مقاله پژوهشی

واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گل راعی (*Hypericum perferatum*) در پاسخ به تنش شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

سارا علی‌نیان جوزدانی[۱]، محمد رفیعی الحسینی[۱*]، جمشید رزمجو[۲] و بابک بحرینی‌نژاد[۳]

[۱] گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، [۲] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۳] بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰٤، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۲٦)

چکیده

تنش شوری یکی از عمده‌ترین موانع در تولید موفق محصولات کشاورزی است. ترکیبات هورمونی مانند اسید سالیسیلیک به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی می‌تواند اثرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متفاوتی در گیاهان تحت تنش شوری ایفا کند. در پژوهش حاضر اثر غلظت‌های مختلف سدیم کلرید (۲، ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌مولار) بر محتوای نسبی آب برگ، پرولین، آنتوسیانین، فنل، فلاونوئید و ماده خشک ریشه و اندام هوایی در طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. زمانی‌که گیاهان به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری رسیدند، محلول‌پاشی دو مرتبه و با فاصله زمانی هفت روز انجام شد و بعد از آن تیمار شوری آغاز گردید. نتایج نشان داد تیمار شوری باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و ماده خشک اندام هوایی و ریشه شد، درحالی‌که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش این صفات تحت شرایط تنش شوری شد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک منجر به افزایش پرولین و آنتوسیانین برگ به‌ویژه در سطح ٦ دسی‌زیمنس بر متر شوری شد. تنش شوری شدید و اسید سالیسیلیک در سطح ۰/۲۵ میلی‌مولار مقدار فنل برگ و ریشه را به‌ترتیب ۱۳ و ۱۷ درصد افزایش دادند. بیشترین افزایش فلاونوئید برگ و ریشه برابر ٦٦ و ۸۹ درصد در تنش شوری شدید با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد با استفاده از غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک می‌توان اثرات منفی تنش شوری به‌ویژه در سطح ٦ دسی‌زیمنس بر متر سدیم کلرید در گیاه گل راعی را کاهش داد و به‌علاوه موجب افزایش مقاومت این گیاه شد.

کلمات کلیدی: آنتوسیانین، پرولین، فلاونوئیدها، فنل، محتوای آب نسبی

مقدمه

فاکتورهای محیطی متعددی بر رشد و نمو و تولید محصول در گیاهان تأثیر می‌گذارند. تنش شوری پس از تنش خشکی، عمده‌ترین تنش محیطی به شمار می‌رود که از طریق کاهش پتانسیل اسمزی و اختلال در جذب برخی عناصر غذایی، رشد و عملکرد محصولات زراعی را محدود می‌کند (شهبازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹٤). براساس تعریف شوری و با توجه به مطالعات انجام‌شده، ٤۱ میلیون هکتار از زمین‌های ایران (۲۵

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m_rafiee_1999@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]

درصد) دارای خاک شور با هدایت الکتریکی بیشتر از ٤ دسی‌زیمنس بر متر هستند (Mesgaran *et al.*, 2017). به‌طور طبیعی همواره در گیاهان به جهت ممانعت از تنش‌ها، واکنش‌هایی صورت می‌گیرد و در گونه‌های مختلف گیاهی، مقادیر متفاوتی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی سنتز می‌شود که آنها را در مقابل گونه‌های مضر اکسیژن محافظت می‌کند (Parida and Das, 2005). برای مثال، گیاهان سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی قوی مانند آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی مختلفی را بکار می‌اندازند که مسئول حذف و یا غیرفعال کردن گونه‌های فعال اکسیژن تجمع‌یافته در گیاهان تحت تنش هستند و باعث افزایش تحمل گیاهان به این شرایط می‌شوند (Chai *et al.*, 2005). فلاونوئیدها و ترکیبات فنولی علاوه بر این‌که آنتی‌اکسیدان‌های قوی هستند جز متابولیت‌های ثانویه گیاهی نیز محسوب می‌شوند. به‌طور کلی باید گفت یکی از مهم‌ترین عواملی که تولید متابولیت‌های ثانویه را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد تنش‌های محیطی است (Bernstein *et al.*, 2010). به‌نظر می‌رسد که شوری نیز به‌عنوان یکی از تنش‌های محیطی واردشده بر گیاهان با فعال‌سازی تعدادی از مکانیسم‌های سلولی منجر به تحریک و افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه موجود در سلول گیاهی می‌شود و بر فرایند تولید این ترکیبات تأثیر می‌گذارد (Ahl and Omer, 2011). بسیاری از اثرات فیزیولوژیک شوری در گیاه ممکن است در اثر تغییر در توازن هورمون‌های گیاهی به‌وجود آیند. محتوای نسبی آب برگ که همبستگی بالایی با پتانسیل آب برگ دارد، یکی دیگر از تغییرات ایجادشده توسط شوری در گیاه است (Liu *et al.*, 2016). کاهش محتوای نسبی آب برگ در ابتدا منجر به بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و با افزایش شوری منجر به توقف انتقال الکترون و ممانعت نوری در چرخه فتوسنتزی می‌شود (شهبازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹٤). تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید سالیسیلیک، با ایجاد توازون در محتوای هورمون‌های گیاهی، در کنترل پاسخ‌های گیاه به شوری نقش مهمی دارند (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2015). اسید سالیسیلیک ($C_7H_6O_3$) یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک (SA) و ترکیبات مربوطه به گروهی از ترکیبات فنلی تعلق دارند که نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف در خلال رشد و نمو گیاه مثل جذب یون، فتوسنتز و جوانه‌زنی بسته به غلظت بکاررفته، گونه گیاهی، دوره رشدی و شرایط محیطی ایفا می‌کند. اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری روی بسیاری از فرایندهای بیوشیمیایی گیاه اثر می‌گذارد (پیراسته انوشه و همکاران، ۱۳۹۵) و با ایجاد سطح خفیفی از تنش اکسیداتیو بیان ژن‌های سنتز ترکیبات فنلی و فلاونوئید را افزایش می‌دهد. این ماده همچنین به‌عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Gondor *et al.*, 2016).

گیاه گل راعی (*Hypericum perforatum* L.) متعلق به خانواده Hypericaceae بوده و بیش از ٤٦۹ گونه در دنیا دارد که تنها ۱۹ گونه آن در ایران رویش دارند (Zobayed *et al.*, 2005). از نظر خواص دارویی و درمانی گل راعی مهم‌ترین گونه این جنس به‌شمار می‌رود و امروزه کاربرد وسیعی در درمان افسردگی خفیف تا متوسط دارد و سابقه استفاده سنتی از این گیاه دارویی به بیش از ۲۰۰۰ سال پیش می‌رسد (Zobayed *et al.*, 2005). تاکنون طیف گسترده‌ای از ترکیبات فعال بیولوژیک در گیاهان این جنس شناسایی و گزارش شده است که از جمله می‌توان به نفتودیانترون‌ها (هایپریسین و سودوهایپریسین)، آسیل فلوروگلوسینول‌ها (هایپرفورین و ادهایپرفورین)، زانتون‌ها، فلاونوئیدها و اسانس اشاره داشت (Morshedloo *et al.*, 2015). اسانس‌ها حاوی شمار زیادی از متابولیت‌های ثانویه فرار از جمله ترپن‌ها، ترپنوئیدها، ترکیبات فنلی و مشتقات آلیفاتیک هستند که امروزه علاوه بر استفاده‌های دارویی، درمانی و آرایشی و بهداشتی به‌دلیل داشتن خواص ضدمیکروبی بالا به‌عنوان نگهدارنده در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند و فعالیت آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌میکروبی آنها به‌خوبی مشخص شده است (Burt, 2004).

مطالعات اندکی بر نقش آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند فلاونوئید، آنتوسیانین و فنل و ارتباط بین آنها در جلوگیری و محدودسازی صدمات ناشی از تنش شوری در گیاه گل راعی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]

و نیز تأثیر اسید سالیسیلیک بر این ترکیبات انجام شده است. بنابراین با توجه به اهمیت دارویی گیاه گل راعی، اهداف این مطالعه بررسی فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گل راعی در پاسخ به شوری و تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات شوری بر این فرآیندها است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در فضای آزاد مرکز تحقیقات پارک‌ها و فضای سبز محمودآباد وابسته به شهرداری اصفهان در بهار ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار صورت گرفت. نشاهای رقم مجارستانی در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر کاشته شدند. برای خاک گلدان‌ها از ترکیب خاک مزرعه و خاکبرگ به نسبت ۱:۳ استفاده شد. هر گلدان دارای ۳ نشا بود و تا قبل از شروع تیمارها آبیاری با آب مزرعه (با هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر) انجام گرفت. محلول‌پاشی پس از دوره استقرار گیاهان و زمانی‌که گیاهان به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری رسیدند آغاز شد. محلول‌پاشی اسید سالسیلیک با غلظت صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌مولار در اوایل صبح روی اندام هوایی و توسط سم‌پاش دستی به گونه‌ای که سطح برگ کاملاً خیش شود انجام شد و پس از هفت روز، دوباره تکرار شد (Qados, 2015).

هفت روز بعد از محلول‌پاشی دوم با افزودن تدریجی سدیم کلرید به آب مزرعه اعمال شوری آغاز شد (در کل دوره رشد دو مرحله).

گیاهان تحت آبیاری با آب‌شور و با هدایت‌های الکتریکی ۲ (آب مزرعه)، ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفتند. آبیاری با آب‌شور به فاصله زمانی هر سه روز یکبار صورت گرفت. جهت جلوگیری از تجمع نمک و شوک اسمزی در گلدان‌ها، افزایش نمک به‌صورت تدریجی بود؛ به‌طوری‌که در هر بار آبیاری به میزان ۲ دسی‌زیمنس بر متر بر شوری آب اضافه شد تا هر تیمار به سطوح شوری مورد نظر برسد. رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی مزرعه نگه داشته شد. مقدار آب مورد نیاز هر گلدان با وزن‌کردن گلدان و اختلاف وزن آن در شرایط آبیاری‌شده و خشک به‌دست آمد.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات: حدود ۳۰ روز بعد از اعمال تیمارهای تنش شوری و در آغاز گلدهی، نمونه‌های تازه از هر دو بخش برگ و ریشه گرفته شد و در فریزر۲۰- تا زمان اندازه‌گیری صفات نگهداری شد.

محتوای نسبی آب برگ Relative Water Content: (RWC) نمونه‌برداری از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته انجام و نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار گرفته و در آزمایشگاه وزن تر برگ‌ها با ترازوی دقیق بر حسب میلی‌گرم اندازه‌گیری شد. سپس تمامی نمونه‌ها در آب‌مقطر قرار داده شده و به‌مدت ٢٤ ساعت در یخچال با دمای ٤ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از ٢٤ ساعت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به‌مدت ٢٤ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری شد و مقدار آب نسبی برگ از طریق معادله زیر محاسبه شد (Mishra and Choudhuri, 1999):

محتوای نسبی آب = (وزن تر – وزن خشک) / (وزن تورژسانس – وزن خشک) × ۱۰۰

پرولین: برای اندازه‌گیری پرولین محتوای بافت برگ و ریشه از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. از بافت برگ و ریشه ۰/۱ گرم توزین و در هاون چینی کاملاً کوبیده شد تا به حالت خمیری در آید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳ درصد به آن اضافه شد. به ۲ میلی‌لیتر محلول، ۲ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین (۱۲۵ میلی‌گرم نین‌هیدرین + ۲ میلی‌لیتر اسید فسفریک ٦ مولار + ۳ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال + ۲ میلی‌لیتر اسید استیک) اضافه شد. محتوی حاصل در حمام آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت گذاشته و سپس لوله‌های محتوی محلول حاصل را در یخ قرار داده، پس از یکی‌شدن دمای آن با دمای محیط به آن ٤ میلی‌لیتر تولوئن اضافه کرده و به‌مدت ۲۰-۱۵ ثانیه بهم‌زده شدند. استانداردهای پرولین را در مقادیر صفر، ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۳ و ۰/۰٤ میکرومول بر میلی‌لیتر تهیه کرده، نمونه‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]

حاصل و استانداردها در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شدند.

آنتوسیانین کل: سنجش آنتوسیانین با متانول اسیدی انجام شد (Wang *et al.*, 2009). در این روش ۰/۱ گرم از بافت برگ در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و کلریدریک اسید خالص به نسبت حجمی ۱:۹۹) کاملاً ساییده و عصاره در لوله‌های آزمایش سر پیچ‌دار ریخته شدند و به‌مدت ۲٤ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. جذب محلول رویی در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

فنل و فلاونوئید کل: محتوای ترکیبات فنلی کل برگ و ریشه با استفاده از معرف فولین- سیکالتیو و اسید گالیک به‌عنوان استاندارد اندازه‌گیری شد (Seevers and Daly, 1970). ۰/۱ گرم از بافت گیاهی در پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد ساییده و به‌مدت ۷۲ ساعت در تاریکی قرار گرفت. سپس ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و ۱ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد به آن اضافه و به حجم ۵ میلی‌لیتر با استفاده از آب‌مقطر دوبار تقطیرشده رسانده شد.در مرحله بعد ۰/۵ میلی‌لیتر از معرف فولین- سیکالتیو ۵۰ درصد و ۱ میلی‌لیتر از سدیم کربنات ۵ درصد به آن اضافه گردید. به‌مدت یک ساعت در دمای اتاق و در تاریکی قرار داده و سپس در طول‌موج ۷۲۵ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر خوانده شدند.

مقدار فلاونوئید براساس روش Krizek و همکاران (۱۹۹۸) انجام گرفت، بدین صورت که ۰/۱ گرم بافت گیاه را در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول اسیدی (اتانول: اسید استیک گلایشال، ۹۹:۱) ساییده و در سانتریفیوژ با دور ۸۰۰۰ به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. سپس در حمام آب گرم با دمای ۸۰ سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد و بلافاصله درون حمام آب یخ قرار گرفت و شدت جذب در طول‌موج ۳۰۰ نانومتر خوانده شد. از متانول اسیدی که همراه با نمونه‌ها درون بن‌ماری قرار داشت به‌عنوان محلول شاهد استفاده شد. غلظت فلاونوئید براساس فرمول زیر برآورد و برحسب میکرومول بر گرم وزن ترگزارش کرد.

$$\text{فلاونوئید} = \left(\frac{|300|}{L(cm)\times\varepsilon(33000\,(M-1cm-1))}\times\frac{V\,(mL)}{m\,(g)}\right)$$

که در آن L: عرض کوت، ε: ضریب خاموشی، V: حجم عصاره و m: وزن نمونه است.

بعد از جمع‌آوری نمونه‌های تازه، گیاهان از گلدان‌ها خارج و خاک اطراف ریشه شسته شد. پس از جداکردن اندام هوایی از ریشه، به‌مدت ٤۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سلسیوس خشک و وزن خشک آنها ثبت گردید.

داده‌های حاصل از دو سال ترکیب و سپس میانگین‌های حاصل از دو سال با استفاده از نرم‌افزار DSAASTAT نسخه ۱۰۱ تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. نمودارها با نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌های محتوای نسبی آب برگ نشان داد تیمار شوری و برهمکنش شوری × اسید سالیسیلیک بر این صفت معنی‌دار بود، اما محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۱). در سطح شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر، تغییری در مقایسه با شاهد مشاهده نشد، اما در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، میزان کاهش محتوای نسبی آب به‌ترتیب ۹ و ۱۳ درصد نسبت به شاهد و شوری متوسط (سطح ٦ دسی‌زیمنس بر متر) بود (شکل ۱). با افزایش شوری تا سطح ۱۰ دسی‌زیمنس برمتر سدیم کلرید، محتوای آب نسبی برگ به‌شدت کاهش یافت، با این وجود تیمارهای محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک، کاهش کمتری نسبت به تیمار محلول‌پاشی با آب داشتند، سطح ۰/۲۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک محتوای آب نسبی را در شرایط تنش شوری ثابت نگه داشت؛ درحالی که سطح ۰/۵ میلی‌مولار محتوای آب نسبی را در شوری متوسط (٦ دسی‌زیمنس بر متر) افزایش داد و سپس کاهش یافت (شکل ۲). چنین روندی می‌تواند به‌علت تجمع بیشتر سدیم در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و ضعف گیاه در

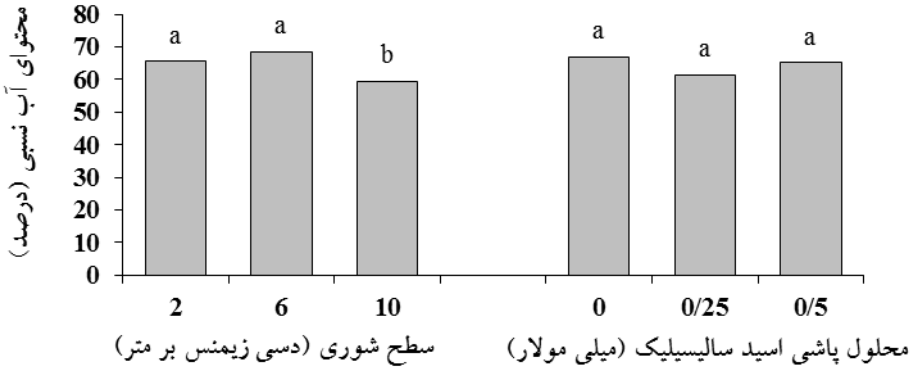
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]

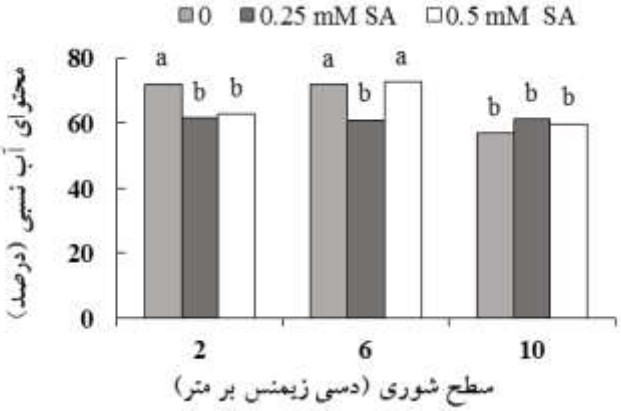
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای تنش شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای آب نسبی، پرولین و آنتوسیانین برگ و ریشه گل راعی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		محتوای آب نسبی	پرولین برگ	پرولین ریشه	آنتوسیانین برگ	آنتوسیانین ریشه
شوری	۲	۱۳۲**	۵۲/۲۰**	۱۲/۹۷**	۰/۷۸**	۰/۰۱^{ns}
اسید سالیسیلیک	۲	٤۹^{ns}	۵۷/۸۲**	۱۳/۳۵**	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۲**
شوری × اسید سالیسیلیک	٤	۵٦*	۵/۷۵*	۵/۲۳**	۰/۳۱**	۰/۰٦*
خطا	۱۸	۱۳	۰/۹۰	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۰۱
ضریب تغییرات (درصد)		۵/٦۲	۸/۲٤	۱۰/۲۱	٦/۸۵	۲۷/۵۰

ns، * و ** به‌ترتیب اختلاف غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد



شکل ۱- اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای آب نسبی برگ (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای آب نسبی برگ (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).

جذب آب بیشتر نسبت به سطح ٦ دسی‌زیمنس بر متر باشد (Bistgani *et al.*, 2019). مشابه نتایج مشاهده‌شده در این آزمایش، شوری در گیاه *Nitraria tangutorum* رطوبت نسبی گیاه را کاهش داد، اما غلظت‌های ۱/۵-۱ اسید سالیسیلیک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]

به‌علت افزایش هورمون آبسزیک اسید (ABA) و القای واکنش‌های ضدتنش، این اثر شوری را تخفیف داد (Liu *et al.*, 2016). محتوای نسبی آب برگ شاخص خوبی از وضعیت آبی گیاه است و منعکس‌کننده ظرفیت نگهداری آب و فعالیت متابولیک بافت گیاهی است (Liu *et al.*, 2016). غلظت ٤٠ میکرومولار اسید سالیسیلیک توانست اثرات مخرب شوری در گیاه حنا را تعدیل کند که این به‌علت نقشی است که این ترکیب در تجمع اسمولیت‌های سازگار در گیاه بازی می‌کند (Farahbakhsh *et al.*, 2017) محتوای آب نسبی بیانگر این است که کاهش در جذب آب، کاهش محتوای آبی و فشار آماس بافت‌های گیاهی را در پی دارد و ایجاد محدودیت در توسعه سلولی و رشد را می‌کند (Tatrai *et al.*, 2016).

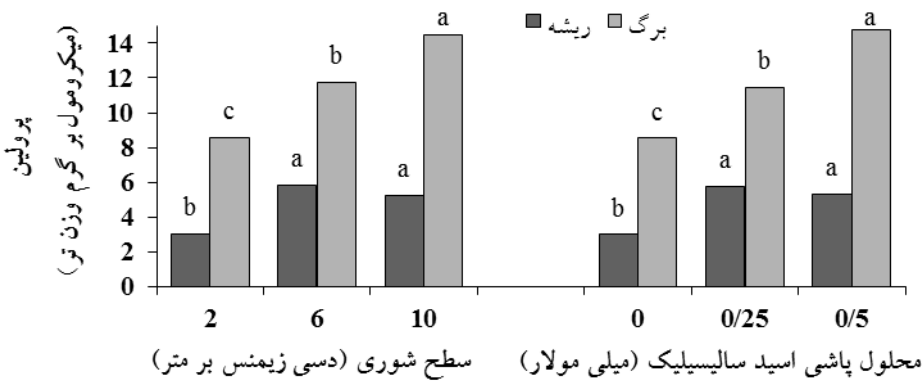
غلظت پرولین برگ و ریشه: تأثیر تیمارهای شوری، اسید سالیسیلیک و برهمکنش آنها بر غلظت پرولین برگ و ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). شوری موجب افزایش در مقدار پرولین برگ به میزان ٣٦ و ٦٨ درصد و ریشه به میزان ۹۱ و ۷۵ درصد در سطوح شوری ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد شد (شکل ۳). در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک پرولین برگ و ریشه افزایش یافت که میزان افزایش در سطوح ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌مولار، در برگ به‌ترتیب ٣٤ و ۷۲ درصد و در ریشه ۹۲ و ۷۸ درصد بود (شکل ۳). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک منجر به افزایش پرولین برگ در شرایط شاهد و تنش شوری گردید که میزان افزایش در سطح ۰/۵ میلی‌مولار بیشتر از۰/۲۵ میلی‌مولار بود (شکل A ٤). بیشترین افزایش برابر با ۹٦ و ۹۳ درصد به‌ترتیب در سطح شوری ۱۰و ۲ دسی‌زیمنس بر متر همراه با محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود (شکل A ٤). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک منجر به افزایش پرولین ریشه در شرایط شاهد و تنش شوری متوسط گردید که این افزایش در سطح شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر بسیار بیشتر بود (شکل B ٤)؛ بدین ترتیب بالاترین افزایش ۲۸۵ و ۲٦۳ درصد در سطح شوری ٦ و محلول‌پاشی ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌مولار بود (شکل B ٤). غلظت بالاتر اسید سالیسیلیک خود به‌واسطه ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه افزایش بیشتری بر سنتز پرولین دارد (Jayakannan *et al.*, 2015). احتمالاً به‌دلیل این که ریشه‌ها در تماس مستقیم با نمک هستند و اولین مانع در مقابل ورود نمک به گیاه هستند، درصد افزایش پرولین ریشه بیشتر از برگ گیاه بود. در گیاه ریحان آستانه تحمل به تنش شوری و پاسخ القاشده توسط اسید سالیسیلیک در دو بخش برگ و ریشه گیاه متفاوت بود؛ کاربرد اسید سالیسیلیک در برگ همراه با سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و در ریشه با سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار پرولین را در این گیاه افزایش داد (Delavari *et al.*, 2010). غلظت‌های متفاوت اسید سالیسیلیک، پاسخ‌های متفاوت ایجاد می‌کند به‌طوری‌که غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک موجب افزایش تدریجی پرولین در شرایط شوری در گیاه درمنه خزری شد؛ درحالی‌که غلظت ۰/۱ میلی‌مولار کاهش پرولین را به‌همراه داشت (Li *et al.*, 2014).

محتوای آنتوسیانین برگ و ریشه: با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس، محتوای آنتوسیانین برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی شوری و برهمکنش شوری × اسید سالیسیلیک و محتوای آنتوسیانین ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهمکنش تیمارهای آزمایشی اسید سالیسیلیک و برهمکنش شوری × اسید سالیسیلیک قرار گرفت (جدول ۱). شوری موجب افزایش آنتوسیانین برگ در سطح شوری متوسط به میزان ٤٤ درصد شد؛ اما شدت‌یافتن سطح تنش موجب کاهش آنتوسیانین شد (شکل ۵). با کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح ۲۵/ میلی‌مولار، مقدار آنتوسیانین کل ریشه ۱۱۲ درصد بیشتر از گیاهان شاهد بود، اما غلظت بیشتر اسید سالیسیلیک مقدار آنتوسیانین ریشه را کاهش داد؛ به‌طوری‌که تفاوت آماری معنی‌داری با شاهد نداشت (شکل ۵).

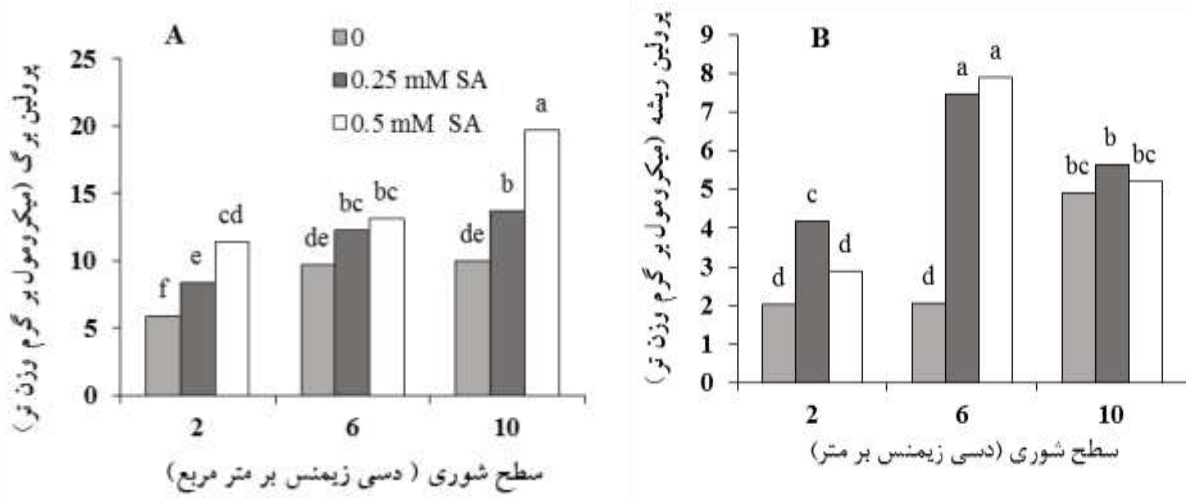
افزایش سطح نمک همراه با کاربرد ۰/۲۵ میلی‌مولار مقدار آنتوسیانین کل برگ را افزایش داد که میزان افزایش در سطح ٦ دسی‌زیمنس بیشتر بود (شکل A ٦). با محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک آنتوسیانین کل برگ در سطوح شوری مختلف ثابت ماند اما در سطح ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به گیاهانی که در همان سطح شوری اسید سالیسیلیک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

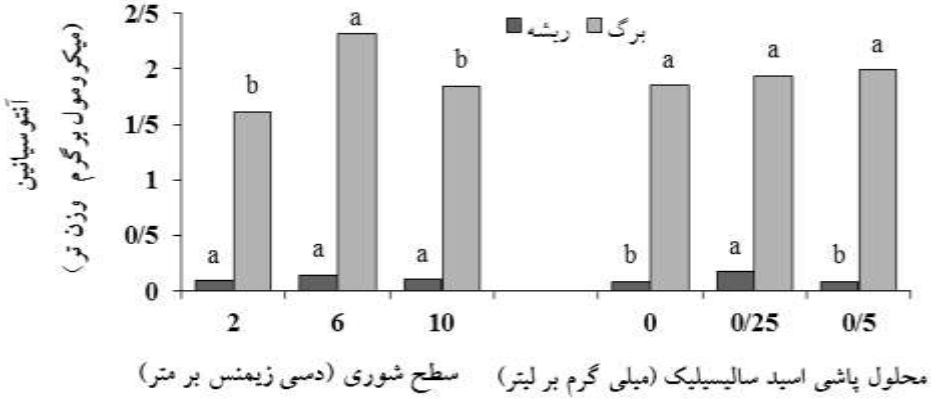
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]



شکل ۳- اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای پرولین ریشه و برگ گل راعی (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).



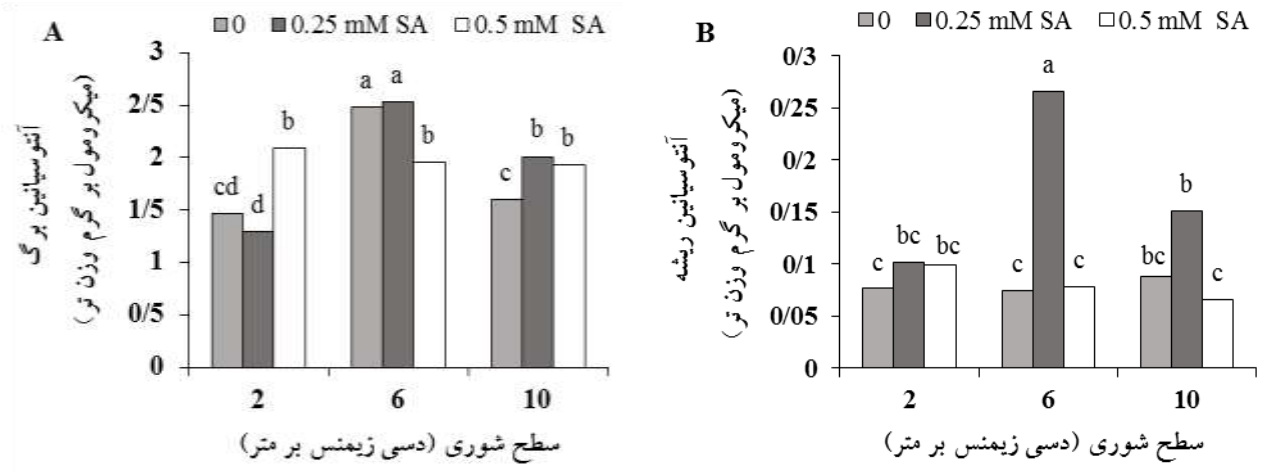
شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر مقدار پرولین برگ (A) و ریشه (B) گل راعی (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).



شکل ۵- اثرات اصلی شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر مقدار آنتوسیانین ریشه و برگ گل راعی (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر مقدار آنتوسیانین برگ (A) و ریشه (B) گل راعی (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).

دریافت نکرده بودند مقدار آنتوسیانین بالاتر بود (شکل A ٦). با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در سطح ۰/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین آنتوسیانین کل ریشه در سطح شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل B ٦). آنتوسیانین به همراه کارتنوئید یک رنگیزه غیرفتوسنتزکننده است که با اهدای هیدروژن، کلات‌کردن فلزات و اتصال پروتئین‌ها فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارد. آنتوسیانین قادر است پتانسیل آبی را ثابت نگه دارد و به‌همین دلیل معمولاً بافت‌های گیاهی با آنتوسیانین بالاتر به تنش مقاوم‌ترند؛ به همین دلیل محتوای نسبی آب درسطح شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر در این آزمایش کاهش نیافته است؛ زیرا در این سطح آنتوسانین برگ به حداکثر مقدار رسیده است (Aldesuquy and Ghanem, 2015). شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار مقدار آنتوسیانین برگ گلرنگ را بالا برد و کاربرد ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک هم در شرایط شور و هم در شرایط غیرشور باعث افزایش آنتوسیانین شد (Shaki *et al.*, 2018). مشابه نتایج این آزمایش که غلظت کمتر اسید سالیسیلیک اثر افزایشی بر آنتوسیانین داشت، استفاده از اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار در شرایط شور باعث افزایش محتوای آنتوسیانین شیرین بیان شد، اما مقدار آنتوسیانین در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و کاربرد ۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به کمترین حد رسید (بهنام‌نیا و شنوایی زارع، ۱۳۹۲).

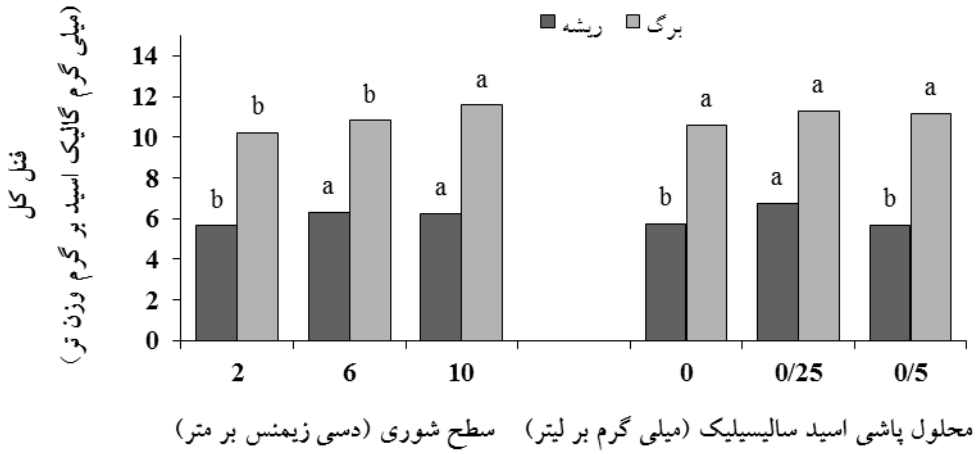
فنل و فلاونوئید کل: نتایج تجزیه واریانس داده‌های جدول ۲ نشان داد محتوای فنل کل برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای شوری و محتوای فنل کل ریشه تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی شوری و اسید سالیسیلیک قرار گرفتند (جدول ۲). شوری موجب افزایش ترکیبات فنلی برگ شد به‌طوری‌که تحت شرایط شوری شدید به میزان ۱۳ درصد نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد (شکل ۷). در سطوح شوری ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس برمتر فنل ریشه به‌ترتیب ۱۲ و ۱۰ درصد افزایش داشت (شکل ۷). با کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح ۰/۲۵ میلی‌مولار، مقدار فنل ریشه ۱۷ درصد بیشتر از گیاهان شاهد بود، اما غلظت بیشتر اسید سالیسیلیک مقدار فنل ریشه را کاهش و به‌مقدار مشابه گیاهان شاهد رساند (شکل ۷). تأثیر برهمکنش شوری و اسید سالیسیلیک بر مقدار فنل کل برگ و ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۲). فنل کل برگ و ریشه به‌ویژه در ریشه معمولاً در گونه یا ارقام متحمل به‌عنوان مکانیسم دفاعی افزایش می‌یابد تا افزایش قابل توجه یون‌های سدیم و گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش دهد (Al Kharusi *et al.*, 2019). سطوح شوری متوسط ۳۰ و ٦۰ میلی‌مولار در آویشن دنایی و باغی از طریق افزایش ترکیبات فنلی تحمل به شوری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای تنش شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر محتوای فنل کل و فلاونوئید کل برگ و ریشه گل راعی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فنل کل برگ	فنل کل ریشه	فلاونوئید کل برگ	فلاونوئید کل ریشه
شوری	۲	۲/۷۳**	۰/۷۹*	۲/٤٥**	۰/۰٥^{ns}
اسید سالیسیلیک	۲	۰/٥۰^{ns}	۲/۱٥**	۲/۸٥*	۱/۲۹*
شوری × اسید سالیسیلیک	٤	۱/۰٦^{ns}	۰/٦۲^{ns}	۱/۱٦**	۰/۷۲**
خطا	۱۸	۰/۲٤	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۰۷
ضریب تغییرات (درصد)		٤/٥۷	٦/۹۷	۸/۱٦	۱۱/۲٥

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

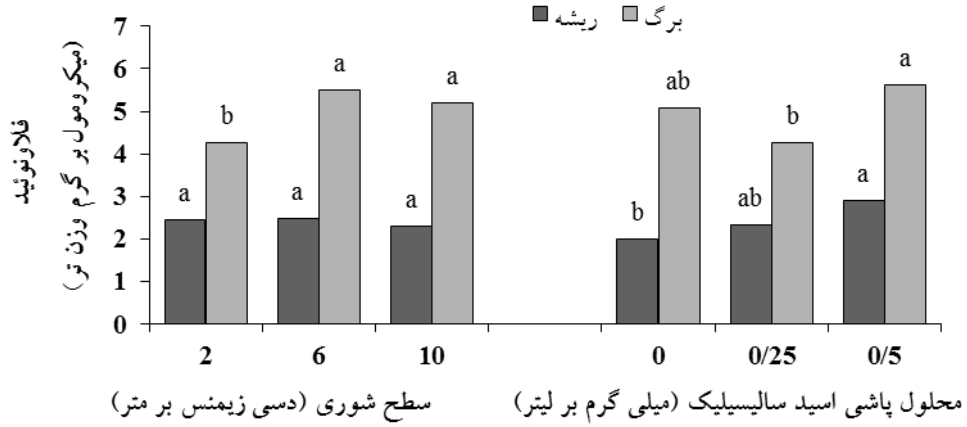


شکل ۷- اثر تنش شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر مقدار فنل ریشه و برگ گل راعی (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).

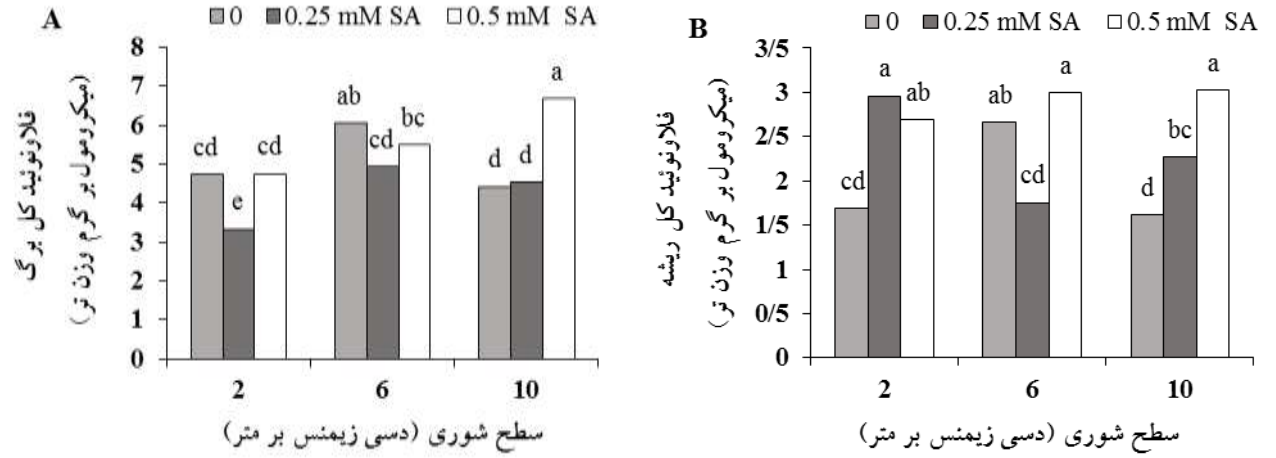
را در گیاه القا کردند (Bistgani *et al.*, 2019). تنش انرژی برانگیخته فراوانی به‌وجود می‌آورد و یکی از راه‌ها برای پخش این انرژی تولید پلی‌فنل‌ها به‌ویژه در ساختارهای فتوسنتزی است (Tattini *et al.*, 2004). نتایج مطالعه‌ای روی آویشن نشان داد که تنش خشکی به‌تنهایی باعث افزایش پلی فنل‌ها در بخش هوایی آویشن شد؛ اما کاربرد اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۲، ۱ و ۳ میلی‌مولار افزایش مضاف بر تنش را ایجاد کرد تا این ترکیبات هم حفاظت نوری انجام دهند و هم در قالب آنتی‌اکسیدان عمل کنند (Agati and Tattini, 2010; Khalil *et al.*, 2018).

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر محتوای فلاونوئید نشان داد اثر تیمارهای شوری، اسید سالیسیلیک و برهمکنش آنها بر محتوای فلاونوئید برگ و اسید سالیسیلیک و برهمکنش شوری و اسید سالیسیلیک بر محتوای فلاونوئید ریشه معنی‌داری شد (جدول ۲). با افزایش میزان نمک در آب آبیاری، فلاونوئید کل برگ ۲۸ و ۲۲ درصد در سطوح ٦ و ۱۰ افزایش یافت (شکل ۸). با کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح ۰/٥ میلی‌مولار، فلاونوئید کل برگ و ریشه به‌ترتیب ۱۱ و ٤٥ درصد بیشتر از شاهد بود و غلظت کمتر اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد در این مقادیر ایجاد نکرد (شکل ۸). بیشترین افزایش فلاونوئید برگ و ریشه برابر با ٦٦ و ۸۹ درصد در تنش شوری شدید و محلول‌پاشی ۰/٥ میلی‌مولار اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]



شکل ۸- اثر تنش شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر مقدار فلاونوئید ریشه و برگ گل راعی (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر مقدار فلاونوئید کل برگ (A) و ریشه (B) گل راعی (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).

سالیسیلیک بود (شکل ۹). شوری و اسید سالیسیلیک هر کدام در مسیرهای فیزیولوژیک متفاوت، موجب تنظیم ژن‌های بیوسنتزی فلاونوئید می‌شوند. همچنین افزایش بیوسنتز فلاونوئیدها با افزایش گلوتاتیون-s-ترانسفراز همراه است. این آنزیم در انتقال فلاونوئیدها به واکوئل به‌منظور پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن نقش دارد (Ahmad. and Prasad, 2012; Gondor *et al*., 2016). این عوامل سبب شد که کاربرد توأم اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری تأثیر مثبت بر مقدار فلاونوئید گیاهانی مانند آویشن دنایی (Bistgani *et al*., 2019; Khalil *et al*., 2018) و بابونه (Kovacik *et al*., 2009) داشته باشد.

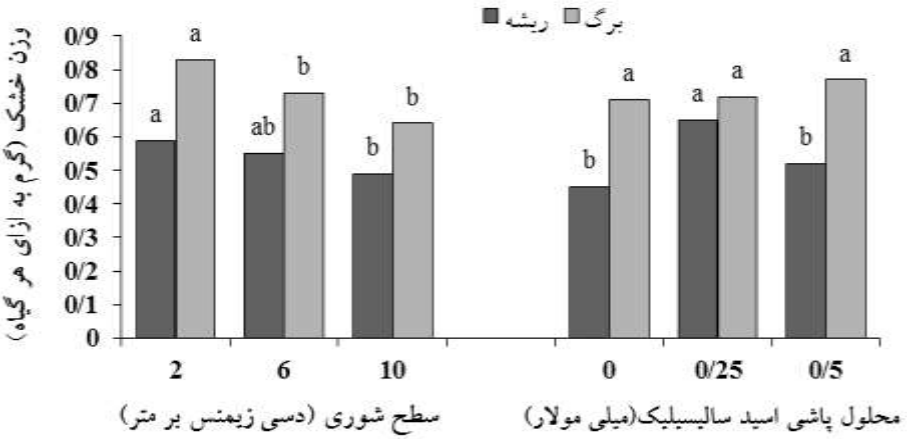
ماده خشک ریشه و اندام هوایی: تأثیر تیمارهای آزمایشی شوری و برهمکنش شوری × اسید سالیسیلیک بر ماده خشک اندام هوایی و تأثیر تیمارهای شوری، اسید سالیسیلیک و برهمکنش آنها بر وزن ماده خشک ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳) و (شکل ۱۰). شوری وزن خشک اندام هوایی را در سطوح شوری ٦ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۱۲ و۲۳ درصد کاهش داد؛ درحالی‌که وزن خشک ریشه تنها در شوری شدید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای تنش شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر ماده خشک اندام هوایی و ریشه گل راعی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		ماده خشک اندام هوایی	ماده خشک ریشه
شوری	۲	۰/۰۴۹**	۰/۰۱۳*
اسید سالیسیلیک	۲	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۶۳**
شوری × اسید سالیسیلیک	٤	۰/۰۰۸*	۰/۰۱۱*
خطا	۱۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۹۷	۸/۰۵

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

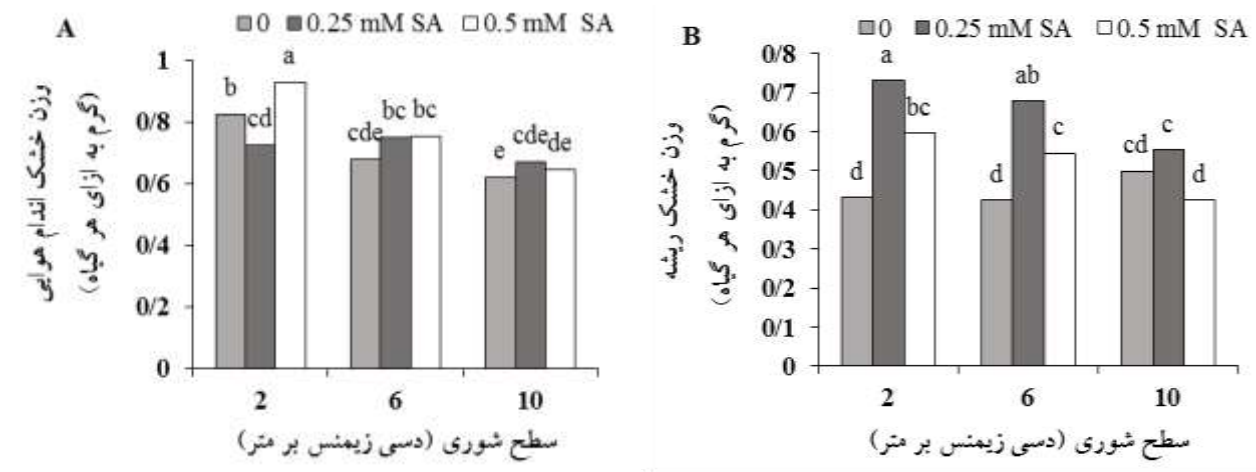


شکل ۱۰- اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه گل راعی (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).

۱۷ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. با کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح ۰/۲۵ میلی‌مولار وزن خشک ریشه ٤٤ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۱۰). افزایش غلظت اسید سالیسیلیک در مقایسه با شاهد تأثیر مثبتی بر وزن خشک ریشه نداشت (شکل ۱۰).

مقایسه میانگین برهمکنش شوری × اسید سالیسیلیک نشان داد با افزایش تیمارهای تنش شوری وزن خشک اندام هوایی و ریشه کاهش یافت، درحالی‌که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث کاهش اثر تنش شوری شد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار عدم‌تنش با محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با ۰/۹۲ گرم و کمترین مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) و عدم‌محلول‌پاشی با ۰/۶۲ گرم بود (شکل A ۱۱). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار در تمام سطوح شوری بالاترین وزن خشک ریشه را دارا بود (شکل B ۱۱). زمانی‌که غلظت نمک بیشتر از شرایط عادی است، محتوای آب در نقطه پژمردگی بالاتر است و به همین دلیل از میزان آب در دسترس کاسته می‌شود. در این شرایط گیاه به جای صرف انرژی در رشد و تولید عملکرد، انرژی را به تنظیمات بیوشیمیایی مورد نیاز برای زنده‌ماندن اختصاص می‌دهد (Hancioglu *et al.*, 2019). افزون بر این در شرایط شوری، همبستگی قوی بین آب ریشه و تولید بیوماس وجود دارد (Taarit *et al.*, 2011)؛ بدین ترتیب که کم‌شدن جذب آب توسط ریشه، با کم‌شدن جذب عناصر غذایی و استفاده توسط گیاه همراه است و می‌تواند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر وزن خشک اندام هوایی (A) و ریشه (B) گل راعی (میانگین¬هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی¬دار (LSD) در سطح پنج درصد اختلاف معنی¬داری ندارند).

روی تولید ماده خشک اثر بگذارد (Razmjoo *et al.*, 2008). کاهش کمتر در وزن خشک اندام هوایی و ریشه گل راعی در این آزمایش می‌تواند به‌علت افزایش پرولین در هر دو بخش باشد که با حفظ پتانسیل اسمزی و ادامه جذب آب موجب ایجاد فشار توژسانس شد و امکان رشد را در شرایط تنش فراهم کرد (Li *et al.*, 2014).

با توجه به این که شرایط تنش سبب کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو می‌شود، به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و درنتیجه بهبود فتوسنتز سبب افزایش سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی می‌شود. از طرفی افزایش بیوماس در اثر استفاده از اسید سالیسیلیک به خاطر فعالیت آنتی‌اکسیدانی این ماده در غشا سلولی و افزایش مقادیر لیگنین در ساختار دیواره سلولی است (وفابخش و همکاران، ۱۳۸۷)، که این خود می‌تواند دلیلی بر افزایش وزن ماده خشک گیاهان در معرض تنش شوری باشد. از سوی دیگر تأثیر مثبت محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر وزن خشک ریشه در تنش شوری متوسط (سطح شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر) و شاهد چشمگیرتر بود و مشابه نتایج مطالعه‌ای روی گندم بود که در آن، اثر مثبت و مهم اسید سالیسیلیک بر تقسیم و توسعه سلول‌های ریشه با تحریک فعالیت مریستم ریشه گیاهچه‌ها همراه بود (Shakirova *et al.*, 2003).

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر گیاه با تنظیم اسمزی و از طریق افزایش پرولین به‌ویژه در ریشه توانست اثرات منفی شوری را تعدیل کند. همچنین افزایش سنتز فنل، آنتوسیانین و فلاونوئید کل به‌عنوان سیستم دفاع غیرآنزیمی به گیاه در مقابله با شوری کمک کرد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با افزایش محتوای پرولین و متابولیت‌های ثانویه برگ موجب کاهش اثرات منفی شوری در گیاه گل راعی گردید که نتیجه آن ادامه‌دادن رشد و تولید زیست‌توده گیاه در شرایط شوری است. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد با استفاده از غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک می‌توان اثرات منفی تنش شوری به‌ویژه در سطح ٦ دسی‌زیمنس بر متر سدیم کلرید بر گیاه گل راعی را کاهش داد و موجب افزایش تحمل به شوری این گیاه شد.

منابع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]

بهنام‌نیا، م. و شنوایی زارع، ا. (۱۳۹۲) اثرات سالیسیلیک اسید بر گیاهچه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) در شرایط تنش شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی ۳: ۸۳-۷۳.

پیراسته انوشه، ه.، امام، ی.، روستا، م. ج. و هاشمی، س. ا. (۱۳۹۵) اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد دانه جو (*Hordeum vulgare* L.) رقم نصرت در شرایط تنش شوری. مجله علوم زراعی ایران ۱۸: ۲٤٤-۲۳۲.

شهبازی‌زاده، ا.، موحدی دهنوی، م. و بلوچی، ح. ر. (۱۳۹٤) تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و آسکوربیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیک سویا (رقم ویلیامز) تحت تنش شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی ٤: ۲۲-۱۳.

وفابخش، ج.، نصیری محلاتی، م. و کوچکی، ع. ر. (۱۳۸۷) اثر تنش خشکی بر عملکرد و کارایی مصرف نور در ارقام کلزا (*Berasica napus* L.). مجله پژوهش‌های زراعی ایران ٦: ۲۰۸-۱۹۳.

Agati, G. and Tattini, M. (2010) Multiple functional roles of flavonoids in photoprotection. New Phytologist 186: 76-793.

Ahl, S. A. and Omer, E. (2011) Medicinal and aromatic plants production under salt stress. A review. Herba Polonica 57: 72-87.

Al Kharusi, L., Al Yahyai, R. and Yaish, M. (2019) Antioxidant response to salinity in salt-tolerant and salt-susceptible cultivars of date palm. Agriculture 9: 8.

Aldesuquy, H. and Ghanem, H. (2015) Exogenous salicylic acid and trehalose ameliorate short term drought stress in wheat cultivars by up-regulating membrane characteristics and antioxidant defense system. Journal of Horticulture 2: 139.

Bates, L. S., Walden, R. P. and Teave, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Bernstein, N., Kravchik, M. and Dudai, N. (2010) Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. Annals of Applied Biology 156: 167-177.

Bistgani, Z. E., Hashemi, M., DaCosta, M., Craker, L., Maggi, F. and Morshedloo, M. R. (2019) Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and T*hymus daenensis* Celak. Industrial Crops and Products 135: 311-320.

Burt, S. (2004) Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods. A review. International Journal of Food Microbiology 94: 223-253.

Chai, T. T., Fadzillah, N., Kusnan, M. and Mahmood, M. (2005) Water stress-induced oxidative damage and antioxidant responses in micropropagated banana plantlets. Biologia Plantarum 49: 153-156.

Delavari, P., Baghizadeh, A., Enteshari, S., Kalantari, K. M., Yazdanpanah, A. and Mousavi, E. (2010) The effects of salicylic acid on some of biochemical and morphological characteristic of *Ocimum basilicucm* under salinity stress. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 4: 4832-4845.

Ahmad, P. and Prasad, M. N. V. (2012) Flavonoids as antioxidants in plants under abiotic stresses. In: Abiotic Stress Responses in Plants. (eds. Di Ferdinando, M., Brunetti, C., Fini, A. and Tattini, M.) Pp. 159-179. Springer.

Farahbakhsh, H., Pasandi Pour, A. and Reiahi, N. (2017) Physiological response of henna (*Lawsonia inermise* L.) to salicylic acid and salinity. Plant Production Science 20: 237-247.

Gondor, O. K., Janda, T., Soos, V., Pal, M., Majlath, I., Adak, M. K., Balazs, E. and Szalai, G. (2016) Salicylic acid induction of flavonoid biosynthesis pathways in wheat varies by treatment. Frontiers in Plant Science 7: 1447.

Hancioglu, N. E., Kurunc, A., Tontul, I. and Topuz, A. (2019) Irrigation water salinity effects on oregano (*Origanum onites* L.) water use, yield and quality parameters. Scientia Horticulturae 247: 327-334.

Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z. and Shabala, S. (2015) Salicylic acid in plant salinity stress signalling and tolerance. Plant Growth Regulation 76: 25-40.

Khalil, N., Fekry, M., Bishr, M., El-Zalabani, S. and Salama, O. (2018) Foliar spraying of salicylic acid induced accumulation of phenolics, increased radical scavenging activity and modified the composition of the essential oil of water stressed *Thymus vulgaris* L. Plant Physiology and Biochemistry 123: 65-74.

Kovacik, J., Klejdus, B., Hedbavny, J. and Backor, M. (2009) Salicylic acid alleviates NaCl-induced changes in the metabolism of *Matricaria chamomilla* plants. Ecotoxicology 18: 544-554.

Krizek, D. T., Britz, S. J. and Mirecki, R. M. (1998) Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce.Physiologia Plantarum 103: 1-7.

Li, L., Zhang, H., Zhang, L., Zhou, Y., Yang, R., Ding, C. and Wang, X. (2014) The physiological response of *Artemisia annua* L. to salt stress and salicylic acid treatment. Physiology and Molecular Biology of Plants 20: 161-169.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]

Liu, W., Zhang, Y., Yuan, X., Xuan, Y., Gao, Y. and Yan, Y. (2016) Exogenous salicylic acid improves salinity tolerance of *Nitraria tangutorum*. Russian Journal of Plant Physiology 63: 132-142.

Mesgaran, M. B., Madani, K., Hashemi, H. and Azadi, P. (2017) Iran's land suitability for agriculture. Scientific Reports 7: 7670.

Mishra, A. and Choudhuri, M. A. (1999) Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. Biologia Plantarum 42: 409-415.

Morshedloo, M. R., Moghadam, M. R. F., Ebadi, A. and Yazdani, D. (2015) Genetic relationships of Iranian *Hypericum perforatum* L. wild populations as evaluated by ISSR markers. Plant Systematics and Evolution 301: 657-665.

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

Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y. and Sepaskhah, A. (2015) Improving barley performance by proper foliar applied salicylic-acid under saline conditions. International Journal of Plant Production 9: 467-486.

Qados, A. M. A. (2015) Effects of salicylic acid on growth, yield and chemical contents of pepper (*Capsicum Annuum* L) plants grown under salt stress conditions. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 8: 107.

Razmjoo, K., Heydarizadeh, P. and Sabzalian, M. R. (2008) Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. International Journal of Agriculture and Biology 10: 451-454.

Seevers, P. M. and Daly, J. M. (1970) Studies on wheat stem rust resistance controlled at the Sr6 locus. II. Peroxidase activities. Phytopathology 60: 1642-1647.

Shaki, F., Maboud, H. E. and Niknam, V. (2018) Growth enhancement and salt tolerance of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), by salicylic acid. Current Plant Biology 13: 16-22.

Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. (2003) Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.

Taarit, M. B., Msaada, K., Hosni, K. and Marzouk, B. (2011) Physiological changes and essential oil composition of clary sage (*Salvia sclarea* L.) rosette leaves as affected by salinity. Acta Physiologiae Plantarum 33: 153-162.

Tátrai, Z. A., Sanoubar, R., Pluhar, Z., Mancarella, S., Orsini, F. and Gianquinto, G. (2016) Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. International Journal of Agronomy 2016.

Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Massai, R., Remorini, D. and Agati, G. (2004) Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of *Ligustrum vulgare* under excess light and drought stress. New Phytologist 163: 547-561.

Wang, H., Feng, T., Peng, X., Yan, M. and Tang, X. (2009) Up-regulation of chloroplastic antioxidant capacity is involved in alleviation of nickel toxicity of *Zea mays* L. by exogenous salicylic acid. Ecotoxicology and Environmental Safety 72: 1354-1362.

Zobayed, S., Afreen, F. and Kozai, T. (2005) Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in St. John's wort. Plant Physiology and Biochemistry 43: 977-984.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]

Physiological and biochemical responses of *Hypericum perforatum* to salt stress and salicylic acid spraying

Sara Alinian Joozdani[1], Mohammad Rafieiolhossaini[1*], Jamshid Razmjoo[2], Babak Bahreininejad[3]

[1]Department of Agronomy, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[2]Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
[3]Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan
(Received: 25/11/2019, Accepted: 15/02/2020)

Abstract

Salinity is one of the main obstacles to the successful production of agricultural products. Hormonal compounds such as salicylic acid (SA) as plant growth regulators can have different physiological and biochemical effects in plants under salt stress. In this research, the effects of different concentrations of sodium chloride (2, 6 and 10 dS/m) and foliar application of SA (0, 0.25 and 0.5 mM) on leaf relative water content, proline, anthocyanin, phenol and flavonoid contents, and dry matter of root and shoot were studied in completely randomized design. When the plants were 10 cm in height, foliar application was done 2 times by 7 day interval and then salinity treatments were initiated. Results showed that salinity treatments reduced leaf relative water content and shoot and root dry matter, while salicylic acid application increased these traits under salinity stress. Foliar application of salicylic acid increased leaf proline and anthocyanin content, especially at 6 dS/m salinity. Severe salinity and salicylic acid at 0.25 mM increased leaf and root phenol content by 13 and 17%, respectively. The highest increase in leaf and root flavonoid was 66% and 89% under severe salinity stress with application of 0.5 mM salicylic acid. Overall, the results of this study showed that with application of 0.25 mM of salicylic acid could reduce the negative effects of salinity stress, especially at 6 dS/m salinity level in *Hypericum perforatum* and also increased the resistance of this plant.

Key words: Anthocyanin, Proline, Flavonoids, Phenol, Relative water content.

Corresponding author, Email: m_rafiee_1999@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.7.4]