

بهبود رشد و صفات فیزیولوژیکی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) با محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک در شرایط تنش شوری

مجید رجایی^{۱*} و ابوالحسن کشاورز^۲

^۱ بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، شیراز، ایران

^۲ گروه علوم خاک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد داراب، داراب، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲)

چکیده

یکی از چالش‌های مهم تولید کشاورزی روند رو به رشد تنش شوری است. در سال‌های اخیر از بعضی هورمون‌های گیاهی برای کاهش اثرات تنش شوری استفاده شده است. این پژوهش در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در شهرستان داراب انجام گرفت. فاکتور اول چهار سطح شوری شامل صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در آب آبیاری و فاکتور دوم شامل محلول پاشی در پنج سطح شامل شاهد، سالیسیلیک اسید ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و جاسمونیک اسید ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار بودند. نتایج نشان داد که افزایش شوری سبب افزایش محتوای سدیم، کلر و نشت یونی و کاهش محتوای نسبی آب و محتوای کلروفیل برگ شد. در شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول پاشی اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار سبب کاهش ۱۹ درصدی نشت یونی و افزایش ۱۳ درصدی محتوای نسبی آب برگ شد. در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول پاشی ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک به ترتیب سبب افزایش ۶ و ۱۰ درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند. همچنین جاسمونیک اسید ۰/۵ و ۰/۱ میلی‌مولار به ترتیب سبب افزایش ۱۰ و ۱۴ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به شاهد شد. در حقیقت تأثیر اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک در رفع اثرات منفی شوری تا حدی مرتبط با بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی در شرایط شور بود. همچنین به نظر می‌رسد که در شرایط تنش شوری، غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک عملکرد بهتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، کاتالاز، کلروفیل، مالون دی‌آلدهید، نشت یونی

مقدمه

سال‌های اخیر به دلیل ارزش دارویی بسیار زیاد، محققان بیش از پیش به اجزای دارویی بادرشبو توجه داشته‌اند و ترکیبات شیمیایی بادرشبو به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته و حدود ۱۵۴ ترکیب شناسایی و جداسازی شده است. از جمله این ترکیبات فلاونوئیدها، فنل‌ها، فینل پروپانئید، لیگنان‌ها،

بادرشبو با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L. گیاهی دارویی از خانواده نعنائیان است. خاستگاه رویش این گیاه در سراسر آسیا معرفی شده است، اما تعداد کمی نیز در اروپای مرکزی و شمالی یافت می‌شوند (Zhan et al., 2023). در

* نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیکی: rajaie.majid@yahoo.com

ترپنوئیدها، گلیکوزیدها، پلی ساکاریدها و سایر اجزای شیمیایی است (Kashchenko et al., 2022). از مهم ترین ترکیبات شناسایی شده در اسانس این گیاه ژرانیال، ژرانیل استات، نرال، نریل استات و ژرانیول است که بیشترین مقدار این ترکیبات در مرحله گلدهی گزارش شده است (Maham et al., 2013). اسانس بادرشبو بر کارکرد قلب اثرات مثبتی دارد و دارای خواص درمانی زیادی از جمله تقویت کننده معده و دستگاه گوارش است. همچنین به دلیل وجود ترکیب سیترا ل این گیاه قابلیت رفع بیماری های عفونی دستگاه تنفسی را دارد (Abd El-Baky and El-Baroty, 2008). مواد مؤثره موجود در پیکر رویشی بادرشبو اصولاً دارای خواص آرام بخشی و اشتها آوری است و به عنوان التیام دهنده زخم و ضدنفخ کاربرد دارد. همچنین اسانس این گیاه دارای خاصیت ضدباکتریایی است (Bijani and Madandoust, 2023).

یکی از چالش های مهم بخش کشاورزی در سال های اخیر گسترش تنش شوری است که اثرات منفی بر تولید گیاهان دارد. بنابراین ارزیابی روش های مناسب برای بهبود تولید گیاهان در شرایط تنش شوری اهمیت به سزایی دارد (Zorb et al., 2019). گزارش شده است که فعالیت های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان تحت تأثیر مستقیم تنش شوری قرار می گیرد (Yadav et al., 2019). روش های مختلفی برای بهبود رشد گیاهان در خاک های شور و نیمه شور معرفی شده اند (Mishra et al., 2021). کاربرد شبه هورمون های رشد از جمله روش های نوین برای کاهش اثرات تنش شوری بر گیاهان است. فیتوهورمون ها نقش مهمی در رشد و نمو و پاسخ به تنش های محیطی دارند. استفاده از فیتوهورمون هایی هم چون اسید آبسزیک، اسید سالیسیلیک، براسینوستروئیدها و جاسمونات ها از جمله استراتژی های جدید برای مقابله با تنش شوری در گیاهان است (Taheri et al., 2020).

اسید سالیسیلیک یکی از مشتقات فنلی است که با ایجاد واکنش های القایی در گیاهان سبب افزایش تحمل به تنش شوری می گردد (Rasheed et al., 2020). استفاده از غلظت های بهینه این شبه هورمون با تغییر در سطوح فعالیت

آنزیم های آنتی اکسیدانی، اسمولیت ها، تولیدات ثانویه و زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی سبب افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش شوری می شود (Lotfi et al., 2020; Kaur et al., 2022). اسید جاسمونیک نیز از جمله تنظیم کننده های رشد گیاهی است که در فرآیندهای مختلف گیاهی نقش بسزایی دارد. سازوکارهای دفاعی گیاهان در واکنش به تنش های زنده و غیرزنده به وسیله این شبه هورمون تنظیم می شود (Dar et al., 2015). اسید جاسمونیک قادر به تغییر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، میزان فتوسنتز، هدایت روزنه ای و میزان تعلق در شرایط تنش شوری است (Salimi et al., 2014). گزارش شده است که اسید جاسمونیک قادر به بهبود جذب آب با افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه از طریق کلسیم و اسید آبسزیک است (Sanchez-Romera et al., 2014).

گرچه کاربرد خارجی شبه هورمون هایی مثل اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک سبب فعال کردن سیستم القایی تحمل گیاهان به تنش های محیطی می شود، اما پژوهش های کمی در رابطه با اثر این شبه هورمون ها روی گیاهان دارویی صورت گرفته است. از سوی دیگر مطالعات علمی زیادی در رابطه با کاربرد غلظت های مناسب شبه هورمون های رشد وجود ندارد. بنابراین در این تحقیق ارزیابی ویژگی های رشدی و فیزیولوژیکی بادرشبو با محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک تحت تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

کاشت گلدانی بادرشبو در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ و در فضای باز در شهرستان داراب انجام گرفت. محل کاشت دارای عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۷۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۱۷ متر از سطح دریا بود. براساس طبقه بندی آمبرژه، شهرستان داراب جز مناطق خشک و نیمه خشک طبقه بندی می گردد که در فصل زمستان دارای آب و هوای نسبتاً سرد توأم با بارندگی و فصل تابستان هوایی گرم و خشک دارد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش

کربن آلی (درصد)	N	P	K	Mn	Zn	Fe	Cu	pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	بافت
۰/۴۵	۰/۱	۶/۴	۱۱۵	۲/۱	۰/۶۵	۵/۵	۰/۴۸	۷/۲	۱/۰۱	لوم سیلتی

فاکتور اول چهار سطح شوری شامل شاهد (صفر) و شوری ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در آب آبیاری و فاکتور دوم محلول‌پاشی در پنج سطح شامل شاهد، اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و اسید جاسمونیک ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار بود. خاک مورد استفاده در آزمایش از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و ۶ کیلوگرم خاک درون هر گلدان ریخته شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده به شرح جدول ۱ بود.

کود دامی با ۳ درصد وزنی با خاک گلدان مخلوط شد. گلدان‌های پلاستیکی دارای ارتفاع ۲۵ و قطر ۱۵ سانتی‌متر بودند. در تاریخ یک اسفندماه تعداد ۱۵ بذر بادرشبو در عمق یک سانتی‌متری خاک گلدان کشت شدند. دو هفته پس از کاشت (مرحله سه برگی)، عمل تنک‌کردن گیاهچه‌ها صورت گرفت و تعداد شش بوته در هر گلدان حفظ شد. بعد از کاشت تمام گلدان‌های با آب‌مقطر آبیاری شدند. پس از سبزشدن بوته‌ها آبیاری براساس ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی انجام شد. از مرحله سه برگی گلدان‌ها با آب شور دارای غلظت مشخص هر تیمار آبیاری شدند. برای آبیاری تیمار شاهد از آب‌مقطر استفاده شد. اعمال تیمارهای شوری تا مرحله گلدهی و زمان نمونه‌برداری ادامه یافت. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و جاسمونیک اسید با غلظت ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار از مرحله چهار تا پنج برگی شروع و تا پایان مرحله گلدهی هر دو هفته یکبار انجام شد (رضایی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۷).

قبل از گلدهی از هر بوته پنج برگ جوان و بالغ انتخاب و نمونه‌گیری شد. برگ‌ها با آب‌مقطر شسته شدند و در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب شدند. یک گرم از نمونه آسیاب‌شده در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا تبدیل به خاکستر شود.

خاکستر بدست آمده با اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره‌گیری و غلظت عنصر سدیم توسط دستگاه فلیم‌فوتومتر (مدل Jenway 7, German) خوانده شد. در نهایت اعداد خوانده‌شده با استفاده از نمودار حاصل از نمونه‌های استاندارد تعدیل شدند (Patterson et al., 1984). برای اندازه‌گیری کلر برگ، نیم گرم نمونه خشک‌شده برگ با اکسید کلسیم و آب‌مقطر به صورت خمیر درآورده شد و پس از خاکسترکردن و عصاره‌گیری، غلظت کلر به روش تیتراسیون با نترات نقره اندازه‌گیری شد (Banuls and Primo-Millo, 1995).

ابتدای گلدهی در اوایل صبح و قبل از طلوع آفتاب در هر تیمار (گلدان) از هر بوته یک برگ کامل، جوان و شاداب انتخاب شدند. نشت یونی با استفاده از روش Sairam و همکاران (۲۰۰۹) و مالون دی‌آلدهید به عنوان فرآورده نهایی پراکسیداسیون غشا با روش Heath و Packer (۱۹۶۸) اندازه‌گیری شد. همچنین محتوای نسبی آب برگ‌ها با استفاده از روش Weatherly (۱۹۵۰) محاسبه شد.

با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949). جذب نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Vis 2100 در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده و میزان کلروفیل با استفاده از روابط ۱ تا ۳ محاسبه شد.

(رابطه ۱)

$$\text{Chl a (mgg}^{-1}\text{)} = (12.7 \times \text{OD}.663) - (2.69 \times \text{OD}.645) \times V / 000 \times W$$

(رابطه ۲)

$$\text{Chl b (mgg}^{-1}\text{)} = (22.9 \times \text{OD}.645) - (4.68 \times \text{OD}.663) \times V / 1000 \times W$$

(رابطه ۳)

$$\text{Chl a+b (mgg}^{-1}\text{)} = (8.02 \times \text{OD}.663) + (20.2 \times \text{OD}.645) \times V / 1000 \times W$$

در این معادلات V حجم نمونه، OD میزان جذب و W وزن تر نمونه است.

سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به ترتیب با روش Cakmak و Horst (۱۹۹۱) و Ghanati و همکاران (۲۰۰۲) انجام شد.

در پایان دوره رشد ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد. شش بوته در هر گلدان در مرحله گلدهی، از سطح زمین تا انتهای ساقه اصلی اندازه‌گیری شد و سپس میانگین آنها به عنوان ارتفاع بوته برای هر گلدان در نظر گرفته شد.

جهت اندازه‌گیری وزن خشک بوته، ابتدا اندام‌های هوایی را از ریشه جدا کرده و پس از شستشو با آب مقطر، توسط ترازوی دیجیتال، وزن شدند. در مرحله بعد برای هر تیمار به طور جداگانه، این اندام‌های هوایی در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای ۴۸ ساعت قرار داده شدند. لازم به ذکر است که برای خشک‌کردن، ابتدا اندام هوایی و ریشه در داخل پاکت کاغذی قرار داده و سپس درون آون با دمای مشخص قرار داده شدند و بعد از خشک‌شدن، به وسیله ترازوی دیجیتال وزن خشک آنها تعیین شد. همچنین پس از برداشت، خاک گلدان‌ها خارج و پس از هوا خشک‌کردن، خردکردن کلوخه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که به ترتیب برای سطوح شوری صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در آب آبیاری ۰/۶۸، ۱/۹۷، ۳/۱۳ و ۴/۹۷ دسی‌زیمنس بر متر بود.

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گردید.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و ارتفاع بوته:
اثر سطوح شوری، محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و

برهمکنش آنها بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار شاهد شوری مشاهده شد و افزایش سطوح شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد (جدول ۳). در تیمار شاهد شوری، غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند (جدول ۳). در شوری ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم محلول‌پاشی تمامی تنظیم‌کننده‌های رشد به‌طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی را نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۳). در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی به غیر از اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار سایر تیمارهای محلول‌پاشی سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند (جدول ۳).

در سطح شاهد و شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر وزن خشک ریشه معنی‌داری نبود (جدول ۳). در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک سبب افزایش وزن خشک ریشه شد. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، اسید جاسمونیک ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۱۰ و ۱۴ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به شاهد شدند (جدول ۳).

اثر سطوح شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود، اما ارتفاع بوته تحت تأثیر برهم‌کنش آنها قرار نگرفت (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد شوری مشاهده شد و سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شدند (جدول ۴). از سوی دیگر بیشترین ارتفاع بوته در محلول‌پاشی اسید جاسمونیک ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌مولار و اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۵).

تنش شوری از طریق کوتاه‌کردن دوره زایشی و کاهش فتوسنتز سبب کاهش دوره رشد گیاه می‌شود (Farooq et al., 2009). وقوع تنش به‌خصوص در مراحل مختلف رویشی

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس برای صفات ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، سدیم برگ، کلر برگ، نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، b و a+b، فعالیت کاتالاز، فعالیت پراکسیداز و مالون دی آلدئید

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	میانگین مربعات				محتوای نسبی آب برگ
				ارتفاع بوته	سدیم برگ	کلر برگ	نشت یونی	
سطوح شوری (A)	۳	۲۲۷/۷**	۱۶/۳**	۱۹۶/۶**	۰/۰۷۴**	۸/۱۵**	۳۵۰۹/۲**	۱۹۹۰/۳**
محلول پاشی (B)	۴	۹/۴**	۰/۵۰۹**	۲۱/۰**	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۲۳ ^{ns}	۸۱/۸*	۶۶/۱**
(B) × (A)	۱۲	۲/۹۸*	۰/۶۸۵**	۲/۰ ^{ns}	۰/۰۰۲۹*	۰/۰۳۳*	۴۴/۱*	۱۳/۶*
خطا	۴۰	۱/۵۳	۰/۰۸۷	۳/۸۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۴	۲۴/۵	۹/۱۱
ضریب تغییرات (%)	—	۱۵/۵	۱۴/۵	۸/۱	۸/۸	۸/۶	۱۲/۰	۴/۸

***، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری

ادامه جدول ۲-

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	میانگین مربعات		
					فعالیت کاتالاز	فعالیت پراکسیداز	مالون دی آلدئید
سطوح شوری (A)	۳	۱/۲**	۰/۱۳۹**	۲/۲۶**	۰/۲۸۰**	۰/۷۵۸**	۴۱/۵**
محلول پاشی (B)	۴	۰/۰۹۲**	۰/۰۱۷**	۰/۱۷۸**	۰/۰۰۷**	۰/۰۲۸**	۱/۲ ^{ns}
(B) × (A)	۱۲	۰/۰۳۵*	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۳۸*	۰/۰۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۲*	۰/۳۰ ^{ns}
خطا	۴۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۳۰
ضریب تغییرات (%)	—	۱۰/۵	۶/۳	۱۴/۴	۱۰/۳	۴/۹	۸/۹

***، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری

فتوستتزی و بیان ژن‌های القایی از طریق سیگنال‌دهی سلولی از عوامل دیگری هستند که ممکن است در بهبود رشد گیاه در شرایط تنش شوری نقش داشته باشند (Ali et al., 2022).

سدیم و کلر برگ: اثر سطوح شوری و برهم‌کنش سطوح شوری و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد روی صفات سدیم و کلر برگ به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش سطوح شوری سبب افزایش محتوای سدیم برگ شد، بطوری‌که بیشترین سدیم برگ در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۳). از سوی دیگر در سطح شاهد تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول پاشی مشاهده

باعث کاهش رشد و ارتفاع بوته می‌شود (Ali et al., 2022). از سوی دیگر تنظیم‌کننده‌های رشد مثل اسید جاسمونیک سبب بهبود شاخص‌های فتوستتزی شده که در نتیجه باعث تأثیر بر صفات رویشی می‌گردد (برقی و قلی‌پوری، ۱۳۹۹). در مطالعه حاضر احتمالاً محلول پاشی اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک با القای بروز ژن‌های مقاومت، تا حدودی توانسته است در بهبود رشد نقش ایفا نماید. گزارش شده است که محلول پاشی اسید جاسمونیک سبب افزایش انتقال مواد پرورده از برگ‌ها به اندام‌های در حال رشد و منجر به افزایش ارتفاع بوته و وزن اندام هوایی و ریشه می‌شود (Sheteiwy et al., 2021). تأثیر محافظتی تنظیم‌کننده‌های رشد بر شاخص‌های

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و محلول پاشی تنظیم کننده های رشد بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه و سدیم و کلر برگ در بادربو

سطوح شوری	محلول پاشی	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	سدیم برگ (درصد)	کلر برگ (درصد)
شاهد	صفر	۲۶/۴ ^a	۷/۵۴ ^a	۰/۰۳۱ ^f	۰/۴۵ ^d
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار	۲۸/۱ ^a	۷/۸۶ ^a	۰/۰۲۷ ^f	۰/۴۴ ^d
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار	۲۸/۳ ^a	۷/۸۹ ^a	۰/۰۲۷ ^f	۰/۴۳ ^d
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی مولار	۲۶/۹ ^a	۷/۶۶ ^a	۰/۰۳۰ ^f	۰/۴۴ ^d
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی مولار	۲۷/۳ ^a	۷/۷۷ ^a	۰/۰۲۹ ^f	۰/۴۴ ^d
۲۵ میلی مولار	صفر	۲۱/۲ ^{cde}	۶/۴۰ ^b	۰/۱۳۲ ^{bcd}	۱/۳۰ ^c
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار	۲۳/۱ ^{bcd}	۶/۶۴ ^b	۰/۱۱۶ ^{de}	۱/۲۱ ^c
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار	۲۳/۵ ^{bc}	۶/۸۱ ^b	۰/۱۱ ^e	۱/۱۸ ^c
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی مولار	۲۳/۳ ^{bc}	۶/۵۹ ^b	۰/۱۱۸ ^{cde}	۱/۲۷ ^c
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی مولار	۲۴/۱ ^b	۶/۷۹ ^b	۰/۱۲۳ ^{bcde}	۱/۲۵ ^c
۵۰ میلی مولار	صفر	۲۰/۱ ^{efg}	۵/۸۱ ^{cd}	۰/۱۴۱ ^b	۱/۶۸ ^b
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار	۲۰/۸ ^{def}	۶/۲۹ ^{bc}	۰/۱۳۵ ^{bcd}	۱/۶۰ ^b
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار	۲۱/۴ ^{cde}	۶/۴۶ ^b	۰/۱۳۲ ^{bcd}	۱/۵۷ ^b
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی مولار	۲۱/۳ ^{cde}	۶/۵۸ ^b	۰/۱۳۸ ^b	۱/۶۴ ^b
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی مولار	۲۲/۱ ^{bcde}	۶/۷۰ ^b	۰/۱۳۷ ^{bc}	۱/۶۳ ^b
۱۰۰ میلی مولار	صفر	۱۶/۱ ^h	۴/۸۶ ^f	۰/۲۰۵ ^a	۲/۲۷ ^a
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار	۱۷/۹ ^{gh}	۵/۱۱ ^{ef}	۰/۱۹۹ ^a	۲/۱۶ ^a
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار	۱۸/۳ ^g	۵/۱۴ ^{ef}	۰/۱۹۲ ^a	۲/۰۶ ^a
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی مولار	۱۸/۷ ^{fg}	۵/۳۶ ^{def}	۰/۲۰۱ ^a	۲/۲۵ ^a
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی مولار	۱۹/۷ ^{efg}	۵/۵۵ ^{de}	۰/۱۹۹ ^a	۲/۲۲ ^a

بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

مشاهده شد. بطوری که بیشترین کلر برگ در تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۳). در سطح شاهد و تنش شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، تفاوت معنی داری بین سطوح مختلف اسید جاسمونیک با شاهد مشاهده نشد، اما اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار سبب کاهش غلظت سدیم شد. در تنش شوری ۲۵ میلی مولار کلرید سدیم، بیشترین کلر برگ در تیمار شاهد بدست آمد و افزایش غلظت اسید سالیسیلیک باعث کاهش معنی دار محتوای کلر برگ شد (جدول ۳).

نشد. در تنش شوری ۲۵ میلی مولار کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار باعث کاهش معنی دار محتوای سدیم برگ شد. همچنین در غلظت ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم، کمترین غلظت سدیم برگ بادربو در اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی مولار مشاهده شد. در غلظت ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، کاهش محتوای سدیم برگ بادربو با اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی مولار و اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی مولار مشاهده شد (جدول ۳). افزایش در محتوای کلر برگ با افزایش سطوح شوری

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر ارتفاع بوته، محتوای کلروفیل b، فعالیت کاتالاز و مالون دی آلدئید در بادرشبو

تنش شوری	ارتفاع بوته (سانتی متر)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)	فعالیت کاتالاز (میکرومول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین)	مالون دی آلدئید (میکرومول بر گرم وزن تازه)
شاهد	۲۸/۱ a	۰/۹۶۱ a	۰/۲۲۲ d	۷/۶۹ c
۲۵ میلی مولار کلرید سدیم	۲۵/۷ ab	۰/۹۲۴ a	۰/۳۳۱ c	۹/۱۱ bc
۵۰ میلی مولار کلرید سدیم	۲۳/۲ bc	۰/۸۵۴ b	۰/۴۴۸ b	۹/۷۸ b
۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم	۱۹/۶ c	۰/۷۴۱ c	۰/۵۳۵ a	۱۱/۷ a

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول‌پاشی روی ارتفاع بوته، محتوای کلروفیل b و فعالیت کاتالاز در بادرشبو

محلول‌پاشی	ارتفاع بوته (سانتی متر)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)	فعالیت کاتالاز (میکرومول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین)
صفر	۲۲/۱ c	۰/۸۱۳ c	۰/۴۲۳ a
اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار	۲۳/۶ bc	۰/۸۷۶ b	۰/۳۹۴ ab
اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار	۲۴/۵ ab	۰/۹۲۵ a	۰/۳۷۸ b
اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی مولار	۲۴/۷ ab	۰/۸۶۵ bc	۰/۳۶۵ b
اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی مولار	۲۵/۶ a	۰/۸۶۴ bc	۰/۳۶۱ b

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

کاهش جذب و تجمع سدیم به عنوان یکی از سازوکارهای تحمل به شوری در سطوح گیاهی، سلولی و مولکولی بررسی شده است (Kordrostami and Rabiei, 2019). در خاک‌های مناطق شور، دسترسی و جذب عناصر غذایی تحت تأثیر یون سدیم موجود در خاک قرار می‌گیرد، به طوری که یون سدیم موجود در خاک سبب افزایش فشار اسمزی محلول خاک و کاهش جذب عناصر غذایی توسط ریشه می‌شود (Ndiaye et al., 2021). تحمل گیاهان مختلف به شوری از جذب کمتر سدیم و کلر توسط ریشه و انتقال کم آن به اندام‌های هوایی ناشی می‌شود (Teakle and Tyerman, 2010). از سوی دیگر محققان گزارش کردند که تنظیم‌کننده‌های رشد مثل اسید سالیسیلیک از طریق کاهش انتقال سدیم از ریشه به اندام‌های هوایی تجمع سدیم را محدود می‌کند (Ghassemi-Golezani

and Farhadi, 2022). همچنین کاربرد اسید جاسمونیک ممکن است سبب تغییر در جذب سدیم و تنظیم اسمزی تحت تنش شوری شود (Lotfi et al., 2024). نتایج این پژوهش مطابق با مطالعات قبلی است که ادعا می‌کنند مصرف شبه‌هورمون‌های رشد به صورت خارجی نقش کلیدی در حفظ هموستاز یونی دارد (Noor et al., 2022). گزارش شده است که اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک می‌تواند به عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده برای انتقال سیگنال عمل کنند و سطوح بیان ژن برای کاهش جذب برخی عناصر معدنی مثل سدیم را القا کنند (Takeuchi et al., 2011; Wang et al., 2022).

محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ: اثر سطوح شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر محتوای کلروفیل a، b و a+b برگ بادرشبو معنی‌دار بود، همچنین محتوای

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و محلول پاشی تنظیم کننده های رشد بر نشت یونی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، کلروفیل a+b و فعالیت پراکسیداز در بادربو

سطوح شوری	محلول پاشی	نشت یونی	محتوای نسبی آب برگ	کلروفیل a	کلروفیل a+b	فعالیت پراکسیداز (میکرومول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین)
شاهد	صفر	۲۸/۷ h	۷۴/۷ a	۲/۷۲ abcd	۳/۶۲ bcde	۰/۸۶۱ f
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار	۲۶/۱ h	۷۷/۷ a	۲/۸۴ abc	۳/۷۹ abc	۰/۸۵۶ f
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار	۲۵/۲ h	۷۸/۸ a	۲/۸۷ ab	۳/۹۲ a	۰/۸۶۰ f
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی مولار	۲۶/۹ h	۷۵/۳ a	۲/۸۹ ab	۳/۸۴ ab	۰/۸۵۶ f
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی مولار	۲۶/۰ h	۷۶/۳ a	۲/۹۳ a	۳/۸۸ a	۰/۸۵۳ f
۲۵ میلی مولار کلرید سدیم	صفر	۴۰/۶ efg	۶۰/۹ cdef	۲/۵۱ def	۳/۳۹ efg	۰/۹۶۶ e
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار	۳۷/۸ fg	۶۵/۸ bc	۲/۵۹ de	۳/۵۲ def	۰/۸۸۰ ef
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار	۳۲/۶ gh	۶۸/۷ b	۲/۶۲ cde	۳/۵۶ cdef	۰/۸۶۰ f
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی مولار	۳۷/۷ fg	۶۳/۱ cde	۲/۶۶ bcde	۳/۶۰ cde	۰/۸۵۳ f
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی مولار	۳۷/۰ fg	۶۴/۳ bcd	۲/۷ abcd	۳/۶۴ bcd	۰/۸۳۶ f
۵۰ میلی مولار کلرید سدیم	صفر	۵۱/۸ cd	۵۶/۴ fgh	۲/۴۶ ef	۳/۲۷ gh	۱/۲۷ bc
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار	۴۷/۰ de	۵۸/۳ efg	۲/۵۵ de	۳/۴۳ defg	۱/۱۶ d
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار	۴۴/۳ def	۵۹/۹ def	۲/۶۲ cde	۳/۵۶ cdef	۱/۱۲ d
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی مولار	۴۹/۷ cd	۵۷/۳ fg	۲/۵۱ def	۳/۳۴ fg	۱/۱۳ d
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی مولار	۴۶/۶ de	۵۸/۲ efg	۲/۵۳ de	۳/۵۰ fg	۱/۰۸ d
۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم	صفر	۶۶/۳ a	۴۴/۹ j	۱/۸۷ i	۲/۵۷ k	۱/۴۰ a
	اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار	۶۲/۱ ab	۵۱/۷ hi	۲/۲۹ ef	۳/۰۷ gh	۱/۳۵ ab
	اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار	۵۶/۶ bc	۵۳/۹ gh	۲/۴۴ fg	۳/۱۹ hi	۱/۳۲ abc
	اسید جاسمونیک ۰/۰۵ میلی مولار	۶۴/۰ ab	۴۷/۴ ij	۱/۹۹ hi	۲/۷۳ jk	۱/۲۸ bc
	اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی مولار	۶۲/۷ ab	۴۸/۳ ij	۲/۱۲ gh	۲/۸۶ ij	۱/۲۵ c

بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن، حروف متفاوت هر ستون نمایانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، محلول پاشی ۱ میلی مولار اسید سالیسیلیک سبب افزایش ۳۰ درصدی محتوای کلروفیل a نسبت به شاهد شد (جدول ۶).

بیشترین محتوای کلروفیل b در تیمار شاهد شوری مشاهده شد و افزایش تنش شوری در سطح ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم سبب کاهش ۵۲ درصدی محتوای کلروفیل b شد (جدول ۴). تغییرات محتوای کلروفیل b با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، روند افزایشی نشان داد، به طوری که محتوای

کلروفیل a و کلروفیل کل برگ تحت تأثیر برهم کنش تنش شوری و محلول پاشی قرار گرفت (جدول ۲). صرف نظر از تیمارهای محلول پاشی، محتوای کلروفیل a با بالا رفتن سطح شوری کاهش یافت، به طوری که کمترین محتوای کلروفیل a در تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۶). از طرفی در تیمار شاهد و سطوح شوری ۲۵ و ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم، افزایش غلظت اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک باعث افزایش محتوای کلروفیل a شد. در سطح

کلروفیل b در غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نسبت به شاهد به ترتیب افزایش ۷ و ۱۳ درصدی داشتند (جدول ۵).

در تیمار شاهد و شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک سبب افزایش محتوای کلروفیل a+b برگ شدند (جدول ۶). در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به ترتیب افزایش ۵ و ۹ درصدی و اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار افزایش ۷ درصدی محتوای کلروفیل a+b برگ نسبت به شاهد را سبب شدند. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به ترتیب سبب افزایش ۱۹ و ۲۴ محتوای کلروفیل a+b برگ نسبت به شاهد شدند اما تأثیر محلول‌پاشی اسید جاسمونیک بر این پاسخ گیاهی معنی‌دار نبود (جدول ۶).

صدمه به صفات رویشی و فیزیولوژیکی در شرایط شوری امری طبیعی است. در واقع تحت تنش شوری میزان یون‌های سمی کلر و سدیم در گیاه افزایش می‌یابد و می‌توان بخشی از اختلال در صفات فیزیولوژیکی و کاهش عملکرد را به تجمع این یون‌ها نسبت داد (Tabatabaei, 2006). بررسی منابع نشان می‌دهد که یک رابطه منفی بین میزان سدیم بافت گیاه و صفات رویشی وجود دارد (Zayed et al., 2011). از سوی دیگر محققان گزارش کردند که کاربرد اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک با بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی و افزایش فتوسنتز سبب بهبود محتوای کلروفیل و صفات رویشی گیاه می‌گردند (Hosseini Farahi et al., 2017). احتمالاً، افزایش محتوای رنگدانه‌های کلروفیل ناشی از بهبود فعالیت آنزیم‌هایی مانند پروتوکلروفیلید ردوکتاز و α -آمینو لوولینیک اسید دهیدراتاز است که در بیوسنتز کلروفیل نقش دارند (Noor et al., 2022). طبق تحقیقات گزارش شده است که گیاهان کلروفیل را از طریق دو آنزیم اصلی به نام‌های α -آمینو لوولینیک اسید دهیدراتاز و پروتوکلروفیلید ردوکتاز تولید می‌کنند (Khan et al., 2019).

نشت یونی، محتوای نسبی آب برگ و مالون دی‌آلدهید:

اثر سطوح شوری، محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و برهمکنش آنها بر صفات نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود، اما صفت مالون دی‌آلدهید فقط تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (جدول ۲). کمترین نشت یونی در سطح شاهد شوری مشاهده شد، اما افزایش تنش شوری سبب افزایش نشت یونی در بادرشبو گردید (جدول ۶). در سطح شاهد تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی مشاهده نشد، اما در تنش شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار سبب کاهش ۱۹ درصدی نشت یونی شد. در تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، افزایش غلظت اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک باعث کاهش معنی‌دار نشت یونی برگ شد. هم‌چنین در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، کمترین نشت یونی برگ در تیمار اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۶).

محتوای نسبی آب برگ با افزایش تنش شوری کاهش معنی‌داری نشان داد، به‌طوری‌که کمترین محتوای نسبی آب برگ در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بدست آمد (جدول ۶). در سطح شاهد اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد شد. هم‌چنین در تنش شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار به ترتیب سبب افزایش ۸ و ۱۳ درصدی محتوای نسبی آب برگ شد. در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، تیمار اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۶).

افزایش سطوح شوری سبب افزایش مالون دی‌آلدهید در بادرشبو گردید (جدول ۴). بیشترین مالون دی‌آلدهید در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد که نسبت به سطح شاهد، افزایش ۵۲ درصدی نشان داد. در غلظت ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نیز مالون دی‌آلدهید نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴).

تنش شوری از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو سبب افزایش

تولید و تجمع رادیکال‌های آزاد فعال می‌شود که به نوبه خود اکسیدشدن پروتئین‌ها و لیپیدها را به دنبال دارد (Garcia-Caparrros *et al.*, 2019). کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم باعث پایداری غشای سلولی شده و اکسیداسیون لیپیدی کمتری اتفاق می‌افتد. مالون دی‌آلدئید محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غشا سلولی و یکی از مهم‌ترین علامت‌های بروز خسارت در غشا است (Davey *et al.*, 2005). کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مثل اسید سالیسیلیک با کاهش تخریب غشا سلولی سبب کاهش نشت یونی و تولید مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش شوری می‌شود (Pai and Sharma, 2024). همچنین محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک با القای بیان ژن‌های خاص و تأثیر مثبت آن بر یکپارچگی غشای سلولی سبب کاهش خسارت تنش شوری می‌گردند (Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani, 2018; Saleem *et al.*, 2021). کاربرد اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک ممکن است کاهش آب ناشی از تنش شوری را در ساختار سلول بهبود بخشند و با افزایش پتانسیل آب در سلول‌های محافظ روزه، هدایت روزه را افزایش دهند. این مکانیسمی است که تا حدی اثرات مضر ناشی از نمک را بر فتوسنتز و هدایت روزه‌ای کاهش می‌دهد (Nimir *et al.*, 2016).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز: اثر سطوح شوری
و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر فعالیت کاتالاز و پراکسیداز معنی‌دار بود، اما تأثیر برهم‌کنش این تیمارها فقط بر فعالیت پراکسیداز معنی‌دار شد (جدول ۲). کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار شاهد شوری مشاهده شد و افزایش سطوح شوری سبب افزایش معنی‌دار آن شد (جدول ۴). در رابطه با اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در شاهد مشاهده شد و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و اسید جاسمونیک ۰/۵ و ۰/۱ میلی‌مولار سبب کاهش فعالیت کاتالاز گردید (جدول ۵).

فعالیت آنزیم پراکسیداز با افزایش شوری روند افزایشی نشان داد (جدول ۶). در سطح شاهد شوری، اختلاف

معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی مشاهده نشد. در شوری ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، فعالیت آنزیم پراکسیداز با محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک کاهش معنی‌داری نشان داد. در شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، فعالیت آنزیم پراکسیداز با محلول‌پاشی اسید جاسمونیک ۰/۱ میلی‌مولار کاهش ۱۷ درصدی نشان داد (جدول ۶). همچنین در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و ۰/۵ و ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شاهد شد (جدول ۶).

گیاهان با تنظیم واکنش‌های اکسیداتیو و القا دفاع آنتی‌اکسیدانی به تنش‌های محیطی پاسخ می‌دهند (Garcia-Caparrros *et al.*, 2021). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در پاسخ به گونه‌های فعال اکسیژن حاصل از تنش شوری تولید می‌شوند (Ahmad *et al.*, 2022). از سوی دیگر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی سبب تغییر در املاح سازگار و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌گردند (Ahmad Lone *et al.*, 2022). در گیاهان تحت تنش، اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک از طریق سیگنال‌دهی سلولی نقش مهمی در مکانیسم دفاعی دارند (Hoque *et al.*, 2020; Raza *et al.*, 2021) و باعث کاهش فعالیت این آنزیم‌ها می‌شوند. به‌طورکلی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنزیمی به بقای گیاه در شرایط نامطلوب کمک می‌کند، اما زمانی که فشار ناشی از تنش گیاهی کاهش پیدا کند، فعالیت این آنزیم‌ها نیز کاهش پیدا خواهد کرد. اهمیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همبستگی مثبت بین بیان این آنزیم‌ها و سطح تحمل به تنش توسط محققان گزارش شده است (Mallik *et al.*, 2011).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش سطوح شوری غلظت یون‌های سدیم و کلر در اندام هوایی گیاه تا حد سمیت افزایش می‌یابد که به نوبه خود کاهش معنی‌دار صفات رویشی و فیزیولوژیکی را به دنبال خواهد داشت. از آنجا که تیمار ۰/۱ میلی‌مولار اسید

طریق افزایش بیان ژن‌های مقاومت و با افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش خسارت‌های ناشی از شوری گردیده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک در بهبود اثرات سوء شوری تا حدی مرتبط با بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی در شرایط شور است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط حاکم بر این آزمایش، غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک عملکرد مناسب‌تری در بهبود رشد گیاه بادرشبو داشته‌اند.

جاسمونیک و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تأثیر محسوسی بر کاهش غلظت سدیم و کلر در اندام هوایی داشت، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بخشی از اثر این دو تنظیم‌کننده‌های رشد در بهبود عملکرد گیاه به علت تأثیر آن بر کاهش جذب سدیم و کلر است. همچنین شوری محتوای نسبی آب برگ را در گیاه بادرشبو کاهش داد. پس اثر سوء شوری بر رشد گیاه علاوه بر افزایش غلظت یون‌های سمی سدیم و کلر تا حدی نیز مربوط به کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت یونی است. از سوی دیگر تیمار ۰/۱ میلی‌مولار اسید جاسمونیک و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به احتمال زیاد از

منابع

- برقی، علی، و قلی‌پوری، عبدالقیوم (۱۳۹۹) تأثیر محلولپاشی جاسمونیک اسید و ۲۴-اپی براسینولید بر عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش شوری. *نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۶ (۵)، ۸۳۷-۸۵۰.
<https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.342501.2761>
- رضایی‌نسب، فرشته، پازکی، علی‌رضا، و منعم، رضا (۱۳۹۷). اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک بر قندهای محلول، پرولین و آنزیم‌های اسطوخودوس (*Lavendula officinalis* L.) تحت تنش شوری. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۱ (۱)، ۱۵۹-۱۶۹.
<https://doi.org/10.22077/escs.2017.357.1070>
- Abd El-Baky, H. & El-Baroty, G. (2008). Chemical and biological evaluation of the essential oil of Egyptian moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *International Journal of Integrative Biology*, 3, 202-208.
- Ahmad Lone, W., Majeed, N., Yaqoob, U., & John, R. (2022). Exogenous brassinosteroid and jasmonic acid improve drought tolerance in *Brassica rapa* L. genotypes by modulating osmolytes, antioxidants, and photosynthetic system. *Plant Cell Reports*, 41(3), 603-617. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02763-9>
- Ali, A. Y. A., Ibrahim, M. E. H., Zhou, G., Zhu, G., Elsiddig, A. M. I., Suliman, M. S. E., Elradi, S. B. M., & Salah, E.G. I. (2022). Interactive impacts of soil salinity and jasmonic acid and humic acid on growth parameters, forage yield, and photosynthesis parameters of sorghum plants. *South African Journal of Botany*, 146, 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.027>
- Arnon, D. E. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). *Plant Physiology*, 24(1), 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Banuls, J. & Primo-Millo, E. (1995). Effects of salinity on some citrus scion-rootstock combinations. *Annals of Botany*, 76(1), 97-102. <https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1083>
- Bijani, F. & Madandoust, M. (2023). Comparison of chemical composition and biological activities of *Dracocephalum moldavica* L. shoots in different regions of Fars (Southern Iran). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 26(2), 378-385. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.2187263>
- Cakmak, I. & Horst, J. H. (1991). Effects of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiologia Plantarum*, 83, 463-468. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00121.x>
- Dar, T. A., Uddin, M., Khan, M. M. A., Hakeem, K. R., & Jaleel, H. (2015). Jasmonates counter plant stress: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 115, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.02.010>
- Davey, M., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J., & Swennen, R. (2005). High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistry*, 347, 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2005.09.041>
- Farhangi-Abri, S. & Ghassemi-Golezani, K. (2018). How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 1010-1016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.070>

- Farooq, M., Wahid, A., & Lee, D. J. (2009). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 937-945. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0307-2>
- Garcia-Caparrós, P., De Filippis, L., Gul, A., Hasanuzzaman, M., Ozturk, M., Altay, V., & Lao, M. T. (2021). Oxidative stress and antioxidant metabolism under adverse environmental conditions: A review. *The Botanical Review*, 87, 421-466. <https://doi.org/10.1007/s12229-020-09231-1>
- Garcia-Caparrós, P., Hasanuzzaman, M., & Lao, M. T. (2019). Oxidative stress and antioxidant defense in plants under salinity. In: *Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms*. (eds. Hasanuzzaman, P., Fotopoulos, V., Nahar, K., and Fujita, M.) Pp. 291-309. Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch12>
- Ghanati, F., Morita, A., & Yokota, H. (2002). Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cell. *Soil Science and Plant Nutrition*, 48, 357-364. <https://doi.org/10.1080/00380768.2002.10409212>
- Ghassemi-Golezani, K., & Farhadi, N. (2022). The efficacy of salicylic acid levels on photosynthetic activity, growth, and essential oil content and composition of pennyroyal plants under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 1953-1965. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10515-y>
- Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplast kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- Hoque, T. S., Sohag, A. A. M., Burritt, D. J., & Hossain, M. A. (2020). Salicylic acid-mediated salt stress tolerance in plants. *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture*, 1, 1-38. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_1
- Hosseini Farahi, M., Dastyaran, M., & Yosefi, F. (2017). Effect of polyamines (PAs) and humic acid (HA) on growth, yield and concentration of mineral elements in shoot and root of strawberry. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 18(2), 209-220. DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.8.3
- Kashchenko, N. I., Jafarova, G. S., Isaev, J. I., Olennikov, D. N., & Chirikova, N. K. (2022). Caucasian dragonheads: Phenolic compounds, polysaccharides, and bioactivity of *Dracocephalum austriacum* and *Dracocephalum botryoides*. *Plants*, 11(16), 2126. <https://doi.org/10.3390/plants11162126>
- Kaur, H., Hussain, S. J., Kaur, G., Poor, P., Alamri, S., Siddiqui, M. H., & Khan, M. I. R. (2022). Salicylic acid improves nitrogen fixation, growth, yield and antioxidant defence mechanisms in chickpea genotypes under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 2034-2047. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10592-7>
- Khan, A., Kamran, M., Imran, M., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A., Al-Amri, I., Lee, I. J., & Khan, A. L. (2019). Silicon and salicylic acid confer high-pH stress tolerance in tomato seedlings. *Scientific Reports*, 9, 19788. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55651-4>
- Kordrostami, M., & Rabiei, B. (2019). Salinity stress tolerance in plants. In: *Plant Abiotic Stress Tolerance: Physiological, Molecular, and Biotechnological Approaches*. (eds. Hasanuzzaman, P., Hakeem, K. R., Nahar, K., & Alharby, H.) Pp. 101-127. Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0>
- Lotfi, R., Abbasi, A., Pessarakli, M., Rastogi, A., Kalaji, H. M., & Alizadeh, K. (2024). A comparison of jasmonic acid and salicylic acid-induced salinity stress tolerance in safflower plants, particularly on sodium (Na) and potassium (K) nutrient contents. *Journal of Plant Nutrition*, 47(4), 515-528. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2280125>
- Lotfi, R., Ghassemi-Golezani, K., & Pessarakli, M. (2020). Salicylic acid regulates photosynthetic electron transfer and stomatal conductance of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salinity stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101632. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101635>
- Maham, M., Akbari, H., & Delazar, A. (2013). Chemical composition and antinociceptive effect of the essential oil of *Dracocephalum moldavica* L. *Pharmaceutical Sciences*, 18(4), 187-192.
- Mallik, S., Nayak, M., Sahu, B., Panigrahi, A., & Shaw, B. (2011). Response of antioxidant enzymes to high NaCl concentration in different salt-tolerant plants. *Biologia Plantarum*, 55, 191-195. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0029-3>
- Mishra, P., Mishra, J., & Arora, N. K. (2021). Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants—recent developments and prospects: A review. *Microbiological Research*, 252, 126861. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126861>
- Ndiate, N. I., Saeed, Q., Haider, F. U., Liqun, C., Nkoh, J. N., & Mustafa, A. (2021). Co-application of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance, growth and lipid metabolism of maize (*Zea mays* L.) in an alkaline soil. *Plants*, 10(11), 2490. <https://doi.org/10.3390/plants10112490>
- Nimir, N. E. A., Zhou, G., Guo, W., Ma, B., Lu, S., & Wang, Y. (2016). Effect of foliar application of GA3, kinetin, and salicylic acid on ions content, membrane permeability, and photosynthesis under salt stress of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Canadian Journal of Plant Science*, 97(3), 525-535. <https://doi.org/10.1139/cjps-2016-0110>
- Noor, J., Ullah, A., Saleem, M. H., Tariq, A., Ullah, S., Waheed, A., Okla, M. K., Al-Hashimi, A., Chen, Y., & Ahmed, Z. (2022). Effect of jasmonic acid foliar spray on the morpho-physiological mechanism of salt stress tolerance in two soybean varieties (*Glycine max* L.). *Plants*, 11(5), 651. <https://doi.org/10.3390/plants11050651>

- Pai, R., & Sharma, P. K. (2024). Exogenous supplementation of salicylic acid ameliorates salt-induced membrane leakage, ion homeostasis and oxidative damage in sorghum seedlings. *Biologia*, 79, 23-43. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01554-9>
- Patterson, B., Macrae, E., & Ferguson, I. (1984). Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). *Analytical Biochemistry*, 139(2), 487-492. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(84\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(84)90039-3)
- Rasheed, F., Anjum, N. A., Masood, A., Sofo, A., & Khan, N. A. (2020). The key roles of salicylic acid and sulfur in plant salinity stress tolerance. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(5), 1891-1904. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10257-3>
- Raza, A., Charagh, S., Zahid, Z., Mubarik, M. S., Javed, R., Siddiqui, M. H., & Hasanuzzaman, M. (2021). Jasmonic acid: A key frontier in conferring abiotic stress tolerance in plants. *Plant Cell Reports*, 40(5), 1513-1541. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02614-z>
- Sairam, R. K., Dharmar, K., Chinnusamy, V., & Meena, R. C. (2009). Water logging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*). *Journal of Plant Physiology*, 166(6), 602-616. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.09.005>
- Saleem, M., Fariduddin, Q., & Castroverde, C. D. M. (2021). Salicylic acid: A key regulator of redox signalling and plant immunity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 168, 381-397. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.10.011>
- Salimi, F., Shekari, F., & Hamzei, J. (2014). The effects of salinity and foliar application of methyl jasmonate on the rate of photosynthesis, stomatal conductance, water use efficiency and yield of German chamomile. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(2), 328-334. <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i2.22635>
- Sanchez-Romera, B., Ruiz-Lozano, J. M., Li, G., Luu, D. T., Martinez-Ballesta, M. C., Carvajal, M., Zamarreno, A. M., Garcia-Mina, J. M., Maurel, C., & Aroca, R. (2014). Enhancement of root hydraulic conductivity by methyl jasmonate and the role of calcium and abscisic acid in this process. *Plant, Cell and Environment*, 37(5), 995-1008. <https://doi.org/10.1111/pce.12214>
- Sheteiwy, M. S., Shao, H., Qi, W., Daly, P., Sharma, A., Shaghaleh, H., Hamoud, Y. A., El-Esawi, M. A., Pan, R., & Wan, Q. (2021). Seed priming and foliar application with jasmonic acid enhance salinity stress tolerance of soybean (*Glycine max* L.) seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(5), 2027-2041. <https://doi.org/10.1102/jsfa.10822>
- Tabatabaei, S. J. (2006). Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. *Scientia Horticulturae*, 108, 432-438. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.016>
- Taheri, Z., Vatankhah, E., & Jafarian, V. (2020). Methyl jasmonate improves physiological and biochemical responses of *Anchusa italica* under salinity stress. *South African Journal of Botany*, 130, 375-382. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.01.026>
- Takeuchi, K., Gyohda, A., Tominaga, M., Kawakatsu, M., Hatakeyama, A., Ishii, N., Shimaya, K., Nishimura, T., Riemann, M., & Nick, P. (2011). RSOsPR10 expression in response to environmental stresses is regulated antagonistically by jasmonate/ethylene and salicylic acid signaling pathways in rice roots. *Plant Cell Physiology*, 52(9), 1686-1696. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr105>
- Teakle, N. L., & Tyerman, S. D. (2010). Mechanisms of Cl⁻ transport contributing to salt tolerance. *Plant, Cell and Environment*, 33(4), 566-589. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02060.x>
- Wang, Z., Dong, S., Teng, K., Chang, Z., & Zhang, X. (2022). Exogenous salicylic acid optimizes photosynthesis, antioxidant metabolism, and gene expression in perennial ryegrass subjected to salt stress. *Agronomy*, 12(8), 1920. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081920>
- Weatherley, P. E. (1950). Studies in water relations of cotton plants, the field measurement of water deficit in leaves. *New Phytologist*, 49(1), 81-87. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x>
- Yadav, S. P., Bharadwaj, R., Nayak, H., Mahto, R., Singh, R. K., & Prasad, S. K. (2019). Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(3), 1793-1798.
- Zayed, B. A., Salem, A. K. M., & El-Sharkawy, H. M. (2011). Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 7(2), 179-184.
- Zhan, M., Ma, M., Mo, X., Zhang, Y., Li, T., Yang, Y., & Dong, L. (2023). *Dracocephalum moldavica* L.: An updated comprehensive review of its botany, traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and application aspects. *Fitoterapia*, 105732. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2023.105732>
- Zorb, C., Geilfus, C. M., & Dietz, K. J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant Biology*, 21(1), 31-38. <https://doi.org/10.1111/plb.12884>

Improvement of growth and physiological traits of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) by foliar spraying of salicylic acid and jasmonic acid under salinity stress conditions

Majid Rajaie ^{1*}, Abolhasan Keshvarz ²

¹ Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

² Soil Science Department, Islamic Azad University, Darab Branch, Darab, Iran
(Received: 2024/09/14, Accepted: 2024/11/12)

Abstract

One of the important challenges of agricultural production is the growing trend of salinity stress. In recent years, the pseudo-growth plant hormones have been used to reduce the adverse effects of salinity stress. This research was conducted in the form of a factorial completely randomized block design in 1401-1402 at Darab city. The first factor was four levels of salinity, including 0, 25, 50 and 100 mM of sodium chloride in irrigation water and the second factor was foliar spraying at five levels, consisting of control, salicylic acid 0.5 and 1 mM and jasmonic acid 0.05 and 0.1 mM. Results showed that an increase in salinity level caused an increase in the content of sodium, chlorine and ionic leakage and a decrease in the relative water content and chlorophyll of the leaves. At 25 mM of sodium chloride, foliar application of 1 mM salicylic acid caused a 19% decrease in ion leakage and a 13% increase in relative water content of leaves. In salinity of 50 mM sodium chloride, foliar application of 1 mM salicylic acid and 0.1 mM jasmonic acid caused a 6 and 10% increase in shoot dry weight, respectively, compared to the control. Also, 0.05 and 0.1 mM of jasmonic acid increased the root dry weight by 10 and 14%, respectively, compared to the control. In fact, the effect of jasmonic acid and salicylic acid in improving the adverse effects of salinity was partly related to the improvement of physiological traits in saline conditions. Also, it seems that the concentration of 0.1 mM of jasmonic acid and 1 mM of salicylic acid performed better under salt stress conditions.

Keywords: Catalase, Peroxidase, Ion leakage, Chlorophyll, Malondialdehyde

Corresponding author, Email: rajaie.majid@yahoo.com