نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۳ / شماره ۱/ ۱۳۹۸

(DOI): 10.22092/JWRA.2019.119117

تأثیر اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی و درصد اسانس به‌لیمو در سطوح مختلف شوری آب آبیاری

سارا فرسرایی، محمد مقدم [۱]* و لیلا مهدی زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

farsaraei2013@gmail.com

دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

m.moghadam@um.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

L.mehdizadeh@gmail.com

چکیده

به منظور بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی به‌لیمو (*Lippia citrodora* L.) تحت تنش شوری، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح شوری آب آبیاری (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و چهار سطح اسید سالیسیلیک (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر که به ترتیب معادل ۰، ۱/۱، ۲/۱ و ۳/۲ میلی‌مولار می‌باشد) در سه تکرار انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثرات متقابل شوری و اسید سالیسیلیک بر تمام صفات مورد مطالعه به جز وزن خشک برگ و وزن خشک و تر ریشه معنی-دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان وزن تر برگ، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها و میزان اسانس در تیمار بدون شوری و کاربرد ۳/۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد. بیشترین میزان کربوهیدرات‌های محلول در تیمار بدون شوری و کاربرد ۲/۱۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، بیشترین پرولین در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کاربرد ۳/۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، و بیشترین فنل کل در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کاربرد ۲/۱۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود. کاربرد اسید سالیسیلیک (به‌ویژه در غلظت ۳/۲ میلی‌مولار) در هنگام تنش شوری (به‌ویژه سطح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) سبب کاهش اثرات منفی حاصل از این تنش گردید؛ به طوریکه صفات مورفولوژیکی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه را افزایش داد و در مقابل به دلیل کاهش تنش شوری، میزان فنل کل، کربوهیدرات محلول و پرولین را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: **پرولین، تنظیم کننده رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات محلول**

۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

*- دریافت: مرداد ۱۳۹۷ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۸

مقدمه

به‌لیمو با نام علمی *Lippia citrodora* L. از تیره شاه‌پسند (Verbenaceae) درختچه‌ای است به ارتفاع یک‌ونیم تا دو متر و یکی از مهمترین گیاهان دارویی معطر در تهیه چای و دم‌نوش‌های گیاهی به حساب می‌آید. ماده اصلی برگ به‌لیمو را اسانس تشکیل می‌دهد. سایر ترکیبات طبیعی موجود در برگ این گیاه عبارتند از تری-ترپن‌ها، موسیلاژ، فلاونوئید و تانن (کریمی، ۱۳۸۱). از به‌لیمو در درمان سوء هاضمه، نفخ، دردهای عصبی، سرگیجه، سردردهای یک طرفه و علائم سرماخوردگی استفاده می‌گردد (رضایی و جایمند، ۱۳۸۰؛ کریمی، ۱۳۸۱). امروزه با توجه به اینکه گیاه به‌لیمو کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف و طب سنتی دارد؛ کاشت گلخانه‌ای آن توسعه فراوانی یافته است. پاریدا و داس (۲۰۰۵) گزارش کردند که مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران، معمولاً در کنار سایر محدودیت‌ها با مشکل شوری نیز مواجه هستند. در نتیجه شور شدن تدریجی خاک و اثر آن در عملکرد گیاهان، بررسی پاسخ گونه‌های مختلف گیاهی به‌ویژه گونه‌های غیربومی از جمله به‌لیمو به تنش شوری ضروری به نظر می‌رسد. راهکارهای عمده بیولوژیکی که گیاهان در درجات مختلف تنش شوری به کار می‌گیرند شامل تنظیم اسمزی (تحمل)، جداسازی یون‌های نامطلوب و انباشت آنها در واکوئل‌ها و بخش-های خنثی سلول و جلوگیری از ورود املاح به داخل گیاه است (نقوی و خلیلی، ۱۳۹٤). سید الاهل و عمر (۲۰۱۱) گزارش کردند که تنش شوری دارای اثر منفی بر اسیدهای چرب و پروتئین گیاه می‌باشد، در حالی که میزان پرولین، میزان کربوهیدرات‌های محلول و محتوای فنل را افزایش می‌دهد.

اسید سالیسیلیک یکی از مهمترین تنظیم‌کننده-های رشد گیاهی است که رشد و نمو فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه را تنظیم می‌نماید و کاربرد آن تحت شرایط تنش موجب ایجاد مقاومت در گیاهان می‌گردد (گالگو-گیرالدو و همکاران، ۲۰۱۱). بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری نشان داد که این ماده صدمات ناشی از تنش شوری بر صفات مورفولوژیکی را کاهش می‌دهد؛ بطوریکه بیشترین اثر بازدارندگی رشد در تنش شوری با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و موثرترین غلظت برای کاهش اثرات شوری با کاربرد اسید سالیسیلیک در سطوح ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار حاصل شد (نورافکن، ۱۳۹۳). پژوهشی دیگر نشان داد که سطوح مختلف شوری سبب افزایش معنی‌دار میزان پرولین و غلظت کربوهیدرات‌های محلول و در مقابل کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی و وزن تر و خشک اندام هوایی در آویشن دنائی (*Thymus daenensis* Celak.) گردید. محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان و کاهش غلظت پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در گیاه تحت تنش شوری موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی گیاه گردید و سبب افزایش مقاومت آن در شرایط تنش شد (هراتی و همکاران، ۱۳۹۵). تاکنون مطالعه‌ای در مورد تاثیر اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی به‌لیمو تحت تنش شوری انجام نشده است. با توجه به اهمیت این گیاه دارویی و همچنین اثرات تنش شوری بر گیاهان، هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی به‌لیمو تحت تنش شوری حاصل از آب آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی به‌لیمو آبیاری شده با آب شور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل ٤ سطح شوری آب آبیاری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم که به‌ترتیب ۰/۵، ٤/٤، ۸/۷۵ و ۱۳/۱۲ دسی زیمنس بر متر بودند) (شهبازی و همکاران،

۱۳۹۲) و چهار سطح اسید سالیسیلیک (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ٤٥٠ میلی‌گرم در لیتر که به‌ترتیب معادل ۰، ۱/۱، ۲/۱ و ۳/۲ میلی‌مولار می‌باشد) (دیانت و همکاران، ۲۰۱٦) در سه تکرار که هر تکرار دارای سه بوته گیاه بود. به منظور تهیه مواد گیاهی، از شاخه‌های جوان در حال رشد به‌لیمو قلمه تهیه شد. قلمه‌ها در گلخانه در بستر ماسه بادی کاشته شدند و پس از ریشه‌دار شدن به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ٤٠ سانتی‌متر (با گنجایش ۱۲ کیلوگرم) حاوی خاکی با بافت شنی لومی انتقال یافتند (جدول ۱). همزمان با کاشت قلمه‌های ریشه‌دار شده در خاک به منظور تثبیت گیاه و جلوگیری از شستشوی خاک اطراف ریشه‌ها در اثر آبیاری، قدری خاک فشرده شد. آبیاری با آب معمولی تا زمان اطمینان از استقرار گیاهان به طور مرتب انجام شد. پس از استقرار گیاهان، شوری همراه با آب آبیاری (NaCl, Dr Mojallali, Iran) بر اساس تیمارها شروع شد و به منظور جلوگیری از شوک ناگهانی، اعمال تیمار شوری از کمترین غلظت (۵۰ میلی‌مولار) شروع و کم کم (طی سه هفته) بر غلظت آن افزوده شد (رضایی چیانه و همکاران، ۱۳۹۵). محلول-پاشی برگی با اسید سالیسیلیک دو هفته بعد از اعمال تیمار شوری صورت گرفت و این محلول‌پاشی سه بار و هفته‌ای یکبار انجام شد (دیانت و همکاران، ۲۰۱٦). نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات یک هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در مرحله گل‌دهی صورت گرفت.

جدول ۱- مختصات خاک مورد استفاده در این تحقیق

شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت خاک	اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی	کربن آلی (٪)	نیتروژن خاک (٪)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)
۷۴/۴	۱۹/۳	۶/۳	لومی شنی	۷/۷۹	۳/۱۲	۰/۸۱	۰/۰۷	۵۱	۱۸۴

صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل صفات رشدی و عملکردی (وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک برگ، نسبت وزن تر و خشک اندام هوایی به ریشه) و صفات بیوشیمیایی (میزان کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئید، قند محلول، فنل کل و پرولین) و میزان اسانس بودند.

اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه، اندام هوایی و برگ با استفاده از ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم انجام گرفت. اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کلروفیل کل و کاروتنوئیدها با استفاده از معادلات توسعه یافته توسط آرنون (۱۹٦۷) و با حلال استون ۸۰ درصد انجام شد:

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A663 - 0.86 \times A645)\ V/100W \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A645 - 3.6 \times A663)\ V/100W \quad (2)$$

$$\text{Carotenoids} = 100\ (A470) - 3.27\ (\text{mg chl. a}) - 104\ (\text{mg chl. b})/227 \quad (3)$$

در روابط بالا:

V حجم محلول حاصل از سانتریفیوژ، W وزن تر نمونه بر حسب گرم و A470، A645 و A660 به‌ترتیب جذب نور در طول موج‌های ٤٧٠، ٦٤٥ و ٦٦٦ می‌باشند.

اندازه‌گیری فنل کل به وسیله معرف فولین سیکالتو انجام شد و محاسبه میزان فنل کل با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک صورت گرفت. همچنین محتوای فنل کل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۵ نانومتر (ریموند و همکاران، ۲۰۱۷)، پرولین با استفاده از روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳)، میزان کربوهیدرات‌های محلول با استفاده از معرف آنترون درطول موج ٦۲۵ نانومتر و منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف گلوکز (ایریوگن و همکاران، ۱۹۹۲) اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری میزان اسانس نیز از کلونجر استفاده شد بدین صورت که عمل تقطیر برای ۳۰ گرم گیاه به همراه ۳۰۰ میلی‌لیتر آب به مدت سه ساعت با کلونجر انجام شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری JMP 8 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک برگ و اندام هوایی

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر وزن تر و خشک برگ و همچنین وزن تر و خشک اندام هوایی معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین وزن تر (۹۱/۳۳ گرم بر گیاه) و خشک (۱٦/٦۰ گرم بر گیاه) برگ و همچنین وزن تر (۱۱۷/۵ گرم بر گیاه) و خشک (۳۹/۱٦ گرم بر گیاه) اندام هوایی در تیمار فاقد شوری و محلول‌پاشی ۳/۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و در مقابل کمترین وزن تر (٤۰/۰۷ گرم بر گیاه) و خشک (۷/۲۸ گرم بر گیاه) برگ و کمترین وزن تر (٦۲/۹ گرم بر گیاه) و خشک (۲۰/۹٦ گرم بر گیاه) در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار شوری و بدون محلول-پاشی اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۲).

گزارش شده است که با افزایش شوری، وزن تر و خشک برگ به طور معنی‌داری در گیاه یاس خوشه‌ای (*Agastache foeniculum*) کاهش می‌یابد (خرسندی و همکاران، ۱۳۸۹) که با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد. همچنین مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، افزایش میزان شوری سبب کاهش وزن تر و خشک گیاه شوید (*Anthum graveolens* L.) (نورانی آزاد و حاجی باقری، ۱۳۸۷)، مریم گلی (*Salvia hispanica*) (ریموند و همکاران، ۲۰۱۷)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (وطن خواه و همکاران، ۱۳۹٦)، انیسون (*Pimpinella anisum* L.) (معصومی زواریان، ۱۳۹٤) و ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (تستر و داون پورت، ۲۰۰۳) شد. کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری به علت تاثیر شوری بر فرآیندهای بیوشیمیایی مهم گیاه از جمله جذب دی اکسیدکربن و نیتروژن، سنتز پروتئین و افزایش غلظت یون‌های سمی سدیم و کلر است و علاوه بر آن در اثر تنش شوری ذخایر انرژی گیاه کاهش می‌یابد و از این طریق موجب کاهش رشد و وزن خشک گیاه می‌گردد و همچنین تنش شوری اثر بازدارندگی بر فرآیند جذب و انتقال مواد فتوسنتزی دارد (تانو و همکاران، ۲۰۰۹). شوری بالا همچنین باعث تداخل غلظت‌های بالای نمک با یون‌های مغذی می‌شود که از این طریق رشد گیاه را تحت تآثیر قرار می‌دهد.

همچنین تنش شوری سبب ایجاد تنش اسمزی شده و بدین طریق جذب آب را در گیاه با مشکل مواجه می‌سازد و علائمی مشابه تنش خشکی ایجاد می‌کند (رسول و همکاران، ۲۰۱۳) و در برابر این علائم افزایش هورمون آبسیزیک اسید در گیاه اتفاق می‌افتد که افزایش این هورمون سبب بسته شدن روزنه‌ها و در پی آن کاهش فتوسنتز می‌شود و این امر موجب بروز تنش اکسیداتیو می‌شود که کاهش رشد را در پی خواهد داشت و موجب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه می‌شود (تستر و داون پورت، ۲۰۰۳). به نظر می‌رسد کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی با افزایش شدت شوری در این آزمایش نیز ناشی از علل ذکر شده باشد. همچنین در هنگام بروز تنش هایی از جمله تنش شوری گیاه به منظور دسترسی بیشتر به منابع آبی، بیشتر انرژی خود را صرف تولید ریشه کرده و بدین ترتیب از رشد اندام هوایی آن کاسته می‌شود (مونس، ۲۰۰۲).

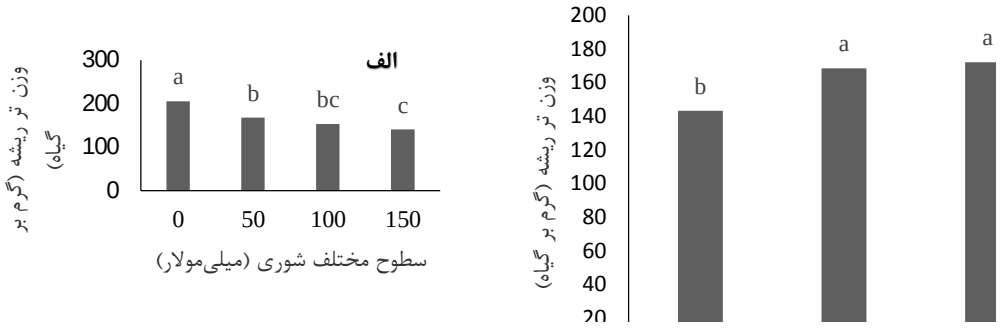
جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های رشدی به‌لیمو

تیمار		وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه	نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه
		g/ plant					
S (mg/l))	Control	۸۷/۶۳^{a}	۱۵/۹۳^{a}	۱۰۹/۵۲^{a}	۳۶/۸۱^{a}	۰/۵۳^{c}	۰/۸۳^{b}
	50	۶۷/۲۲^{b}	۱۲/۲۲^{b}	۱۰۳/۰۷^{a}	۳۴/۳۷^{b}	۰/۶۲^{a}	۰/۸۱^{b}
	100	۵۲/۶۳^{c}	۱۰/۶۵^{c}	۹۸/۱۶^{b}	۳۲/۸۱^{c}	۰/۶۵^{a}	۱/۱۳^{a}
	150	۵۳/۶۲^{c}	۹/۷۴^{c}	۷۸/۸۷^{c}	۲۵/۹۴^{d}	۰/۵۸^{b}	۱/۱۰^{a}
SA (mM)	0	۵۷/۶۶^{c}	۱۰/۴۸^{c}	۷۷/۱۰^{c}	۲۶/۰۰^{c}	۰/۵۴^{b}	۰/۹۲^{b}
	1.1	۶۳/۸۵^{b}	۱۱/۶۱^{b}	۹۸/۴۸^{b}	۳۲/۶۹^{b}	۰/۶۱^{a}	۰/۹۵^{ab}
	2.1	۷۰/۹۹^{a}	۱۲/۹۰^{a}	۱۰۷/۴۳^{a}	۳۵/۷۱^{a}	۰/۶۱^{a}	۰/۹۹^{ab}
	3.2	۷۴/۶۰^{a}	۱۳/۵۵^{a}	۱۰۶/۶۱^{a}	۳۵/۵۳^{a}	۰/۶۲^{a}	۱/۰۱^{a}
اثر متقابل	S1SA1	۸۶/۰^{a}	۱۵/۴۹^{a}	۹۲/۸۸$^{c-e}$	۳۲/۱۶^{bc}	۰/۵۲^{ef}	۰/۸۵^{d}
	S1SA2	۸۵/۲۳^{a}	۱۵/۶۳^{a}	۱۱۲/۳^{a}	۳۷/۴۳^{a}	۰/۵۴$^{c-f}$	۰/۸۵^{d}
	S1SA3	۸۷/۹۸^{a}	۱۵/۹۹^{a}	۱۱۵/۵^{a}	۳۸/۴۸^{a}	۰/۵۳$^{d-f}$	۰/۸۰۶^{d}
	S1SA4	۹۱/۳۳^{a}	۱۶/۶۰^{a}	۱۱۷/۵^{a}	۳۹/۱۶^{a}	۰/۵۳$^{d-f}$	۰/۸۱^{d}
	S2SA1	۵۷/۸۲$^{c-e}$	۱۲/۳۱^{bc}	۸۱/۱۷$^{d-f}$	۲۷/۰۵$^{d-f}$	۰/۵۱^{f}	۰/۷۶^{d}
	S2SA2	۶۵/۶۸$^{b-d}$	۱۲/۳۱^{bc}	۱۰۰/۷۴$^{a-c}$	۳۳/۵۸^{b}	۰/۶۲$^{b-d}$	۰/۷۸^{d}
	S2SA3	۶۷/۷^{bc}	۱۲/۳۸^{bc}	۱۱۳/۱۳^{a}	۳۷/۸^{a}	۰/۶۳^{bc}	۰/۸^{d}
	S2SA4	۷۷/۶۸^{ab}	۱۴/۱۲^{ab}	۱۱۷/۲^{a}	۳۹/۰۸^{a}	۰/۷۳^{a}	۰/۹۱^{d}
	S3SA1	۴۶/۷۵^{ef}	۱۰/۵۱$^{c-e}$	۷۱/۵^{fg}	۲۳/۸۳^{fg}	۰/۶۱$^{c-e}$	۱/۱۳$^{a-c}$
	S3SA2	۵۱/۷۱$^{d-f}$	۱۰/۹۴$^{c-e}$	۹۴/۱۶$^{b-d}$	۳۱/۹^{bc}	۰/۵۷$^{c-f}$	۱/۰۱$^{a-d}$
	S3SA3	۶۸/۱^{bc}	۱۱/۱۶^{cd}	۱۱۱/۳^{ab}	۳۷/۰۰۱^{a}	۰/۷۴^{a}	۱/۱۷^{ab}
	S3SA4	۶۷/۹۶^{bc}	۱۱/۹۴$^{b-d}$	۱۱۵/۶^{a}	۳۸/۵۴^{a}	۰/۷۰۳^{ab}	۱/۲۱^{a}
	S4SA1	۴۰/۰۷^{f}	۷/۲۸^{f}	۶۲/۸۸^{g}	۲۰/۹۶^{g}	۰/۵۴$^{c-f}$	۰/۹۳$^{b-d}$
	S4SA2	۵۲/۷۸$^{d-f}$	۸/۵۰^{ef}	۸۶/۷۵$^{c-f}$	۲۷/۸۸^{de}	۰/۷۰۳^{ab}	۱/۱۷^{ab}
	S4SA3	۶۰/۲$^{c-e}$	۹/۴۰$^{d-f}$	۸۹/۸$^{c-e}$	۲۹/۵۷^{cd}	۰/۵۴$^{c-f}$	۱/۲^{a}
	S4SA4	۶۱/۴۲^{cd}	۹/۵۹$^{d-f}$	۷۶/۰۵$^{e-g}$	۲۵/۳۵^{ef}	۰/۵۳$^{d-f}$	۱/۱۱$^{a-c}$
LSD		۷/۵۵۹	۱/۵۱۵	۱۱/۲۱۶	۱/۷۴۸	۰/۰۴۷	۰/۱۳۰
C.V.		۱۳/۳۱	۱۳/۴۵	۱۰/۷۷	۱۰/۴۸	۱۳/۷۲	۸/۳۹

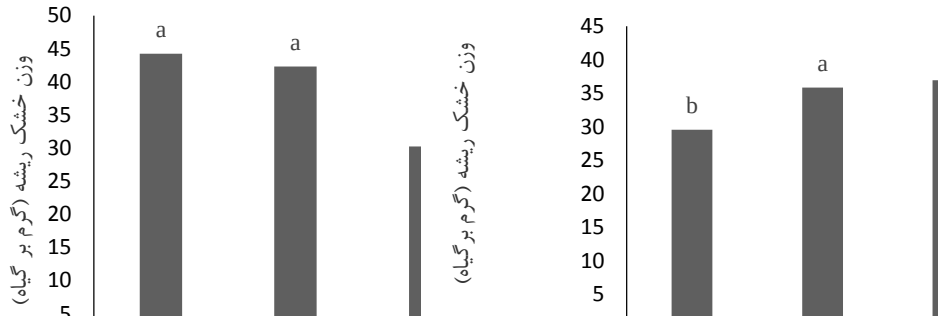
S= شوری و SA= اسید سالیسیلیک و S control, S50, S100, S150 به ترتیب شوری ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار و SA0, SA1.1, SA2.1, SA3.2 به ترتیب اسیدسالیسیلیک ۰، ۱/۰۶، ۲/۱۲ و ۳/۲ میلی‌مولار می‌باشد

وزن تر و خشک ریشه

بر اساس نتایج حاصله از آنالیز داده‌ها تنها اثر ساده تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر وزن تر و خشک ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد و اثر متقابل آن‌ها تاثیر معنی‌داری بر این صفات نداشت. مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که با افزایش شوری وزن تر و خشک ریشه کاهش یافت. بیشترین وزن تر (۲۰۵ گرم بر گیاه) و خشک (٤٤/۲ گرم بر گیاه) ریشه در تیمار عدم شوری مشاهده شد و کمترین وزن تر (١٤٠/٦ گرم بر گیاه) و خشک (٢٤/١ گرم بر گیاه) ریشه در بالاترین حد شوری (۱۵۰ میلی‌مولار) حاصل گردید (شکل ۱- الف و ۲- الف). کاربرد هر سه غلظت اسید سالیسیلیک موجب شد تا وزن تر و خشک ریشه نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری پیدا کند (شکل ۱- ب و شکل ۲- ب).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده شوری (الف) و اسید سالیسیلیک (ب) بر وزن تر ریشه به لیمو



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی شوری (الف) و اسید سالیسیلیک بر وزن خشک به لیمو

نتایج همچنین نشان داد که اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک بر نسبت وزن تر و خشک اندام هوایی به ریشه معنی‌دار بود و بیشترین نسبت وزن تر اندام هوایی به ریشه (۰/۷٤) در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی با ۲/۱۲ میلی‌مولار در لیتر اسید سالیسیلیک و کمترین آن (۰/۵۱) در تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار و عدم محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۲). براساس نتایج حاصل از تحقیقات قبلی، تنش شوری موجب کاهش وزن تر و خشک ریشه در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (ارچنگی و خدامباشی، ۱۳۹۱) و اسفرزه (صفرنژاد و همکاران، ۱۳۸٦) گردید که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد. همچنین نتایج سایر تحقیقات حاکی از کاهش نسبت اندام هوایی به ریشه در گیاه زلف عروس (*Amaranthus tricolor* L.) (کمالی و همکاران، ۱۳۹۳) شد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. علت کاهش وزن تر و خشک ریشه در شرایط تنش شوری را می‌توان به ویژگی‌های جذب مواد از طریق ریشه نسبت داد. ریشه دارای خاصیت جذب انتهایی بوده و جذب یون‌ها را کنترل می‌کند. در صورت نامناسب بودن شرایط شیمیایی محیط خاک این سیستم مختل می‌شود و نسبت مطلوب دو یون سدیم و پتاسیم به هم ریخته و ایجاد مسمومیت در گیاه می‌کند. گیاه برای اجتناب از شوری، مکانیسم‌هایی دارد که شامل دفع یون‌ها به بیرون ریشه، گردش نمک در سیستم آوندی و توزیع شیب یونی بین بخش‌های در حال رشد هستند که جهت استفاده از این مکانیسم‌ها گیاه باید نمک موجود در سیتوزول خود را در حد پایین نگه دارد که این امر سبب عدم توسعه ریشه و چوب پنبه‌ای شدن آن و در نهایت کاهش وزن تر و خشک ریشه می‌شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۹). بررسی تنش شوری در گیاه مرزه نشان داد که سطوح مختلف شوری وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه را به طور معنی‌داری کاهش داد (آروین، ۱۳۹٤). افزایش شدت تنش شوری سبب توقف رشد گیاه، کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در گیاه کرچک (*Ricinus commonis*) شد، بطوری که رشد ریشه بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت (جان محمدی و همکاران، ۲۰۱۲).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

اثر متقابل اسید سالیسیلیک و تنش شوری بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی اثری معنی‌دار داشت و مقایسه میانگین این صفات نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a (۰/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در محلول‌پاشی ۲/۱۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و شرایط عدم شوری و کمترین میزان آن (۰/۰۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و بالاترین میزان اسید سالیسیلیک (۳/۲ میلی‌مولار) مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۰۱٤٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید (۰/۰۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در محلول‌پاشی ۳/۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و عدم شوری و کمترین میزان کلروفیل b (۰/۰۰٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید (۰/۰۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۳). همچنین بیشترین (۰/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین (۰/۰۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) میزان کلروفیل کل به ترتیب در محلول‌پاشی ۱/۰٦ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و عدم شوری و تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۳). مطالعه‌ای بر روی گیاه شوید (*Anthum graveolens* L.) در شرایط تنش شوری نشان داد که با افزایش میزان شوری، مقدار کلروفیل برگ به طور معنی‌داری کاهش یافت (نورانی آزاد و حاجی باقری، ۱۳۸۷). همچنین مطالعات قبلی نشان دادند که تنش شوری موجب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در گونه‌ای مریم گلی (*Salvia hispanica*) (ریموند و همکاران، ۲۰۱۷) و انیسون (*Pimpinella anisum*) (معصومی زواریان، ۱۳۹٤)، کاهش مقدار کلروفیل a، b، کلروفیل کل و افزایش کاروتنوئید در زوفا (*Hyssopus officinalis*) (جهان‌تیغ و همکاران، ۱۳۹۵) گردید که با نتایج این مطالعه در مورد تنش شوری همخوانی دارند. افزایش شوری سبب تخریب کلروپلاست می‌شود و با کاهش اندازه و تعداد کلروپلاست‌ها سبب کاهش در میزان کلروفیل می‌گردد. کاهش کلروفیل به علت تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که موجب پراکسیداسیون و تجزیه کلروفیل می‌شود (پاریدا و داس، ۲۰۰۵). همچنین کاهش در میزان کلروفیل می‌تواند به علت فعالیت آنزیم‌هایی همچون کلروفیلاز، پراکسیداز و ... باشد که موجب تجزیه کلروفیل می‌شوند (احمدی و سی و سه مرده، ۱۳۸۳). در این پژوهش، میزان کلروفیل با افزایش شوری کاهش نشان داد. جذب نمک و ایجاد سمیت در گیاه موجب آسیب رساندن به فرآیندهای فیزیولوژیک، از قبیل فتوسنتز و تنفس سلولی می‌شود و می‌تواند میزان کلروفیل را در گیاه کاهش دهد (مونس، ۲۰۰۲).

فنل کل

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین میزان فنل کل (۹۲/٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی ۳/۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار فنل کل (۲۸/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار شاهد (عدم شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک) مشاهده شد (جدول ۳). افزایش شوری سبب افزایش ترکیبات فنلی در نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری گردید (وطن‌خواه و همکاران، ۱۳۹٦) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. ترکیبات فنلی از اجزای دفاعی سلول گیاه است که تجزیه رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پراکسیدها را بر عهده دارد و به عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی عمل می‌کند (مومنی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های بیوشیمیایی به‌لیمو

تیمار		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	فنل کل	کربوهیدارت محلول	پرولین
		(mg g^{-1}FW)						(μmol g^{-1} DW)
S (mg/l))	Control	۰/۰۱۹^{a}	۰/۰۱۲^{a}	۰/۰۹^{a}	۰/۰۰۸۳^{a}	۳۶/۴۱^{c}	۰/۸۸^{c}	۱۳/۷۰^{c}
	50	۰/۰۱۸^{a}	۰/۰۱۱^{b}	۰/۰۸^{ab}	۰/۰۰۷۷^{b}	۶۴/۵۱^{b}	۱/۵۴^{b}	۱۶/۴۶^{b}
	100	۰/۰۱۶^{b}	۰/۰۱۰^{c}	۰/۰۷^{ab}	۰/۰۰۷۱^{c}	۶۳/۹۳^{a}	۱/۱۷^{a}	۱۷/۸۳^{b}
	150	۰/۰۱۲^{c}	۰/۰۰۸^{d}	۰/۰۶^{b}	۰/۰۰۴۰^{d}	۷۳/۷۵^{a}	۲/۰۳^{a}	۱۹/۸۱^{a}
SA (mM)	0	۰/۰۱۴۰^{c}	۰/۰۰۸^{c}	۰/۰۸^{a}	۰/۰۰۷^{a}	۶۹/۰۹^{a}	۱/۸۶^{a}	۱۸/۸۱^{a}
	1.1	۰/۰۱۷۳^{b}	۰/۰۱۰^{b}	۰/۰۸^{a}	۰/۰۰۷^{a}	۶۷/۱۵^{a}	۱/۶۲^{b}	۱۷/۰۵^{ab}
	2.1	۰/۰۱۷۵^{ab}	۰/۰۱۱^{a}	۰/۰۸^{a}	۰/۰۰۶^{b}	۶۳/۶۹^{b}	۱/۶۲^{b}	۱۶/۷۲^{b}
	3.2	۰/۰۱۸۷^{a}	۰/۰۱۱^{a}	۰/۰۷^{a}	۰/۰۰۵^{c}	۳۸/۶۷^{c}	۱/۲۲^{c}	۱۵/۶۱^{b}
اثر متقابل	S1As1	۰/۰۱۶^{cd}	۰/۰۰۹۵$^{f-i}$	۰/۰۳۳^{de}	۰/۰۰۷۲^{de}	۲۸/۸۲^{g}	۰/۷۲^{f}	۱۰/۱۴^{e}
	S1As2	۰/۰۱۹$^{a-c}$	۰/۰۱۱۳$^{c-e}$	۰/۰۹^{a}	۰/۰۰۷۹^{c}	۳۴/۲۳ ^{fg}	۱/۶۲$^{a-f}$	۱۳/۷۵^{de}
	S1As3	۰/۰۲۱^{a}	۰/۰۱۴۳^{ab}	۰/۰۴۲^{b}	۰/۰۰۹۱^{a}	۳۸/۲۸^{ef}	۲/۵^{a}	۱۵/۱۶^{cd}
	S1As4	۰/۰۲۰۴^{ab}	۰/۰۱۴۶^{a}	۰/۰۴۱^{b}	۰/۰۰۹۲^{a}	۴۴/۳^{e}	۱/۳$^{c-d}$	۱۵/۵۱$^{b-d}$
	S2As1	۰/۰۱۶^{cd}	۰/۰۰۹۳$^{g-i}$	۰/۰۳۳^{de}	۰/۰۰۶۷^{ef}	۳۵/۳۹^{f}	۱/۰۵$^{c-f}$	۱۵/۱۲^{cd}
	S2As2	۰/۰۱۸$^{a-c}$	۰/۰۱۱۰$^{d-f}$	۰/۰۳۶^{cd}	۰/۰۰۷۲^{de}	۶۶/۷۲^{c}	۰/۹۴^{ef}	۱۶/۲۵$^{a-d}$
	S2As3	۰/۰۲۰۲^{ab}	۰/۰۱۱۹^{cd}	۰/۰۳۹^{bc}	۰/۰۰۸۳^{bc}	۷۷/۲۰^{b}	۰/۷۹^{ef}	۱۶/۶۱$^{a-d}$
	S2As4	۰/۰۲۰۳^{ab}	۰/۰۱۲۷^{bc}	۰/۰۴۱^{b}	۰/۰۰۸۸^{ab}	۷۸/۷۵^{b}	۰/۷۶^{ef}	۱۷/۸۷$^{a-d}$
	S3As1	۰/۰۱۳^{de}	۰/۰۰۸۵^{hi}	۰/۰۲۶^{g}	۰/۰۰۵۹^{g}	۳۹/۸۱^{ef}	۱/۴۵$^{b-f}$	۱۷/۷۳$^{a-d}$
	S3As2	۰/۰۱۶۱^{cd}	۰/۰۰۹۸$^{e-i}$	۰/۰۳۲^{ef}	۰/۰۰۶۶^{f}	۷۶/۱۳^{b}	۱/۸۷$^{a-d}$	۱۸/۵۷$^{a-c}$
	S3As3	۰/۰۱۷^{bc}	۰/۰۱۰۷$^{d-g}$	۰/۰۳۷^{c}	۰/۰۰۸۲^{c}	۹۶/۶۵^{z}	۲/۰۲$^{a-c}$	۱۵/۱۷$^{a-c}$
	S3As4	۰/۰۱۹۴$^{a-c}$	۰/۰۱۲۱^{cd}	۰/۰۴۱^{b}	۰/۰۰۷۸^{cd}	۹۲/۴۳^{a}	۲/۱۴$^{a-c}$	۱۹/۸۸^{a}
	S4As1	۰/۰۱^{ef}	۰/۰۰۶۳^{i}	۰/۰۲۱^{h}	۰/۰۰۳۴^{i}	۵۰/۶۹^{d}	۱/۶۶$^{a-e}$	۱۹/۲۲$^{a-c}$
	S4As2	۰/۰۱۶۲^{cd}	۰/۰۱۰^{eh}	۰/۰۳^{f}	۰/۰۰۵۱^{h}	۷۷/۶۹^{b}	۲/۷$^{a-c}$	۱۹/۶۶^{ab}
	S4As3	۰/۰۱۶۲^{cd}	۰/۰۱۰۶$^{d-g}$	۰/۰۳۲^{ef}	۰/۰۰۵۱^{h}	۷۴/۲۵^{b}	۲/۱۴$^{a-c}$	۱۹/۹۵^{a}
	S4As4	۰/۰۰۸^{f}	۰/۰۰۸^{hi}	۰/۰۲۳^{gh}	۰/۰۰۵۳^{gh}	۵۳/۱۱^{d}	۲/۳^{ab}	۲۰/۴۲^{a}
LSD		۰/۰۰۱۹۷	۰/۰۰۰۸۳	۰/۰۳۲۱	۰/۰۰۰۲۸۵	۳/۲۱۷۴	۰/۲۸۷۶	۲/۱۵۵۸
C.V.		۱۱/۵۱	۱۰/۲۷	۱۷/۲۶	۱۳/۳۲	۱۴/۸۴	۱۷/۷۱	۹/۹۶

S= شوری و SA= اسید سالیسیلیک و S control, S50, S100, S150 به ترتیب شوری ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار و SA0, SA1.1, SA2.1, SA3.2 به ترتیب اسیدسالیسیلیک ۰، ۱/۰۶، ۲/۱۲ و ۳/۲ میلی‌مولار می‌باشد

کربوهیدرات‌های محلول

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تیمار شوری و اسید سالیسیلیک بر میزان کربوهیدرات محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین (۲/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین (۰/۷ میلی-گرم بر گرم وزن تر برگ) میزان کربوهیدرات محلول به ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی۳/۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در تیمار شاهد (عدم شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک) مشاهده شدند (جدول ۳). براساس یافته‌های حاصل از مطالعات قبلی، تنش شوری موجب افزایش کربوهیدرات محلول در آویشن دنائی (هراتی و همکاران، ۱۳۹۵) و شوید (نورانی آزاد و حاجی باقری، ۱۳۸۷) گردید. کربوهیدرات محلول یکی از عوامل مهم تنظیم‌کننده اسمزی و مؤثر در تسهیل جذب آب و حفظ غشای سلولی در برگ گیاهان تحت تنش شوری است. محتوای کربوهیدرات در گیاه نشانگر میزان شدت تنش است (جهان‌تیغ و همکاران، ۱۳۹۵). کربوهیدرات ها سبب تنظیم اسمزی و نیز پایداری غشاها و پروتئین‌های موجود در سلول می‌شوند. این عمل می‌تواند از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های کربوکسیل قندها و زنجیره‌های قطبی پروتئین‌ها و بالاخره پایدارسازی پروتئین‌ها صورت گیرد برای مثال تجمع ساکارز موجب حفظ فسفولیپیدهای غشاء می‌شود و از تغییرات ساختاری

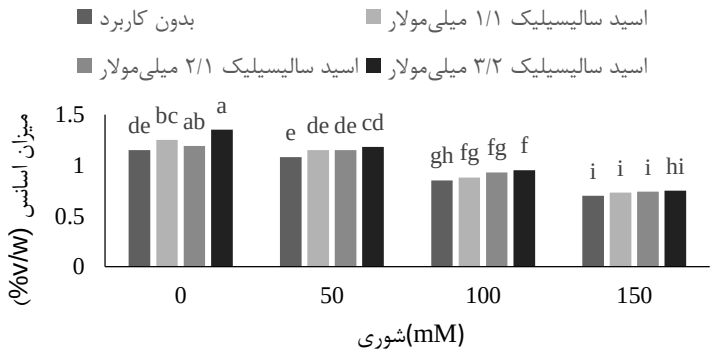
در پروتئین‌های محلول سلول نیز جلوگیری می‌کند. گیاهانی که در تنش شوری حاوی کربوهیدرات‌های محلول بیشتری هستند تحمل شوری بیشتری از خود نشان می‌دهند. تغییر در متابولیسم و تبدیل قندها در وضعیت اسمزی در تحمل تنش دارای نقش تعیین کننده‌ای است (کرپسی و گالیبا، ۲۰۰۰). برگ‌های گیاهی که تحت تنش قرار می‌گیرد رو به نابودی می‌روند و وقتی سرعت نابودی برگ از سرعت گسترش آن بیشتر باشد مقدار مواد ذخیره-ای نسبت به سطح برگ کاهش می‌یابد؛ اما مقدار کربوهیدرات لازم برای رشد گیاه افزایش می‌یابد. در هنگام تنش نسبت ریشه به بخش‌های هوایی افزایش می‌یابد که با افزایش این نسبت، سطح بخش‌های هوایی که نقش اصلی در فتوسنتز و تامین مواد هیدروکربنه گیاه را دارد کاهش می‌یابد (شهبازی و محقق دوست، ۱۳۷۵).

پرولین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تیمار شوری و اسید سالیسیلیک بر میزان پرولین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین میزان پرولین (۳۰/٤ میکرومول بر هر گرم وزن خشک برگ) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی ۳/۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با ۲/۱۲ میلی‌مولار نداشت و کمترین آن (۱۰/٤میکرومول بر هر گرم وزن خشک برگ) در تیمار شاهد (عدم شوری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک) مشاهده شد (جدول ۳). مطالعه تنش شوری در گیاهان دارویی نشان داد که افزایش شوری در پریوش (*Catharanthus roseus*) (عسکری و همکاران، ۱۳۹۵) و در گیاه کرچک (جان محمدی و همکاران، ۲۰۱۲) سبب افزایش پرولین گردید. پرولین یک آمینواسید حلال است که به عنوان یک ماده محافظت کننده و غیرسمی جهت تنظیم اسمزی می‌باشد و با افزایش سطح تنش محتوای پرولین و کربوهیدرات‌ها به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. گیاهان هنگام مواجه شدن با استرس‌های محیطی شروع به ایجاد مکانیسم‌های دفاعی برای زنده ماندن و مقابله با تنش می‌کنند که افزایش پرولین و قندها از این موارد است (یامادا و همکاران، ۲۰۰۵). پرولین یک مولکول تنظیم کننده است که در شرایط شوری مقاومت گیاه به تنش شوری را افزایش دهد (هراتی و همکاران، ۱۳۹۵). پرولین سبب سرکوب رادیکال‌های آزاد می‌شود و از اجزای داخلی سلول در هنگام تنش شوری یا کم شدن آب سلول حفاظت می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین ملاحظه می‌شود در این آزمایش با افزایش شوری میزان پرولین برگ به‌لیمو به منظور مقابله با شرایط تنش افزایش می‌یابد.

میزان اسانس

اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک بر میزان اسانس به‌لیمو معنی‌دار شد. نتایج همچنین نشان داد که بیشترین میزان اسانس (۱/۳۵ درصد) در تیمار بدون شوری و کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح ۳/۲ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۳). به نظر می‌رسد که شوری عملکرد اسانس را کاهش می‌دهد و این مسئله احتمالاً به دلیل محدود شدن عرضهٔ سیتوکنین از ریشه‌ها به شاخه‌ها و درنتیجه تغییر نسبت بین سیتوکنین و اسید آبسیزیک برگ باشد (باررت- لنارد، ۲۰۰۳). آبیاری گیاه نعناع قمی سبز (*Mentha spicata*) با یک محلول شور رشد گیاه را کاهش داده و تشکیل اسانس را متوقف می‌سازد (باررت- لنارد، ۲۰۰۳). در بررسی اثر شوری آب آبیاری بر مرزنگوش و گونه‌ای نعناع دریافت شد که شوری موجب کاهش ۲۰ درصدی عملکرد اسانس می‌شود (باتس و همکاران، ۱۹۷۳). همچنین تنش شوری موجب کاهش میزان اسانس در گیاه رازیانه شد (اشرف و همکاران، ۲۰۰٤). که این نتایج با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد.



شکل۳- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک بر میزان اسانس گیاه جعفری مکزیکی

مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب شد تا خسارت تنش شوری در گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) (فاضلی و همکاران، ۱۳۹٦)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (نورافکن، ۱۳۹۳) و آویشن دنائی (*Thymus daenensis Celak*) (هراتی و همکاران، ۱۳۹٤) تا حدودی جبران شود و علت این جبران خسارت می‌تواند این باشد که اسید سالیسیلیک موجب کاهش پتانسیل اسمزی گیاه و در نتیجه افزایش جذب آب در شرایط شوری باشد (لونت تونا و همکاران، ۲۰۰۷). محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد از جمله اسید سالیسیلیک در گیاهان تحت تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار رشد می‌شود (جونس و همکاران، ۲۰۰۷). اثر تحریک‌کنندگی رشد گیاه مورد مطالعه در این تحقیق با محلول‌پاشی اسید سالیسیلک را می‌توان چنین اثبات نمود که این تنظیم‌کننده رشد گیاهی موجب افزایش میزان تقسیم و رشد سلولی در مناطق مریستمی گیاه شده و از این طریق رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (ساخابوتدیوانوا و همکاران، ۲۰۰۳) که مشابه با نتایج این تحقیق محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک اسید وزن تر و خشک اندام هوایی در خردل (یوسف و همکاران ۲۰۰۸) و آفتابگردان (مهدویان، ۱۳۹٦) را افزایش داد. علاوه بر این می‌توان دلیل احتمالی دیگری برای اثر بخشی مثبت اسید سالیسیلیک بر صفات گیاه بیان نمود که در شرایط تنش شوری میزان دو هورمون گیاهی اکسین و سایتوکینین کاهش می‌یابد و کاهش این دو هورمون موجب کاهش رشد گیاهان می‌شود و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک از طریق افزایش این دو هورمون گیاهی موجب بهبود رشد گیاه می‌شود (ساخابوتدیوانوا و همکاران، ۲۰۰۳). اسید سالیسیلیک همچنین میزان آسیب وارده به اسیدهای چرب را کاهش داده و علاوه بر آن به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی عمل کرده و در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن از جمله پراکسید هیدروژن نقش دارد و بدین طریق از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کند (بوسانی و همکاران، ۲۰۰۱). همین امر می‌تواند دلیل افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه مورد مطالعه در این تحقیق و در مقابل کاهش فنل کل، کربوهیدرات محلول و محتوای پرولین به علت کاهش اثرات تنش شوری باشد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از اسید سالسیلیک در شرایط تنش شوری موجب بروز تغییراتی در برخی ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه به‌لیمو می‌گردد. به طوری که افزایش شوری صفاتی همچون میزان کلروفیل و کاروتنوئید را کاهش داد؛ ولی موجب افزایش ترکیبات فنلی و پرولین گردید. همچنین سطوح شوری بالا (۱۵۰ میلی‌مولار) سبب کاهش ویژگی‌های رشدی به‌لیمو شد و از این طریق اثرات مخرب خود را روی گیاه بر جا گذاشت. با این حال کاربرد اسید سالیسیلک توانست حتی در بالاترین سطوح شوری هم تا حدی اثرات مخرب آن را در گیاه به-

لیمو بهبود ببخشد. بطوری که این گیاهان نسبت به گیاهانی که تحت تنش شوری بودند؛ ولی اسید سالیسیلیک در آنها استفاده نشده بود، عملکرد بیشتری داشتند. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح ۳/۲ میلی‌مولار از طریق تنظیم رشد و نمو و ویژگی‌های بیوشیمیایی سبب مقاومت به‌لیمو به شرایط تنش به‌ویژه در سطح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم گردید.

فهرست منابع

۱. احمدی ع و سی و سه مرده ع، ۱۳۸۳. اثر تنش خشکی بر کربوهیدرات محلول و پرولین در ٤ رقم گندم سازگار با شرایط اقلیمی ایران. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۵(۳): ۷٦۹-۷۵۳.

۲. آروین پ، ۱۳۹٤. اثر جیبرلین بر روی برخی صفات رویشی، محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی و پرولین در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط تنش شوری. مجله پژوهش‌های به زراعی، ۷(۲): ۱۰٤-۸۹

۳. ارچنگی آ، خدامباشی م و محمد خانی ع، ۱۳۹۱. تأثیر تنش شوری بر ویژگی‌های مورفولوژیک و میزان عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم در گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum gracum*) تحت شرایط کشت هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۱۰(۳): ٤٤-۳۳.

۴. جهان تیغ ا، نجفی ف، نقدی بادی ح ع، خاوری نژاد ر.ع و سنجریان ف، ۱۳۹۵. مطالعه برخی از شاخص های فیزیولوژیک زوفا (*Hyssopus officinalis*) در مرحله رویشی تحت تأثیر تنش شوری. زیست شناسی گیاهی ایران، ۸(۲۷): ۸۱-۹٤.

۵. خرسندی ا، حسنی ع، سفیدکن ف، شیرزاد ح و خرسندی ع. ر، ۱۳۸۹. اثر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم بر رشد، عملکرد، میزان و ترکیب‌های اسانس.*Agastache foeniculum Kuntz* . تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲٦(۳): ٤۵۱-٤۳۸.

۶. رضایی م. ب و جایمند ک، ۱۳۸۰. بررسی ترکیب‌های شیمیایی اسانس به‌لیمو (*Lippia citrodora* H.B.). فصلنامه پژوهش و سازندگی، ۵۳: ۱٤-۱۳.

۷. رضایی چیانه ا، جمالی م، پیرزاد ع.ر و توفیق س، ۱۳۹۵. تاثیر قارچ مایکوریز بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط تنش شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۵(۱۷): ۱۵-۲۹.

۸. شهبازی م و محقق دوست ز.ت، ۱۳۷۵. بررسی اثرات کلرور سدیم بر رشد و انباشت ترکیبات آلی و معدنی در گندم. مجله علوم کشاورزی ایران، ۲۷(٤): ۷۸-٦۹.

۹. شهبازی م، امینی ف و اصغری غ.ر، ۱۳۹۲. تاثیر تنش شوری بر پراکسیداسیون لیپید، نشت یونی و پرولین در گیاه دارویی به‌لیمو (*Lipppia citrodora* L.) تحت تیمار ۲٤- اپی براسینولید. اولین کنفرانس ملی تنش شوری در گیاهان و راهکارهای توسعه کشاورزی در شرایط شور. ۸٦۹-۸۷۳.

۱۰. صفرنژاد ع، سلامی م. ر و حمیدی ح، ۱۳۸٦. بررسی ویژگی‌های مورفولوژی گیاه دارویی اسفرزه در برابر تنش شوری. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. ۲۰: ۱٦۰-۱۵۲.

۱۱. عسکری م، امینی ف و حسین پور ل، ۱۳۹۵. مطالعه تغییرات رشد، سیستم دفاع آنتی اکسیدانتی و مقدار پروتئین با کاربرد عنصر روی در گیاه دارویی پریوش (*Catharanthus roseus* (L.)G. Don.) تحت تنش شوری. دوماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۲(۱): ٤٦-۳۵.

۱۲. فاضلی آ، زارعی ب و طهماسبی ز، ۱۳۹٦. تأثیر تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی سیاه دانه (*Nigella sativa* L.). زیست شناسی گیاهی ایران، ۳٤: ٦۹-۸۳.

۱۳. کریمی ه. ۱۳۹۵. فرهنگ رستنی‌های ایران. انتشارات پرچم. تهران.

۱۴. معصومی زواریان ا، یوسفی راد م و اصغری م، ۱۳۹٤. بررسی اثرات قارچ مایکوریزا بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه دارویی انیسون (*Pimpinella anisum*) تحت تنش شوری. فصلنامه گیاهان دارویی، ۱٤(۲): ۱٤۸-۱۳۹.

۱۵. مومنی ن، آروین م. ج، خواجویی نژاد غ، کرامت ب و دانشمند ف، ۱۳۹۲. اثر کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر برخی شاخص‌های فتوسنتزی و تغذیه معدنی گیاه ذرت (*Zea mays* L.). زیست شناسی گیاهی، ۵(۱۵): ۳۰-۱۵.

۱۶. نقوی م. ر و خلیلی م، ۱۳۹٤. مکانیسم‌های مقاومت به تنش شوری در گیاهان، چهارمین کنفرانس ملی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.

۱۷. نورافکن ح. ۱۳۹۳. اثر اسید سالیسیلیک بر القای مقاومت نعناع فلفلی به تنش شوری در شرایط گلخانه. فصلنامه دانش نوین کشاورزی پایدار، ۱۰-۲(۲): ۹۵-۸۵.

۱۸. نورانی آزاد ح. ف و حاجی باقری م. ر، ۱۳۸۷. تأثیر تنش شوری بر روی برخی از ویژگی های فیزیولوژیک گیاه شوید (*Anthum graveolens* L.). مجله دانش نوین کشاورزی، ٤ (۱۲): ۱۰۰-۹۳.

۱۹. وطن خواه ا، کلانتری ب و عندلیبی ب، ۱۳۹٦. اثر متیل جاسمونات و تنش شوری بر ویژگی های فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۳ (۲): ٤٤۹-٤٦۵.

۲۰. هراتی ا، کاشفی ب و متینی زاده م، ۱۳۹۵. بررسی کاهش اثرات سوء تنش شوری بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی آویشن (*Thymus daenensis Celak.*) از طریق کاربرد اسید سالیسیلیک. فناوری تولیدات گیاهی، ۱٦(۲): ۱۲۵-۱۱۱.

21. 19. Ashraf M., Mukhtar N., Rehman S. and Rha E.S. 2004. Salt-induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant Bishop's weed (*Ammi majus* L.). Photosynthetica, 42(2): 543-550.
22. 20. Arnon A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23:112-121.
23. 21. Barrett-Lennard E.G. 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications. Plant and Soil, 253(1): 35-54.
24. 22. Bates L.S., Waldron R.P. and Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studied. Plant Soil, 39: 205-207.
25. Dianat M., Saharkhiz M.J. and Tavassolian I. 2016. Salicylic acid mitigates drought stress in *Lippia citriodora* L.: Effects on biochemical traits and essential oil yield. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 8: 286.293.
26. Gallego-Giraldo L., Escamilla-Trevino L., Jackson L.A., Richard A. and Dixon. 2011. Salicylic acid mediates the reduced growth of lignin down-regulated plants. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108(51): 20814–20819.

27. Gunes A., Inal A., Alpaslam M., Erslan F., Bagsi E.G. and Cicek N. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. Journal of Plant Physiology, 164: 728-736.
28. Irriogyen J.H., Emerich D.W. and Sanchez Diaz M. 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa plant. Acta Physiologiae Plantarum, 84: 55-66.
29. Janmohammadi M., Abbasi A. and Sabaghnia N. 2012. Influence of NaCl treatments on growth and biochemical parameters of castor bean (*Ricinus communis* L.). Acta Agriculturae Slovenica, 96(1): 31-40.
30. Kerepesi I. and Galiba G. 2000. Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. Crop Science, 40(2): 482-487.
31. Levent Tuna A., Kaya C., Dikilitas M., Yokas I.B., Burun B. and Altunlu H. 2007. Comparative effects of various salicylic acid derivatives on key growth parameters and some enzyme activities in salinity stressed maize (*Zea mays* L.) plants. Pakistan Journal of Botany 39(3): 787-798.
32. Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell & Environment, 25(2): 239-250.
33. Parida A.K. and Das A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60: 324-349.
34. Rasool S., Hamees A., Azooz M.M., Rehman M., Siddiqi T.O. and Ahmad P. 2013. Salt stress: Causes, Types and Responses of Plants. Springer, pp: 1-24.
35. Reimond G., Rouphael Y., Di Stasio E., Napilitano F., Clemente G., Maiello R., Giordano M. and De Pascale S. 2017. Evaluation of *Salvia hispanica* performance under increasing salt stress conditions. Acta Horticulturae, 8: 703-708.
36. Said-Alahl H.A.H. and Omer E.A. 2011. Medicinal and aromatic plants production under salt stress. A review. Herba Polonica Journal, 57(1): 72-86.
37. Sakhabutdinova A.R., Fatkhutdinova D.R., Bezrukova M.V. and Shakirova F.M. 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 1: 314-319.
38. Tanou G., Molassiotis A. and Diamantidis G. 2009. Induction of reactive oxygen species and necrotic death-like destruction in strawberry leaves by salinity. Environmental and Experimental Botany, 65(3): 270-281.
39. Tester M. and Davenport R. 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annales Botanici Fennici, 91(5): 503-527.
40. Yamada M., Morishita H., Urano K., Shiozaki N., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. and Yoshiba, Y. 2005. Effect of free proline accumulation in petunias under drought stress. Journal of Experimental Botany, 56(417): 1975-1978.
41. Yusuf M., Hasan S.A., Ali B., Hayat S., Fariduddin Q. and Ahmad A. 2008. Effect of salicylic acid on salinity induced changes in *Brassica juncea*. Journal of Integrative Plant Biology, 50: 1096-1102.
42. Zhang X., Ervin E.H., Evanylo G.K. and Haering K.C. 2009. Impact of biosolids on hormone metabolism in drought- stressed tall fescue Crop. Food and Agriculture Organization of the United Nation, 49(5): 1893-19

Effect of Salicylic Acid on Growth and Biochemical Characteristics and Essential Oil Percentage of Lemon Verbena at Different Irrigation Water Salinity

S. Farsaraei, M. Moghaddam [1*], and L. Mehdizadeh

MSc. Student, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
farsaraei2013@gmail.com
Associate Professor, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
m.moghadam@um.ac.ir
MSc. Student, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
L.mehdizadeh@gmail.com

Abstract

In order to study the effect of salicylic acid on some growth and biochemical characteristics of lemon verbena (*Lippia citrodora* L.) under salt stress, a pot experiment was conducted as factorial, based on completely randomized design, with four levels of water salinity (control, 50, 100, and 150 mM NaCl) and four levels of salicylic acid (SA) (0, 150, 300 and 450 mg/L, equivalent to 0, 1.06, 2.12, and 3.2 mM, respectively). The results showed that interaction effects of salinity and salicylic acid on all of the studied traits were significant, except leaf dry weight, and fresh and dry weights of root. Based on the results, the highest amount of leaf fresh weight, fresh and dry weights of aerial parts, chlorophyll a and chlorophyll b and carotenoid contents were found in the treatment without salinity and application of 3.2 mM SA. The highest amount of soluble carbohydrate was in the treatment without salinity and application of 2.12 mM SA, the highest proline was in 100 mM NaCl and application of 3.2 mM SA, and the highest total phenol was in 100 mM salinity and application of 2.12 mM SA. Therefore, application of SA (especially at 3.2 mM) under salinity stress (100 and 150 mM NaCl) mitigated the negative effects of this stress, increased morphological traits and photosynthetic pigments, and, conversely, decreased the amount of total phenol, soluble carbohydrates, and proline by reducing salinity stress.

Keywords: Photosynthetic pigments, Plant growth regulator, Proline, Soluble carbohydrates

[1] - Corresponding author: Associate Professor, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
* - Received: August 2018, and Accepted: May 2019