحله گلدهی برداشت شدند و خصوصیات رشدی آنها بررسی شدند. در مرحله گلدهی کامل ابتدا از هر تیمار سه بوته به‌طور تصادفی انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از جداسازی ریشه و ساقه بلافاصله وزن‌تر آن‌ها با کمک ترازوی حساس دیجیتال با دقت یک‌هزارم (AND مدل GF600) اندازه‌گیری شد. سپس در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد و مجدداً توسط ترازوی دقیق توزین و به‌عنوان شاخص وزن خشک قسمت‌های مختلف گیاه در نظر گرفته شدند.

نشت الکترولیت: جهت تعیین نشت الکترولیت از روش Lutts و همکاران (۱۹۹۶) استفاده شد. ابتدا میزان مساوی از برگ‌ها در هر تکرار پس از شستشو با آب دو بار تقطیر جهت حذف آلودگی‌های احتمالی، درون لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل منتقل شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه روی شیکر قرار داده شدند و پس از آن هدایت الکتریکی اولیه (EC1) آنها توسط دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (ECمتر مدل AZ 86503) ارزیابی شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو شدند و پس از خنک شدن لوله‌ها هدایت الکتریکی ثانویه (EC2) اندازه‌گیری شد. در نهایت درصد نشت یونی از رابطه زیر بدست آمد.

$$EC\% = (EC1/EC2)\times 100$$

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]

محتوی عناصر سدیم و پتاسیم: جهت سنجش عناصر سدیم و پتاسیم گیاه از روش جذب اتمی استفاده شد. بدین جهت ۰/۵ گرم از نمونه گیاهی خشک در ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ حل نموده و سوسپانسیون حاصل به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا نمونه به خوبی در اسید حل شود. در پایان، محلول‌ها با آب دیونیزه به حجم رسیده و مقدار جذب آنها با دستگاه جذب اتمی مدل AA FS 240 ساخت کشور آمریکا خوانده شده و مقدار عناصر تعیین شد (White, 1976).

سرعت فتوسنتز: در مرحله‌ی گلدهی، سرعت فتوسنتز توسط دستگاه سنجش تبادلات گازی (Gas exchange analyzer, LCA4, ADC, England) اندازه‌گیری شد.

سنجش محتوای پراکسید هیدروژن: مقدار پراکسید هیدروژن براساس واکنش پراکسید هیدروژن با یدید پتاسیم (KI) تعیین شد (Alexieva *et al*., 2001).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز: فعالیت کاتالاز با روش اسپکتروفتومتری و براساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن در مدت ۳۰ ثانیه در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر و براساس روش Dhindsa و همکاران (۱۹۸۱) محاسبه شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز: فعالیت با روش اسپکتروفتومتری و براساس اکسیداسیون گایاکول در مدت ۱۲۰ ثانیه در طول موج ۴۳۶ نانومتر و براساس روش Dhindsa و همکاران (۱۹۸۱) محاسبه شد.

در نهایت جهت تجزیه واریانس داده‌ها، از نرم‌افزار آماری SAS 9.4، و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که ارتفاع بوته تنها تحت تأثیر اثر اصلی شوری در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). بنابر نتایج مقایسه میانگین سطوح شوری، مشاهده شد که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به شرایط شاهد با میانگین ۳۲/۵۶ سانتی‌متر بود؛ هر چند که با شوری ۴۰ میلی‌مولار اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. در مقابل تحت شوری ۸۰ میلی‌مولار، کمترین میانگین ارتفاع بوته با میانگین ۲۲/۱۷ سانتی‌متر به دست آمد. بر این اساس مشاهده شد که با افزایش شدت شوری، ارتفاع بوته مرزه تابستانه نیز کاهش یافت که این میزان کاهش در سطوح شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار به ترتیب برابر با ۱۳ و ۳۲ درصد بود (جدول ۲). شوری به عنوان یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی به شمار می‌رود که تقریباً تمام مراحل رشد و نمو گیاه را کم و بیش تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحت این شرایط، گیاهان در مقابله با شوری، تغییرات مورفولوژیک بسیاری مانند کاهش ارتفاع گیاه و وزن خشک از خود نشان می‌دهند (Munns and Tester, 2008). در واقع کاهش رشد یک نوع سازگاری برای بقا گیاه تحت تنش است. همچنین کاهش ارتفاع بوته مشاهده شده در این پژوهش، احتمالاً به علت عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و اختصاص بیشتر مواد سنتزشده جهت مقابله با تنش، کوتاه شدن طول دوره‌ی رشد گیاه و نیز مکانیسم‌های فرار از تنش است که منجر به اختلال در توسعه عادی سلول‌ها و در نتیجه کاهش ارتفاع گیاه شده است. هم‌راستا با نتایج حاصل از این پژوهش در بررسی تأثیر تنش شوری بر خصوصیات رشدی پنج توده مرزه تابستانه گزارش شد که سطوح مختلف شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد این گیاه اثر معنی‌داری داشت و منجر به کاهش ارتفاع مرزه شد (رازقندی، ۱۳۹۳).

طول ریشه: اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید تأثیر معنی‌داری به ترتیب در سطح یک و پنج درصد بر طول ریشه مرزه تابستانه داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که تحت تنش شوری، طول ریشه کاهش یافت. بر این اساس مشاهده شد که طول ریشه در شرایط شاهد برابر با ۲۲/۰۵ سانتی‌متر بود که تحت سطوح ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب ۱۳ و ۲۱ درصد کاهش یافت (جدول ۳). کاهش رشد طولی ریشه در بسیاری از گیاهان تحت تنش شوری گزارش شده است. در این راستا Bernstein و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که در گیاه ریحان، افزایش شوری سبب کاهش طول ریشه و ساقه،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی مرزه تابستانه

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	محتوی پتاسیم اندام هوایی
تکرار	۲	۲۹/۱	۲۳/۱	۰/۴۵	۰/۱۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۹۰
شوری	۲	۲۴۶/۴**	۴۸/۱**	۳/۰**	۰/۲۸*	۰/۱۹**	۰/۰۱۶**	۴۰۳**
محلول‌پاشی	۲	۶۴/۵^{ns}	۳۴/۵*	۲/۸۵**	۰/۳۸**	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۳۷/۸**
شوری × محلول‌پاشی	۴	۰/۲۰^{ns}	۱/۰۷^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۲^{ns}	۹/۴۴^{ns}
خطا	۱۶	۱۸/۹۹	۷/۵۱	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۳/۷۲
ضریب تغییرات		۱۵/۷۱	۱۴/۰۳	۶/۹۵	۱۱/۶۰	۱۲/۸۷	۱۵/۳۶	۲۱/۶۹

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ادامه جدول ۲-

منابع تغییر	درجه آزادی	سدیم اندام هوایی	K/NA	نشت الکترولیت	سرعت فتوسنتز	پراکسید هیدروژن	کاتالاز	پراکسیداز
تکرار	۲	۴/۴۲	۶/۱۷	۰/۶۷	۱۸۰	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۹
شوری	۲	۱۲۷**	۱۳۲۳**	۸۲۸**	۵۶۵**	۰/۰۰۱۶**	۰/۰۲۸**	۰/۳۸**
محلول‌پاشی	۲	۱۰/۴۸**	۱۰۴/۷*	۴۸/۱**	۵۳/۰۱**	۰/۰۰۰۳۴**	۰/۰۰۳۴**	۰/۰۳۴**
شوری × محلول‌پاشی	۴	۳/۶۷*	۸۸**	۲۲/۵۹*	۲/۷۰^{ns}	۰/۰۰۰۱۶**	۰/۰۰۱۶**	۰/۰۱۲**
خطا	۱۶	۰/۹۶	۱۷/۹۲	۵/۰۱	۲/۵۵	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات		۲۳/۱۸	۵۱/۰۳	۳/۹۲	۶/۶۱	۸/۰۷	۴/۶۷	۲/۳۳

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی بر صفات مرزه تابستانه

		ارتفاع بوته (cm)	طول ریشه (cm)	وزن تر اندام هوایی (g/plant)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	وزن تر ریشه (g/plant)	وزن خشک ریشه (g/plant)	پتاسیم اندام هوایی (mg/g DM)	سرعت فتوسنتز ($um/m^2.s$)
سطوح شوری (mM NaCL)	۰	۳۲/۵۶^{a}	۲۲/۰۲^{a}	۵/۸۹^{a}	۲^{a}	۰/۸۷^{a}	۰/۳۲^{a}	۱۶/۳۹^{a}	۳/۱۸^{a}
	۴۰	۲۸/۴۸^{a}	۱۹/۱۵^{b}	۵/۵۴^{a}	۱/۸۸^{a}	۰/۸۳^{a}	۰/۳۲^{a}	۶/۸^{b}	۲۴/۶^{b}
	۸۰	۲۲/۱۷^{b}	۱۷/۴۵^{b}	۴/۷۶^{b}	۱/۶۶^{b}	۰/۶^{b}	۰/۲۵^{b}	۳/۴۹^{c}	۱۶/۰^{c}
سطوح محلول‌پاشی (uM Br)	۰	۲۵/۱۱^{b}	۱۷/۹۱^{b}	۴/۸۲^{c}	۱/۶۴^{b}	۰/۷۴^{a}	۰/۲۸^{a}	۶/۶۳^{b}	۲۲/۱^{b}
	۰/۵	۲۷/۶۴^{ab}	۱۸/۹۹^{ab}	۵/۴۲^{b}	۱/۸۵^{ab}	۰/۷۷^{a}	۰/۳^{a}	۹/۴۱^{a}	۲۳/۵^{b}
	۲	۳۰/۴۶^{a}	۲۱/۷۱^{a}	۵/۹۵^{a}	۲/۰۵^{a}	۰/۸^{a}	۰/۳۱^{a}	۱۰/۶۳^{a}	۲۶/۸۵^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]

وزن تر و خشک اندام هوایی و سطح برگ شد. Jamil و همکاران (۲۰۰۶) بیان داشتند که طول ریشه و ساقه مهم‌ترین صفات ارزیابی تنش شوری به شمار می‌روند؛ زیرا ریشه در تماس مستقیم با خاک است و آب را از خاک جذب می‌کند و ساقه آن را به سایر قسمت‌های گیاه می‌رساند. این محققان افزودند که کاهش رشد ریشه و ساقه می‌تواند ناشی از اثرات سمی سدیم و کلر و یا عدم تعادل در جذب عناصر غذایی به وسیله گیاه باشد (Jamil *et al.*, 2006).

در بررسی مقایسه میانگین سطوح محلول‌پاشی براسینواستروئید مشاهده شد که برخلاف تنش شوری، با افزایش سطح کاربرد هورمون براسینواستروئید، طول ریشه به طور معنی‌داری افزایش یافت. بر این اساس مشاهده شد که بیشترین میانگین طول ریشه (۲۱/۷۱ سانتی‌متر) مربوط به سطح ۲ میکرومولار محلول‌پاشی بود که نسبت به شاهد، ۲۱ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۳).

وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس صفات حاکی از تأثیرپذیری وزن تر و خشک اندام هوایی از اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی بود. مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که میانگین وزن تر اندام هوایی در شرایط شاهد برابر با ۵/۸۹ گرم در بوته بود که علی‌رغم کاهش شش درصدی تحت شوری ۴۰ میلی‌مولار نسبت به شرایط شاهد، اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مقابل تحت شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، وزن تر اندام هوایی ۱۹ درصد کاهش و به میانگین ۴/۷۶ گرم در بوته رسید (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثرات اصلی محلول‌پاشی نیز نشان داد با افزایش کاربرد هورمون براسینواستروئید، وزن تر اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به گونه‌ای که کمترین وزن تر اندام هوایی مربوط به شرایط شاهد (۴/۸۲ گرم در بوته) و بیشترین وزن تر مربوط به کاربرد سطح ۲ میکرومولار هورمون براسینواستروئید (۵/۹۵ گرم در بوته) بود که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۳).

در بررسی مقایسه میانگین اثر شوری بر وزن خشک اندام هوایی نیز مشاهده شد که علی‌رغم کاهش وزن خشک اندام هوایی تحت شوری ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به شرایط شاهد، اختلاف آمار معنی‌داری با یکدیگر نداشتند؛ در مقابل تحت شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، وزن خشک اندام هوایی با ۱۷ درصد کاهش به ۱/۶۶ گرم در بوته رسید که اختلاف آماری معنی‌داری با دو سطح دیگر تیماری داشت (جدول ۳). در بررسی مقایسه میانگین اثرات اصلی محلول‌پاشی از نظر وزن خشک اندام هوایی نیز مشخص شد که کاربرد هورمون براسینواستروئید به طور معنی‌داری میانگین وزن خشک بوته را بهبود بخشید به طوریکه سطوح ۰/۵ و ۲ میکرومولار به ترتیب منجر به افزایش ۱۳ و ۲۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به شرایط شاهد شدند (جدول ۳).

کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی در اثر تنش شوری در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است. در این راستا، محققان کاهش وزن خشک اندام هوایی در مزره خوزستانی Zarehmanesh و همکاران (۲۰۲۰) و مرزه تابستانه Mehdizadeh و همکاران (۲۰۱۹) را تحت تنش شوری گزارش دادند که مطابق با نتایج این پژوهش بود. در واقع تحت تنش شوری، به جهت کاهش تورژسانس سلول، بزرگ شدن و تقسیم سلولی مختل شده و رشد گیاه کم می‌شود که نهایتاً کاهش رشد را در پی دارد. این مساله احتمالاً نتیجه اختلال در تعرق، فتوسنتز، فرآیندهای متابولیکی گیاه و غیره است. در واقع شوری منجر به بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش جذب CO_2 می‌شود که این کاهش موجب تأمین ناکافی کربن برای رشد می‌گردد. شوری با کاهش سنتز تحریک کننده‌های رشد گیاه مانند سیتوکینین و افزایش بازدارنده‌های رشد مانند اسید آبسیزیک موجب کاهش رشد گیاه می‌گردد (Ungar, 1991).

تحت این شرایط، یکی از راهکارهای کاهش افت عملکرد محصول در شرایط تنش شوری مدیریت تغذیه گیاه و استفاده از ترکیباتی است که اثرات تنش شوری را تخفیف دهد. براسینواستروئیدها از جمله ترکیباتی هستند که به منظور افزایش تحمل به شوری در گیاهان زراعی مورد استفاده قرار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]

می‌گیرند. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که مصرف براسینواستروئیدها موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز و کاتالاز و افزایش محتوای قند و پروتئین‌های محلول در گیاهان تحت تنش می‌شوند که این مکانیسم‌ها جهت سازگاری و کاهش اثرات مخرب تنش شوری در گیاه به شمار می‌رود (پیراسته انوشه و امام، ۱۳۹۸). Sengupta و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش دادند که محلول‌پاشی براسینولید موجب افزایش رشد اندام هوایی ماش گردید که به افزایش بیوسنتز اکسین و جیبرلین توسط براسینولید نسبت داده شده است. افـــزایش زیست‌توده، سطح برگ، سرعت فتوسنتز، کارایی فتوسیستم دو و افزایش رشد شاخساره و ریشه و افزایش تحمل بـه شوری در گندم نیز بـه براسینواستروئیدها نسبت داده شده است (Shahbaz and Ashraf, 2008).

وزن تر و خشک ریشه: نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیرپذیری این دو صفت، تنها از اثرات اصلی شوری در سطح یک درصد بود (جدول ۲). مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه نشان داد که در هر دو صفت، اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح صفر و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم وجود نداشت؛ در مقابل تحت شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، وزن تر و خشک ریشه به ترتیب ۳۱ و ۲۳ درصد نسبت به شرایط شاهد خود کاهش یافتند و به کمترین مقدار رسید (جدول ۳). افزایش تنش شوری موجب افزایش تنفس گیاه می‌شود زیرا مقدار زیادی از Na^+ که از محلول خارجی وارد سلول‌های ریشه می‌شود، احتمالاً دوباره از طریق ناقل‌های غشای پلاسمایی به بیرون بازگردانده می‌شود (Tester and Davenport, 2003) و این فرآیند احتمالاً انرژی زیادی مصرف می‌کند و کاهش رشد ریشه گیاه را در پی داشته است.

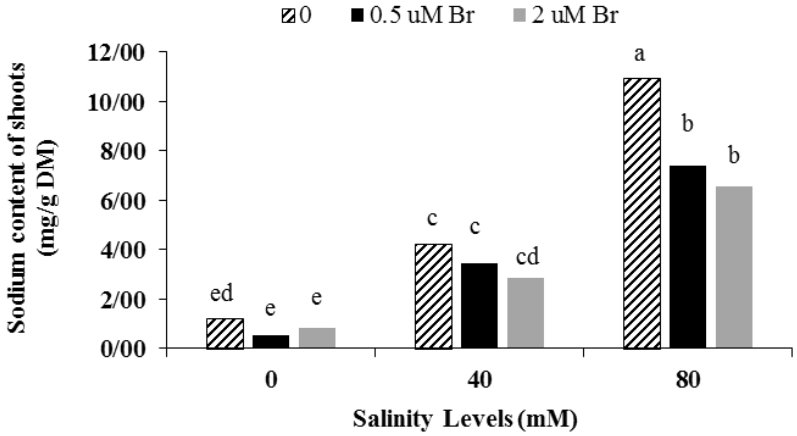
محتوی پتاسیم و سدیم: اثرات اصلی فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر محتوی پتاسیم اندام هوایی در سطح یک درصد داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که با افزایش سطح شوری میزان پتاسیم اندام هوایی به طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به گونه‌ای که میانگین پتاسیم اندام هوایی از ۱۶/۳۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در شرایط شاهد به ۳/۴۹ میلی‌گرم در گرم ماده خشک در شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم رسید که کاهش ۷۹ درصدی محتوی پتاسیم اندام هوایی را نشان داد (جدول ۳). در مقابل اثرات اصلی محلول‌پاشی هورمون براسینواستروئید نشان داد که با افزایش سطح کاربرد این هورمون، محتوی پتاسیم اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت. بر این اساس مشاهده شد که کاربرد سطح ۰/۵ و ۲ میکرومولار به ترتیب ۴۲ و ۶۰ درصد محتوی پتاسیم اندام هوایی را نسبت به شاهد افزایش دادند که البته از این نظر بین سطوح ۰/۵ و ۲ میکرومولار هورمون اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت و نسبت به شاهد برتری آماری معنی‌داری داشتند (جدول ۳).

بر خلاف محتوی پتاسیم، از نظر محتوی سدیم اندام هوایی برهمکنش معنی‌داری بین فاکتورهای آزمایشی در سطح پنج درصد مشاهده و ثبت شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی نشان داد که کمترین میزان سدیم اندام هوایی مربوط به شرایط شاهد (بدون شوری) بود و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح تیماری هورمون براسینواستروئید مشاهده نشد. در مقابل با افزایش شدت تنش شوری محتوی سدیم اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ هر چند که کاربرد سطوح محلول‌پاشی هورمون براسینواستروئید تا حدی توانست از محتوی آن بکاهد. بر این اساس مشاهده شد که بیشترین میانگین سدیم اندام هوایی مربوط به شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و بدون کاربرد محلول‌پاشی (۱۰/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بود (شکل ۱).

تحقیقات نشان داده که تجمع سدیم در برگ‌ها موجب مسمومیت گیاه شده و اختلال در رشد و جذب عناصر از جمله پتاسیم را به همراه دارد. در این آزمایش از تغییرات مهم در غلظت عناصر در اثر شوری، افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم بود که با نتایج Zarehmanesh و همکاران (۲۰۲۰) و Mehdizadeh و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]



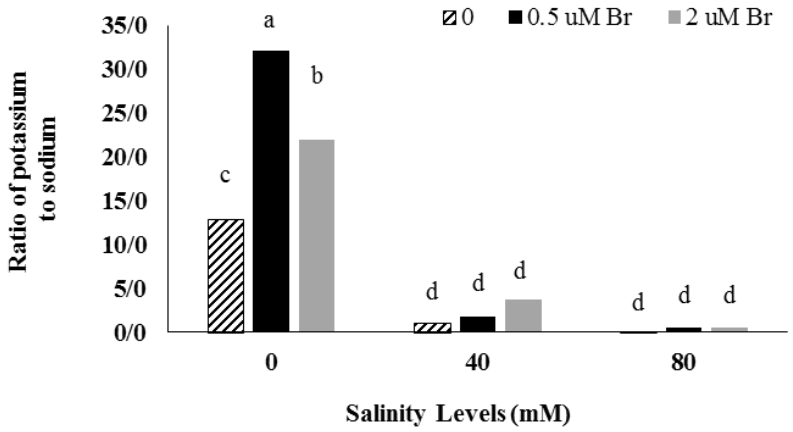
شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی از نظر صفت محتوی سدیم اندام هوایی

همچنین کاهش جذب پتاسیم در محیط شور می‌تواند ناشی از به هم‌خوردن تعادل هورمونی گیاه به ویژه سیتوکینین در ریشه باشد. Shahbazi و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثرات محلول‌پاشی ۲۲ – اپیبراسینولید (سطوح صفر، ۱ و ۲ میکرومولار) تحت تنش شوری در گیاه دارویی به لیمو گزارش دادند که با کاربرد محلول‌پاشی این هورمون، میزان جذب سدیم در اندام هوایی کاهش و میزان پتاسیم افزایش پیدا کرد. این نتایج می‌تواند گویای اثرات تعدیل‌کننده اپیبراسینولیدها بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه دارویی به لیمو تحت تنش شوری باشد.

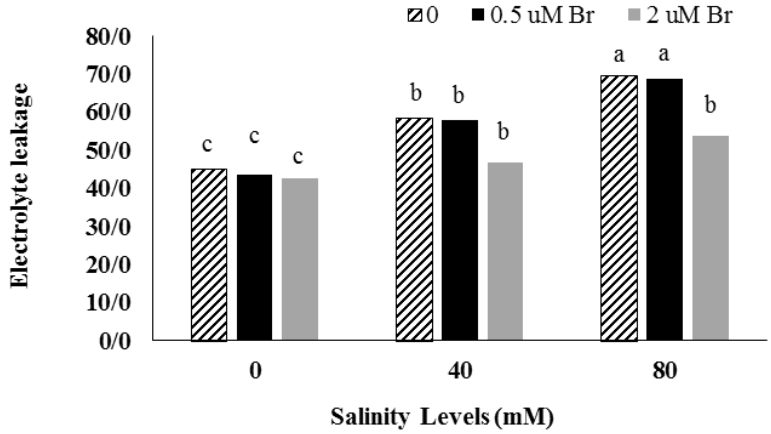
نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی: براساس نتایج تجزیه واریانس صفات مشاهده شد که نسبت پتاسیم به سدیم تحت تأثیر برهمکنش فاکتورهای شوری در محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین این صفت نشان داد که بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم مربوط به شرایط شاهد و کاربرد ۰/۵ میکرومولار هورمون براسینواستروئید (با میانگین ۳۲) بود که این نسبت تحت شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به طور معنی‌داری کاهش یافت و از این نظر مشاهده شد که بین سطوح کاربرد براسینواستروئید اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). همان‌طور که نتایج این پژوهش نشان داد که تحت تنش شوری، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی به طور معنی‌داری کاهش یافت که این امر می‌تواند ناشی از افزایش جذب یون سدیم و کاهش یون پتاسیم در سطوح تحت شوری باشد (Munns and Tester, 2008). تحقیقات نشان داده که تحت این شرایط، توانایی گیاه در حفظ نسبت‌های بالاتری از پتاسیم به سدیم به عنوان یک عامل مهم تحمل به شوری محسوب می‌شود و از این نظر نسبت‌های بالای پتاسیم به سدیم می‌تواند هم از طریق کاهش غلظت سدیم و هم از طریق کاهش خروج پتاسیم از بافت‌ها به دست آید (Yang *et al.*, 2016).

نشت الکترولیت: نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار فاکتورهای آزمایشی بر میزان نشت الکترولیت در سطح یک درصد بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین این صفت نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری، میزان نشت الکترولیت به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به گونه‌ای که بیشترین میزان نشت الکترولیت مربوط به تیمارهای صفر و ۰/۵ میکرومولار محلول‌پاشی براسینواستروئید تحت شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب با مقادیر ۶۹/۵ و ۶۸/۸ بود که البته از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مقابل کاربرد سطح ۲ میکرومولار محلول‌پاشی براسینواستروئید تحت تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم ۲۲/۶ درصد میزان نشت الکترولیت را نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی تحت شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش داد و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند. (شکل ۳). غشای سلولی از نخستین اندام‌هایی است که تحت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی از نظر صفت نسبت پتاسیم به سدیم

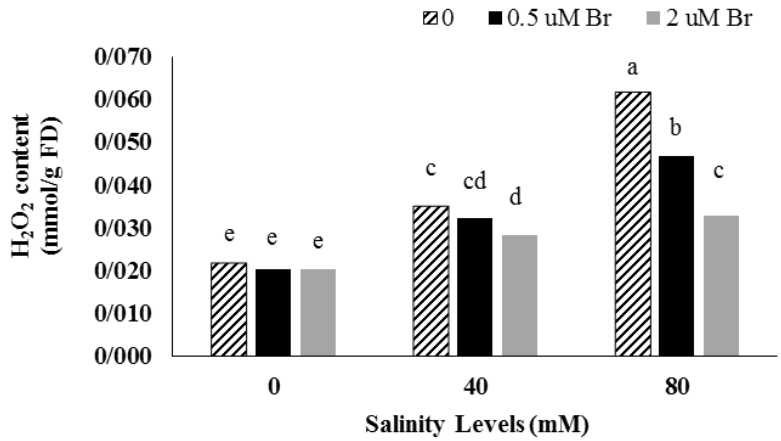


شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی از نظر صفت نشت الکترولیت

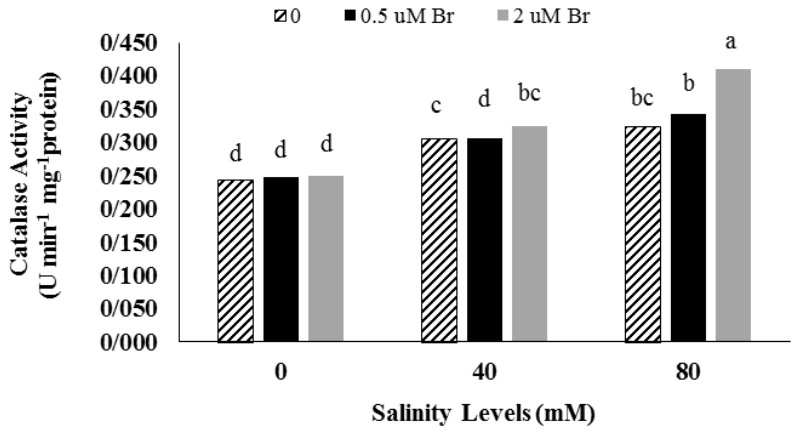
شرایط تنش، آسیب می‌بیند و تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از سلول موجب مرگ آن می‌گردد (Liang *et al.*, 2003). بر این اساس، پایداری غشای سلولی می‌تواند به عنوان معیاری از تحمل به تنش در نظر گرفته شود. به نظر می‌رسد که پایداری غشای سلولی در تنش‌ها با ویژگی‌های سیستم فتوسنتزی، از جمله آنزیم‌های کلیدی و غشاهای تیلاکوئیدی مرتبط است (Aydin *et al.*, 2012). تحت این شرایط گزارش شده است که کاربرد براسینواستروئید تأثیر مثبت و بهبود دهنده‌ای در کاهش میزان نشت مواد محلول از غشا داشته که این کاهش خسارت به غشا در استفاده از براسینواستروئید را می‌توان به عنوان راهکاری برای افزایش مقاومت به تنش در گیاهان دانست که ممکن است با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی برای کاهش خسارت تنش اکسیداتیو همراه باشد Darabi *et al.*, 2020). Mazorra و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش دادند که براسینواستروئیدها با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، سبب کاهش آسیب و پراکسیداسیون غشاهای پلاسمایی و درصد نشت الکترولیت‌ها می‌شوند.

محتوی پراکسید هیدروژن: نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که غلظت پراکسید هیدروژن به طور معنی‌داری تحت تأثیر برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی براسینواستروئید قرار گرفت (جدول ۲). برهمکنش فاکتورهای آزمایشی نشان داد که در شرایط بدون شوری، بین سطوح محلول‌پاشی براسینواستروئید اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (۰/۰۲۲، ۰/۰۲۰، ۰/۰۲۰ میلی‌مول بر گرم وزن تر به ترتیب در سطوح صفر، ۰/۵ و ۲

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]



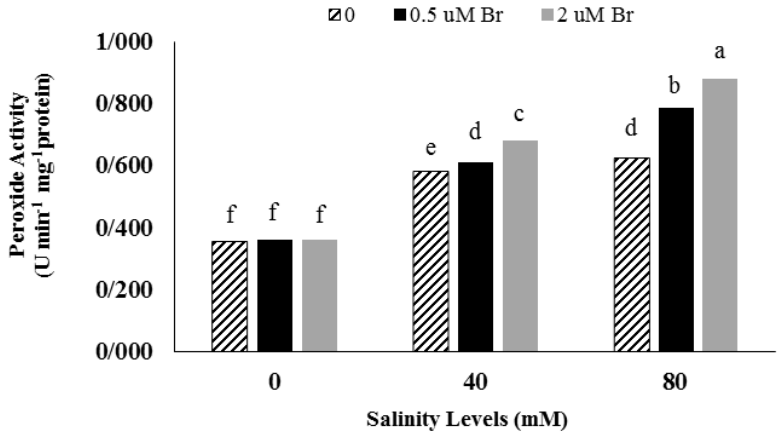
شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی از نظر محتوی پراکسید هیدروژن



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی از نظر فعالیت کاتالاز

میکرومولار محلول‌پاشی براسینواستروئید)، اما با افزایش شدت تنش شوری، محتوی پراکسید هیدروژن به طور معناداری افزایش یافت که البته اعمال سطوح محلول‌پاشی براسینواستروئید توانست تا حدی محتوی آن را کاهش دهد (در شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، میانگین محتوی این ترکیب در سطوح صفر، ۰/۵ و ۲ میکرومولار محلول‌پاشی به ترتیب برابر با ۰/۰۶۲، ۰/۰۴۷ و ۰/۰۳۳ میلی‌مول بر گرم وزن تر بود). بر این اساس مشاهده شد که بیشترین محتوی پراکسید هیدروژن مربوط به تیمار شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بدون کاربرد محلول‌پاشی براسینواستروئید (۰/۰۶۲ میلی‌مول بر گرم وزن تر) بود (شکل ۴). پراکسید هیدروژن مولکولی نسبتاً پایدار است که به واسطه نیمه عمر بالاتر، می‌تواند به جایگاه‌های دیگر سلولی مهاجرت کرده یا در مجاورت سلول‌ها قرار گیرد (Henzler and Steudle, 2000). اکسیداسیون اسیدهای چرب در گلی اکسی‌زوم به وسیله آنزیم استیل-کوآنزیم A اکسیداز نیز سبب تولید پراکسید هیدروژن می‌شود. در چرخه تنفس نوری هم، در شرایطی که تثبیت کربن در کلروپلاست با محدودیت مواجه شود، فعالیت اکسیژنازی رابیسکو افزایش یافته و سبب تولید گلیکولات در پراکسی‌زوم شده و تولید پراکسید هیدروژن می‌کند (Burhans *et al.*, 2009). علاوه بر این موارد، ثابت شده است که مهار سوپراکسید (O^{2-}) توسط سوپراکسید دیسموتاز نیز منجر به تولید پراکسید هیدروژن می‌شود که در ادامه این ترکیب توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز حذف می‌شود. هم راستا با نتایج این پژوهش، گزارشات مختلفی مبنی بر تولید و تجمع پراکسید هیدروژن در گیاهان تحت شرایط تنش شوری در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]



شکل ۶- مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی از نظر فعالیت پراکسیداز

دست است (اسماعیل‌پور جهرمی و یونسی، ۱۳۹۷). در مقابل نتایج این پژوهش گویای تأثیر مثبت محلول‌پاشی براسینواستروئید بر کاهش محتوی تولید پراکسید هیدروژن است.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز: برهمکنش فاکتورهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز داشت (جدول ۲). بررسی فعالیت کاتالاز نشان داد که در شرایط بدون شوری اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح محلول‌پاشی وجود نداشت و تحت این شرایط کمترین فعالیت کاتالاز مشاهده شد. در مقابل با افزایش شدت تنش شوری، فعالیت آنزیم کاتالاز به طور معنی‌داری افزایش یافت و از این نظر مشاهده شد که کاربرد محلول‌پاشی براسینواستروئید سبب افزایش فعالیت آنزیمی کاتالاز شد؛ به گونه‌ای که بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کاربرد ۲ میکرومولار براسینواستروئید هورمون بود (۰/۴۱۰ واحد آنزیمی بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) بود (شکل ۵). بررسی فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز نشان داد که بیشترین فعالیت این آنزیم (۰/۸۸۱ واحد آنزیمی بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) مربوط به تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کاربرد ۲ میکرومولار براسینواستروئید بود و از این نظر نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی اختلاف آماری معنی‌داری داشت (شکل ۶). آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بوده که به عنوان اصلی‌ترین آنزیم‌های مهارکننده گونه‌های اکسیژن واکنشگر از جمله پراکسید هیدروژن به شمار می‌روند و نقش فعالی در سیستم دفاعی سلولی و سم‌زدایی اکسیژن‌های واکنشگر بر عهده دارند (Mittler, 2002). افزایش فعالیت این آنزیم‌ها تحت تنش شوری توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (Abdallah *et al*, 2016; Yazici *et al*, 2007; اسماعیل‌پور جهرمی و یونسی، ۱۳۹۷).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش حاکی از تأثیرپذیری صفات مورد بررسی از فاکتورهای شوری و محلول‌پاشی هورمون براسینواستروئید بود. بر این اساس مشاهده شد که صفات ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و محتوی پتاسیم اندام هوایی تحت شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب با ۳۲، ۲۱، ۱۹، ۱۷، ۳۱، ۲۳ و ۷۹ درصد نسبت به شرایط شاهد کاهش یافتند. در مقابل کاربرد هورمون براسینواستروئید به ویژه در سطح ۲ میکرومولار سبب افزایش میانگین ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و محتوی پتاسیم اندام هوایی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که علی‌رغم کاهش میانگین صفات رشدی مورد مطالعه تحت شوری ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، اختلاف آماری معنی‌داری بین شرایط شاهد و این سطح شوری (۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) مشاهده نشد که بیانگر تحمل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]

نسبی مرزه تابستانه به این میزان از سطح شوری است. بررسی تغییرات محتوی پراکسید هیدروژن نیز نشان‌دهنده اثرات افزاینده تنش شوری بر میزان پراکسید هیدروژن بود؛ ولی کاربرد محلول‌پاشی براسینواستروئید توانست به طور مطلوبی محتوی این ترکیب را کاهش دهد. با افزایش شدت شوری، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نیز افزایش معناداری یافت. بیشترین فعالیت کاتالاز و پراکسیداز مربوط به تیمار ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۲ میکرومولار براسینواستروئید (به ترتیب با مقادیر ۰/۴۱۰ و ۰/۸۸۱ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم بر پروتئین) بود. به‌طورکلی براساس نتایج حاصل از این پژوهش مشخص شد که محلول‌پاشی براسینواستروئید به ویژه سطح ۲ میکرومولار توانست از طریق بهبود سرعت فتوسنتز، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سبب بهبود رشد مرزه شود.

منابع

اسماعیل‌پور جهرمی، م. و یونسی، ا. (۱۳۹۷) ارزیابی برخی صفات فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) در واکنش به تلقیح میکوریزایی تحت تنش شوری. مجله زیست‌فناوری گیاهان دارویی ۴: ۶۹-۵۸.

بابالار، م.، محتشمی، س.، تبریزی، ل. و روشن، و. (۱۳۹۵) تأثیر سطوح مختلف سولفات آمونیوم بر رنگیزه‌های نورساختی، میزان و اجزای اسانس مرزه تابستانه رقم اصلاح شده ساترن (*Satureja hortensis* L. cv Saturn). مجله علوم باغبانی ایران ۴۷: ۴۹۰-۴۸۱.

پیراسته انوشه، م. و امام، ی. (۱۳۹۸) نقش تنظیم‌کننده‌های رشد در افزایش عملکرد گیاهان زراعی در شرایط شور، از تئوری تا عمل. نشریه علوم زراعی ایران ۲۱: ۲۰۹-۱۸۸.

رازقندی، ج. (۱۳۹۳) بررسی میزان تحمل به شوری در پنج اکوتیپ مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

Abdallah, M. S., Abdelgawad, Z. A. and El-Bassiouny, H. M. S. (2016) Alleviation of the adverse effects of salinity stress using trehalose in two rice varieties. South African Journal of Botany 103: 275-282.

Alexieva V., Sergei, I., Mapelli, S. and Karanov, E. (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant Cell Environment 24: 1337-1344.

Anwar, A., Liu, Y., Dong, R., Bai, L., Yu, X. and Li, Y. (2018) The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: A review. Biological Research 51.

Aydin, A., Kant, C. and Turan, M. (2012) Humic acid application alleviate salinity stress of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. African Journal of Agriculture 7: 1073-1086.

Bernstein, N., Kravchik, M. and Dudai, N. (2009) Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Osimum basilicum*) in relation to alteration of morphological development. Annals of Applied Biology 156: 167-177.

Burhans, W. and Heintz, N. (2009) The cell cycle is a redox cycle:linking phase-specific targets to cell fate. Free Radical Biology and Medicine 47: 1282-94.

Choudhary, S. P., Yu, J. Q., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. and Tran, L. S. P. (2012) Benefits of brassinosteroid crosstalk. Trends in Plant Science 17: 594-605.

Darabi, F., Abbasi, N. and Zare, J. (2020) Evaluation of the effect of putrescine and brassinosteroids on induction of drought tolerance and change of physiological activities in basil (*Ocimum basilicum* L.). Environmental Stresses in Agricultural Sciences 13: 1183-1202.

Dhindsa, R. S., Dhindsa, P. and Thorpe, T. (1981) Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid per oxidation and decrease levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Exprimental Botany 32: 93-101.

Gholami, A. A. (2018) Hormones brassinososteroids effects of plant. Journal of Biosafety 11: 23-32.

Henzler, T. and Steudle, E. (2000) Transport and metabolic degradation of hydrogen peroxide in *Chara corallina*: Model calculations and measurements with the pressure probe suggest transport of H_2O_2 across water channels. Journal of Experimental Botany 51: 2053-2066.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]

Hong, Z., Ueguchi-Tanaka, M., Shimizu-Sato, S., Inukai, Y., Fujioka, S., Shimada, Y. and Matsuoka, M. (2002) Loss-of-function of a rice brassinosteroid biosynthetic enzyme, C-6 oxidase, prevents the organized arrangement and polar elongation of cells in the leaves and stem. The Plant Journal 32: 495-508.

Jamil, M., Lee, D. B., Jung, K. Y., Ashraf, M., Lee, S. C. and Rha, E. S. (2006) Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetable species. Journal of Central European Agriculture 7: 273-282.

Jamzad, Z. (2009) Thymus and Satureja Species of Iran. Research, Institute of Forests and Rangelands Publication.

Khripach, V. A., Zhabinskii, V. N. and Groot, A. E. (1998) Brassinosteroids: A New Class of Plant Hormones. Acadamic press. United States of America.

Krishna, P. (2003) Brassinosteroid-mediated stress responses. Plant Growth Regulation 22: 353-364.

Liang, Y., Chen, Q., Liu, W. and Ding, R. (2003) Exogenous silicone increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid per oxidation in roots or salt- stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Plant Physiology 99: 872-878.

Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. (1996) NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany 78: 389-398.

Mazorra, L. M., Holton, N., Bishop, G. J. and Nunez, M. (2011) Response in tomato brassinosteroid mutants indicates that thermotolerance is independent of brassinosteroid homeostasis. Plant Physiology Biochemistry 49: 1420-1428.

Mehdizadeh, L., Moghadam, M. and Lakzian, A. (2019) Effect of biochar on growth characteristics and potassium to sodium ratio of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under sodium chloride stress. Environmental Stresses in Agricultural Sciences 12: 595-606.

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

Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.

Sengupta, K., Banik, N. C., Bhui, S. and Mitra, S. (2011) Effect of brassinolide on growth and yield of summer green gram crop. Journal of Crop and Weed 7: 152-154.

Shahbaz, M. and Ashraf, M. (2008) Does exogenous application of 24-epibrassinolide ameliorate salt induced growth inhibition in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Growth Regulation 55: 51-64.

Shahbazi, M., Amini, F. and Asghari, G. (2013) The effect of 24-epibrasinolide on photosynthetic and non-photosynthetic pigment content and sodium and potassium uptake in lemongrass under salinity stress. The 1st National Conference on Salinity Stress in Plants and Solutions Shoor, Tabriz.

Tester, M. and Davenport, R. (2003) Na^{2+} tolerant and Na^{+} transport in higher plants. Annals of Botany 91: 503-527.

Ungar, I. A. (1991) Ecophysiology of Vascular Halophytes. CRC Press, Boca Raton.

White, R. E. (1976) Studies on the mineral ion absorption by plant, the interaction of aluminium phosphate and PH on the growth of *Medicago sativa*. Journal of Plant and Soil 46: 195-208.

Yang, Y., Zheng, Q., Liu, M., Long, X., Liu, Z., Shen, Q. and Guo, S. (2016) Difference in sodium spatial distribution in shoot two canola cultivars under saline stress. Plant, Cell, Physiology 58: 1010-1019.

Yazdanparast, R. and Shahriyary, L. (2008) Comparative effects of *Artemisia dracunculus*, *Satureja hortensis* and *Origanum majorana* on inhibition of blood platelet adhesion, aggregation and secretion. Vascular Pharmacology 48: 32-37.

Yazici, I., Turkan, I., Sekmen, A. H. and Demiral, T. (2007) Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. Environmental and Experimental Botany 61: 49-57.

Zarehmanesh, H., Eisvand, H. R., Akbari, N., Ismaili, A. and Feizian, M. (2020) An investigation of effects of humic acid on changes in nutrients concentration of leaf, root and stem of *Satureja khuzestanica* under salinity stress. Journal of Plant Process and Function 10: 1-16.

Zhiponova, M. K., Vanhoutte, I., Boudolf, V., Betti, C., Dhondt, S., Coppens, F. and Russinova, E. (2013) Brassinosteroid production and signaling differentially control cell division and expansion in the leaf. New Phytologist 197: 490-502.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]

The effect of brassinosteroid foliar application on growth traits and content of sodium and potassium ions of *Satureja hortensis* under salinity stress

Hadis Zaremanesh

Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Received: 05/02/2022, Accepted: 25/10/2022)

Abstract

In order to investigate the effect of brassinosteroid foliar application on the growth characteristics and content of sodium and potassium ions of summer savory (Satureja hortensis L.) under salt stress, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in the greenhouse of Payam Noor University in Lorestan in 2020. The factors were salinity stress at three levels (0, 40 and 80 mmol/L NaCl) and foliar sprays of brassinosteroid at three levels (0, 0.5 and 2 µmol/L). The largest mean values of plant height (32.56 cm), root length (22.02 cm), shoot fresh weight (5.89 g/plant), shoot dry weight (2 g /plant), root dry weight (0.87 g/plant), and potassium content in plant shoot (16.39 mg/g dry matter) were observed under control conditions (without salinity). These traits declined by 32, 21, 19, 17, 31, 23 and 79%, respectively, under salinity conditions (80 mmol /L NaCl). However, spray of brassinosteroid, especially at 2 µmol /L, increased mean plant height (30.46 cm), root length (21.7 cm), fresh and dry weights of shoot (5.95 and 2.06 g/plant, respectively), and potassium content of aerial organs (10.63 mg/ g dry matter).The interaction effects of the salinity and hormone spray indicated that increases in salinity level significantly improved sodium content of plants (sodium content was 10.93 mg/g dry matter in the treatment of applying 80 µmol/L NaCl and no hormone spray). This led to a drastic reduction in the potassium/sodium ratio (the mean value of this trait was 0.2 in the treatment of applying 80 mmol/L NaCl without hormone spray); however, spray of brassinosteroid somewhat reduced sodium absorption (the sodium content in the treatment of applying 80 mmol/L NaCl and 2 µmol/L of the hormone was 6.56 mg/g dry matter). In general, salinity decreased the studied plant growth traits by disrupting potassium absorption and strongly reducing plant potassium /sodium ratio, but brassinosteroid spray improved the fresh and dry weight of summer savory plants.

Keywords: Abiotic stresses, Brassinosteroid, Summer Savory, Growth Hormones, Nutrients

Corresponding author, Email: Hadis_zaremanesh@pnu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.20.0]