نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد هشتم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۹
شماره صفحه: ۳۷۳-۳۵۹
http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2020.2148.1084

برهم‌کنش سطوح تنش شوری و اسید سالیسیلیک روی برخی صفات فیزیولوژیک زعفران (*Crocus sativus* L.)

مریم قربانپور [۱]، احمد احمدیان [۲*]، ایمان یوسفی جوان [۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تولیدات گیاهی دانشگاه تربت‌حیدریه، ایران.
۲- استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و پژوهشگر پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت‌حیدریه، ایران.
۳- استادیار گروه تولیدات گیاهی و پژوهشگر پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت‌حیدریه، ایران.
* نویسنده مسئول: *Email: a.ahmadian@torbath.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۹

چکیده

به منظور مطالعه تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر کاهش اثرات تنش شوری در گیاه زعفران، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی طی سال‌های زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در شرایط محیطی طبیعی (مزرعه) در دانشگاه تربت‌حیدریه انجام شد. فاکتور عامل اصلی شامل تنش شوری با سدیم کلراید در چهار سطح (۱/۵، ۳، ۶ و ۹ دسی-زیمنس بر متر) و فاکتور عامل فرعی محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در چهار سطح (صفر، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ میلی‌مولار) بود. نتایج نشان داد که در بالاترین سطح شوری (نه دسی‌زیمنس بر متر)، کاربرد غلظت مناسب سالیسیلسک‌اسید (۰/۸ میلی‌مولار) باعث افزایش تعداد و طول برگ به ترتیب سه و ۲۰ درصد در سال اول و ۲۰ و ۳۲ درصد در سال دوم نسبت به شاهد گردید. همچنین با کاربرد سالیسیلیک اسید، میزان سدیم برگ ۴۰ درصد کاهش و مقدار پتاسیم برگ ۳۸ درصد در سال دوم افزایش یافت. بر اساس نتایج محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث ایجاد تعادل در محتوای قند و پرولین، کاهش جذب سدیم و جلوگیری از اختلال در جذب پتاسیم شده و محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد. در بالاترین سطح شوری کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش ۲۰ درصدی کلروفیل کل نسبت به شاهد در سال دوم شد. در مورد عملکرد کلاله در سال دوم نیز کاربرد غلظت ۰/۸ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در سطوح شوری شش و نه دسی‌زیمنس بر متر باعث شد عملکرد کلاله خشک (به ترتیب با مقادیر ۱/۱۲ و ۲/۴۵ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب ۸۱ و ۱۱۸ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف افزایش یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کاربرد ۰/۸ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری به منظور افزایش عملکرد کلاله و رشد زعفران و کاهش اثرات منفی شوری قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، کلروفیل.

مقدمه

شوری در اکثر مناطق زراعی ایران در حال افزایش بوده که بزرگترین مناطق مستعد شوری در مرکز ایران قرار دارند. تخمین زده می‌شود که در مناطق شور موجود، میانگین کاهش عملکرد به بیش از ۵۰ درصد برسد *(Qureshi et al., 2007)*. شوری عموماً اثر قابل توجهی روی تمام صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و آناتومیک اکثر گیاهان گذاشته و بر رشد و نمو، بقا و تولیدات گیاهی اثر منفی می‌گذارد و اجزای عملکرد را بسته به اینکه تنش در چه زمانی بر گیاه وارد شده باشد، تحت تأثیر قرار می‌دهد *(Munns & Tester, 2008)*. استفاده از رژیم‌های کم آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب شور می‌تواند به عنوان نوعی مدیریت شوری در مزرعه، به افزایش سطح زیر کشت و الگوی کشت بهینه کمک کند(*Ghamarnia et al., 2015*).

اولین تأثیر شوری بر رشد گیاه، نتیجه تأثیر نمک در خارج از گیاه (تنش اسمزی) است *(Munns et al., 2006)*. افزایش میزان نمک از جذب بیشتر آب توسط گیاه ممانعت می‌کند و گیاه علائمی همانند تنش خشکی شامل پژمردگی، برگ‌های تیره و ضخیم و برگ‌هایی با کوتیکول ضخیم را نشان می‌دهد *(Kafi et al., 2014)*.

دلیل خسارت وارد شده به گیاه احتمالاً ورود بیش از حد نمک به سلول و عدم توانایی برای ذخیره و نگهداری آن در واکوئل‌ها می‌باشد. بعد از آن نمک به سرعت در سیتوپلاسم افزایش یافته و از فعالیت آنزیم‌ها ممانعت می‌کند. همچنین نمک ممکن است در دیواره سلولی به تدریج افزایش یافته و باعث پسابیدگی سلول شود *(Munns et al., 2006)*. بسیاری از اثرات فیزیولوژیک شوری در گیاه ممکن است در اثر تغییر در توازن هورمون‌های گیاهی به وجود آید. تنظیم کننده‌های رشد مانند سالیسیلیک اسید، با ایجاد توازن در محتوای هورمون‌های گیاهی، در کنترل پاسخ‌های گیاه به شوری نقش مهمی دارند *(Pirasteh-Anosheh et al., 2012)*.

نتایج تحقیق *Naghizadeh* و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد، با افزایش شوری آب به بیش از شش دسی‌زیمنس بر متر میزان نشت یونی در بنه و برگ زعفران افزایش یافت، همچنین تنش شوری تعداد برگ، وزن خشک برگ، کلروفیل *a*، *b* و کل را در زعفران کاهش داد. غلامی توران‌پشتی و همکاران (۱۳۸۴) اثر تنش شوری را بر ظرفیت فتوسنتزی سه توده بومی گیاه زعفران را مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آنها نشان داد در شوری معادل نه دسی‌زیمنس بر متر تعداد کل بنه‌ها در مقایسه با شاهد حدود ۱۶ درصد کاهش یافت. وزن بنه‌ها نیز با افزایش شدت تنش به صورت معنی‌داری کاهش یافت به صورتی‌که در تیمار شوری نه دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد وزن بنه‌ها در حدود ۵۰ درصد کمتر بود. در پژوهشی دیگر، روی اثر سطوح مختلف تنش شوری (۳/۴، ۶/۴، ۹/۴ و ۱۲/۴ دسی‌زیمنس بر متر) و پتاسیم بر صفات مورفولوژیک زعفران نشان داده شد که با افزایش شدت تنش شوری، وزن تر و خشک برگ، طول برگ و محتوای نسبی آب برگ زعفران به صورت معنی‌داری کاهش یافت. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش شدت تنش باعث افزایش معنی‌دار نشت یونی برگ شد (*Avarseji et al., 2013*).

سالیسیلیک‌اسید، با نام آیوپاک[1] هیدروکسی بنزویک اسید،[2] یکی از اسیدهای آلی است که دارای مصارف دارویی نیز می‌باشد. اسید سالیسیلیک را می‌توان به سه طریق پیش تیمار بذر، محلول‌پاشی شاخساره‌ای بوته‌ها و محلول در محیط ریشه به کار برد. این ماده که هم‌اکنون به عنوان یک ماده شبه هورمون در نظر گرفته می‌شود، نقش مهمی در تنظیم رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کند (*Ahmadian & Mahdishahivand, 2016*). اسید سالیسیلیک به وسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود و نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف مثل رشد، نمو گیاه، جذب یون، فتوسنتز و جوانه‌زنی ایفا می‌کند *(Hayat et al., 2010)*. در واقع اسید سالیسیلیک از طریق افزایش هورمون‌های رشد مانند اکسین‌ها و سایتوکینین‌ها *(Shakirova et al., 2003)* و کاهش جذب یون‌های سمی و حفظ غشای سلولی *(Maria et al., 2000)* اثرات تنش شوری را کاهش می‌دهد.

---

1 *International Union of Pure and Applied Chemistry (AUPAC)*

2 *Hydroxybenzoic acid*

نتایج پژوهش ترابی‌پاشایی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد کاربرد اسید سالیسیلیک با تأثیر بر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در گیاه زعفران منجر به بهبود تنش اکسایشی ناشی از شوری می‌شود. همچنین در تحقیق دیگری مشخص شد که غوطه‌وری بنه زعفران در غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک باعث افزایش وزن تر گل و کلاله نسبت به شاهد شد (*Jabbari et al., 2018*).

سالیسیلیک اسید از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی و جذب کلسیم، گیاه را از صدمات حاصل از واکنش‌های اکسیداتیو حفظ می‌کند. همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید میزان پلی‌آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین را در گیاه افزایش می‌دهد که می‌تواند به یکپارچگی و حفظ غشا تحت شرایط تنش شوری کمک کند (*Nemeth et al., 2002*).

با توجه به اینکه تنش شوری از عوامل محدود کننده در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود، تحقیق روی مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش شوری حائز اهمیت است. هر چند شوری منابع آب و خاک در ایران از یک سو و اهمیت گیاه ارزشمند زعفران از سوی دیگر که هر دو مورد مذکور در حال افزایش بوده و انتظار است در آینده نیز با شدت بیشتری بر شور شدن اراضی و همچنین کشت زعفران در مناطق مختلف ایران افزوده شود مورد نظر محققان مختلف می‌باشد اما تحقیق و پژوهش در این خصوص به اندازه کافی و کاربردی صورت نگرفته است (*Ahmadian & Mahdishahivand, 2016*).

همچنین راهکارهای مقابله با شوری و اثرات مخرب آن بر روی زعفران زراعی به مقدار کافی وجود ندارد. لذا در این تحقیق به بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات ناشی از تنش شوری در گیاه زعفران پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات ناشی از تنش شوری در گیاه زعفران آزمایشی در شهرستان تربت‌حیدریه با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳۳ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا در دانشگاه تربت‌حیدریه طی سال‌های زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. قبل از اجرای آزمایش نمونه‌برداری از خاک انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ۲۴ کرت در شرایط طبیعی داخل مزرعه اجرا گردید. تیمارها شامل سطوح تنش شوری با سدیم کلراید در چهار سطح در کرت‌های اصلی a_1 (۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، a_2 (سه دسی‌زیمنس بر متر)، a_3 (شش دسی‌زیمنس بر متر)، a_4 (نه دسی‌زیمنس بر متر) و عامل فرعی مصرف اسید سالیسیلیک در چهار سطح شامل b_1 (صفر عدم مصرف سالیسیلیک اسید)، b_2 (۰/۴ میلی‌مولار)، b_3 (۰/۸ میلی‌مولار) و b_4 (۱/۲ میلی‌مولار) بود.

بنه‌های سالم با وزن بین شش تا هشت گرم انتخاب شده و با تراکم ۱۰۰ بنه در مترمربع کشت شدند. اولین تیمار شوری پس از پایان گلدهی، در دی ماه در هر دو سال انجام شد (میزان آب آبیاری در هر نوبت بر اساس ۶۰ لیتر در متر مربع در نظر گرفته شد). برای تهیه سطوح شوری مورد نظر از سدیم‌کلراید استفاده شد که با استفاده از تانکر و کنتور حجمی در مزرعه اعمال گردید. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک دو مرتبه در طول هر سال زراعی انجام گرفت، اول بهمن ماه و اول اسفند ماه هر دو سال به ترتیب نخستین و دومین تیمار اسید سالیسیلیک به صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها انجام شد و پنج روز بعد آبیاری با تیمارهای مختلف شوری انجام گرفت.

برای سنجش میزان آسیب به غشا و میزان نشت یونی ۰/۲ گرم از بافت تازه و سالم برگ زعفران در بیستم اسفند ماه سال دوم از بوته جدا شده و بعد از شستشو با آب مقطر (به منظور شستشوی یون‌های احتمالی از سطح گیاه)، درون لوله آزمایش در پیچدار قرار داده شد و ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه (یون‌گیری شده) به آن اضافه شد. لوله‌های آزمایش به مدت دو ساعت درون حمام آب گرم (دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و بعد از آن هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1) با استفاده از EC متر اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو گردید، بعد از خنک شدن لوله‌ها تا ۲۵ درجه

سانتی‌گراد میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) مجدداً اندازه‌گیری شد و با کمک فرمول زیر درصد نشت یونی محاسبه شد:

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{EC1}{EC2} \times 100 \quad (۱)$$

میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ، به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر و به روش آرنون *(Arnon, 1976)* مورد سنجش قرار گرفت. به این صورت که مقدار ۰/۵ گرم برگ سبز تازه با کمک نیتروژن مایع خرد شده و مقدار ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به آن اضافه شد. حجم عصاره حاصل مشخص شد و سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل *a*، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل *b* و ۴۷۰ برای کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مقدار جذب قرائت شد. در نهایت با جایگذاری اعداد در فرمول زیر مقدار هریک از رنگیزه‌ها تعیین شد:

$$Chlorophyll\ a = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645})\ V/100W \quad (۲)$$

$$Chlorophyll\ b = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663})\ V/100W \quad (۳)$$

$$Carotenoides = 100(A_{470}) - 3.27(mg\ chl.a) - 104(mg\ chl.b)/227 \quad (۴)$$

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر و W= وزن تر نمونه بر حسب گرم بود.

برای تعیین میزان پرولین برگ به روش بیتس و همکاران *(Bates et al., 1973)* از جوان‌ترین برگ‌های بالغ ۰/۵ گرم وزن شد و در سولفواسید سالیسیلیک عصاره همگنی به دست آمد. سپس پرولین برگ به روش رنگ‌سنجی با استفاده از نین‌هیدرین‌اسید توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و با کمک منحنی استاندارد رسم شده میزان پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ به دست آمد.

اندازه‌گیری مقدار کل قندهای محلول برگ به روش فنل- اسید سولفوریک انجام شد *(Sheligl, 1986)*. این روش بر اساس هیدرولیز اسیدی قندهای محلول و ایجاد ترکیب فورفورال است که با فنل یک کمپلکس رنگی ایجاد می‌کند. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و تعیین میزان جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر، سنجش اولیه گلوکز انجام شد. در نهایت با کمک محلول‌های استاندار تهیه شده و رسم منحنی استاندارد میزان کل قندهای محلول برگ بر حب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم برگ از روش هامادا و النای *(Hamada & EL-enany, 1994)* استفاده شد. روی ۰/۵ گرم از برگ خشک پودر شده مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسیداستیک‌گلایسیال ۰/۱ نرمال ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شد. سپس نمونه‌ها دو ساعت در حمام آب گرم ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد از صاف شدن با استفاده از دستگاه فلم‌فتومتر، عدد مربوط به سدیم و پتاسیم قرائت شده و با کمک منحنی استاندارد، میزان سدیم و پتاسیم برگ بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ مشخص شد. برای تعیین تعداد گل و عملکرد کلاله در واحد سطح، در آبان ماه اقدام به برداشت گل‌ها در سال دوم به مدت دو هفته نموده و پس از جداسازی کلاله از گل و خشک کردن با دستگاه خشک‌کن مورد توزین و ثبت قرار گرفتند. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های آماری از نرم‌افزار *SAS Ver 9.2* استفاده گردید. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Some physical and chemical properties of soil at experimental site

بافت	اسیدیته	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهک	رس	سیلت	شن	هدایت الکتریکی
				قابل استفاده						
Texture	pH	OC (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Lime (%)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	EC ($dS.m^{-1}$)
لوم-رسی *Clay loam*	*8.01*	*0.51*	*0.05*	*160*	*28*	*17.5*	*13*	*53*	*34*	*2.19*

نتایج و بحث

تعداد و طول برگ

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) در سال اول آزمایش اثرات تنش شوری و اسید سالیسیلیک و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر تعداد برگ معنی‌دار نبود. در سال دوم اثرات ساده تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر تعداد برگ معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) بود، ولی اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نشد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین طی سال دوم در سطوح بالای شوری (شش و نه دسی‌زیمنس بر متر)، کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار (۱۷ و ۲۰ درصد) تعداد برگ در مقایسه با شرایط عدم کاربرد آن شد (جدول ۳).

بر اساس نتایج به دست آمده کاربرد اسید سالیسیلیک به صورت معنی‌داری از کاهش طول برگ در اثر شوری جلوگیری کرد و بیشترین تأثیر مربوط به غلظت ۰/۸ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که در بالاترین سطح شوری باعث افزایش ۳۲ درصدی طول برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۳).

بر اساس نتایج تحقیق اورسجی و همکاران *(Avarseji et al., 2013)* با افزایش شدت تنش شوری از ۳/۴ تا ۱۲/۴ دسی‌زیمنس بر متر، تعداد و طول برگ زعفران به صورت معنی‌داری کاهش یافت. تعداد و طول برگ زعفران به عنوان مهمترین اجزای تعیین‌کننده شاخص سطح برگ این گیاه، تأثیر زیادی در تعیین ظرفیت فتوسنتزی زعفران دارند. برگ‌ها به عنوان اندام تولید کننده مواد فتوسنتزی، مواد پرورده لازم را برای بنه‌ها و ریشه تهیه و به آنها منتقل می‌کنند *(Ahmadian & Mahdishahivand, 2016)*. شوری، میزان انرژی لازم برای حفظ شرایط طبیعی سلول را افزایش می‌دهد و در نتیجه میزان انرژی کمتری برای نیازهای رشد باقی می‌ماند. بنابراین گیاهان در شرایط شوری به‌طورکلی، ضعیف‌ترند و برگ‌های کوچکتری نسبت به گیاهان معمولی دارند *(Kafi et al., 2014)*.

از دلایل افزایش رشد گیاه تحت تأثیر سالیسیلیک اسید، می‌توان تأثیر مصرف این ماده بر دستگاه فتوسنتزی و حفاظت از دستگاه فتوسنتزی، مقدار فتوسنتز، فعالیت آنزیم روبیسکو، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو و نشت یونی، افزایش همبستگی غشاهای زیستی، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی گیاه را نام برد که در مطالعات مختلف به آن‌ها اشاره شده است *(Popova et al., 2009; Stevens et al., 2006 and Korkmaz et al., 2007)*.

نشت یونی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش شوری آب باعث افزایش معنی‌دار نشت یونی شد و کاربرد اسید سالیسیلیک نشت یونی سلول‌های برگ را به صورت معنی‌داری کاهش داد (جدول ۳). نتایج آزمایش نقی‌زاده و همکاران *(Naghizadeh et al., 2014)* نشان داد که با افزایش شوری میزان نشت یونی در بنه و برگ زعفران افزایش یافت. تنش‌های غیرزنده باعث آسیب و تخریب غشاهای بیولوژیکی، افزایش نفوذپذیری، نشت الکترولیت‌ها و غیرفعال شدن پروتئین‌های غشا می‌شوند *(Chinnusamy et al., 2004)*.

بر اساس نتایج کمترین مقدار نشت یونی برگ (۸/۷۹ درصد) در اثر کاربرد غلظت ۰/۸ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و بیشترین مقدار آن (۲۳/۶۵ درصد) در اثر عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط شوری نه دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد (جدول ۳). حفظ پایداری غشای سلولی در طی تنش، نقش محوری در افزایش تحمل گیاه دارد. گزارش شده است که اسید سالیسیلیک با مهار گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر باعث کاهش آسیب به غشای سلولی و کاهش نشت یونی می‌شود *(Ashraf, 2010)*.

عملکرد گل تر و کلاله خشک

به دلیل این که در اولین سال آزمایش، گل‌دهی در فاصله کوتاهی پس از کاشت انجام شد و تحت تأثیر تیمارهای آزمایش نبود، نتایج مربوط به گل‌دهی سال اول ذکر نشده است.

بر اساس نتایج (جدول ۲) اثرات تنش شوری و اسید سالیسیلیک و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد گل تر و کلاله معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. نتایج مقایسه میانگین حاکی از کاهش عملکرد در اثر شوری و افزایش آن در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک بود. نتایج (جدول ۳) نشان داد در تمام سطوح شوری محلول پاشی با اسید

سالیسیلیک عملکرد را افزایش داد که این افزایش در سطوح بالای شوری از نظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد کلاله (۴/۱ کیلوگرم در هکتار) از کاربرد غلظت ۰/۸ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شوری ۱/۵ دسی-زیمنس بر متر و کمترین عملکرد کلاله (۱/۱ کیلوگرم در هکتار) از عدم کاربرد سالیسیلیک‌اسید در بالاترین سطح تنش شوری (نه دسی‌زیمنس بر متر) به دست آمد.

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک زعفران طی دو سال زراعی

Table 2. analysis variance (Mean Squares) for the effect of different salinity and salicylic acid levels on some of physiologic characteristics of saffron during two crop years

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد برگ Leaf number		طول برگ Leaf length		نشت یونی Ion leakage	وزن گل تر در سال دوم Flower fresh weight in the second year	عملکرد کلاله خشک در سال دوم Dried stigma yield in the second year
		سال اول The First year	سال دوم The second year	سال اول The First year	سال دوم The second year			
بلوک *Block*	*2*	*0.071*	*0.187*	*4.64*	*1.64*	*1.74*	*2.78*	*0.016*
تنش شوری *Salinity stress*	*3*	*0.36^{ns}*	*3.88***	*67.22***	*133.96***	*96.54***	*2785.58***	*9.28***
خطای عامل اصلی *Main error*	*6*	*0.22*	*0.102*	*1.52*	*1.83*	*0.46*	*6.48*	*0.02*
سالیسیلیک اسید *Salicylic acid*	*3*	*0.106^{ns}*	*1.31***	*21.42***	*83.49***	*89.15***	*571.57***	*2.28***
اثر متقابل *Salinity × SA*	*9*	*0.051^{ns}*	*0.12^{ns}*	*7.21***	*12.88***	*13.83***	*59.32***	*0.16**
خطای عامل فرعی *Sub error*	*24*	*0.136*	*0.153*	*1.55*	*1.85*	*0.74*	*14.19*	*0.036*
ضریب تغییرات *CV (%)*		*5.38*	*5.23*	*3.25*	*3.13*	*6.99*	*6.63*	*6.64*

**، * و *ns* به ترتیب معنی‌داردر سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

***, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 probability and no significant, respectively.*

جدول ۳. مقایسه میانگین بر هم‌کنش سطوح مختلف تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک زعفران طی دو سال زراعی

Table 3. Mean compression for the interaction of different salinity and salicylic acid levels on some of physiologic characteristics of saffron during two crop years

سطوح شوری Salinity levels ($dS.m^{-1}$)	سطوح اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار) SA (*mmol*)	تعداد برگ Leaf number		طول برگ Leaf length (*mm*)		نشت یونی Ion leakage (%)	وزن گل تر در سال دوم Flower fresh weight in the second year ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد کلاله خشک سال دوم Dried stigma yield ($kg.ha^{-1}$)
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year			
1.5	*0*	*7.11a**	*8.00^{ab}*	*40.68^{a}*	*46.74^{ab}*	*10.00^{fgh}*	*322.67^{c}*	*3.41^{cd}*
	0.4	*6.89^{ab}*	*8.00^{ab}*	*41.02^{a}*	*46.32^{abc}*	*9.25^{gh}*	*340.87^{bc}*	*3.58^{bc}*
	0.8	*7.01^{ab}*	*8.22^{a}*	*39.83^{ab}*	*48.22^{a}*	*8.79^{h}*	*390.34^{ab}*	*4.12^{a}*
	1.2	*7.22^{a}*	*8.11^{a}*	*40.35^{a}*	*46.35^{abc}*	*9.30^{gh}*	*331.67^{c}*	*3.49^{bcd}*
3	*0*	*7.00^{ab}*	*7.44^{bcd}*	*39.24^{abc}*	*43.92^{de}*	*13.32^{c}*	*284.00^{de}*	*2.99^{ef}*

ادامه جدول ۳

	0.4	6.78^{ab}	7.78^{abc}	40.44^{a}	45.49^{bcd}	10.28^{fg}	323.67^{c}	3.39^{cd}
	0.8	7.00^{ab}	8.11^{a}	40.47^{a}	47.32^{ab}	9.43^{gh}	352.34^{ab}	3.70^{bc}
	1.2	7.11^{ab}	7.89^{abc}	39.99^{ab}	45.44^{bcd}	9.59^{fgh}	362.56^{a}	3.79^{b}
	0	6.78^{ab}	6.56^{f}	34.36^{e}	36.36^{h}	18.23^{b}	170.00^{g}	1.79^{i}
6	0.4	6.67^{ab}	7.22^{de}	36.86^{d}	41.56^{f}	12.59^{d}	220.89^{f}	2.33^{h}
	0.8	6.56^{b}	7.67^{abc}	39.76^{ab}	46.04^{abc}	10.94^{ef}	308.45^{cd}	3.25^{de}
	1.2	7.00^{ab}	7.33^{cde}	39.07^{ab}	43.66^{ef}	12.15^{de}	262.56^{e}	2.76^{fg}
	0	6.56^{b}	6.22^{g}	31.78^{f}	33.65^{i}	23.65^{a}	106.67^{h}	1.12^{j}
	0.4	6.78^{ab}	6.89^{def}	34.61^{e}	38.86^{g}	14.37^{c}	166.78^{g}	1.75^{i}
9	0.8	6.78^{ab}	7.44^{bcd}	37.98^{abc}	44.44^{cde}	12.68^{d}	235.89^{f}	2.45^{gh}
	1.2	6.67^{ab}	6.78^{ef}	37.16^{abc}	41.47^{f}	11.92^{de}	162.56^{g}	1.71^{i}

*در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

**In each column, means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.05 probability level, using Duncan test.*

عملکرد کلاله زعفران رابطه مستقیم با تعداد گل تولید شده دارد که خود ناشی از میزان ترکیبات غذایی ذخیره شده در بنه‌ها است. بنابراین در شرایط تنش هر عاملی که باعث افزایش فتوسنتز شود و از کاهش وزن و اندازه بنه‌ها ممانعت کند منجر به افزایش تعداد گل و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود *(Ahmadian & Mahdishahivand, 2016)*. به نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک با ایجاد تعادل در شرایط فیزیولوژیکی زعفران تحت تنش شوری از کاهش وزن و اندازه بنه‌ها جلوگیری کرده و مانع کاهش شدید عملکرد می‌شود.

سدیم و پتاسیم برگ

نتایج (جدول ۵) نشان داد که با افزایش شوری آب میزان سدیم برگ افزایش ولی میزان پتاسیم برگ و همچنین نسبت پتاسیم به سدیم کاهش یافت. گزارش‌های متعددی همبستگی مثبت بین افزایش غلظت کلریدسدیم در محیط و افزایش مقدار یون سدیم در بافت‌های گیاهی را نشان می‌دهد *(Agarawal, 2005; Essa, 2002; Kayednezami & Balouchi, 2014; Ghasemi-Golezani & Lotfi, 2015)*.

کرمر *(Cramre, 2002)* بیان کرد غلظت زیاد سدیم تحت شرایط تنش شوری مکانیسم جذب پتاسیم را مختل می‌کند. نتایج تحقیق نادیان و همکاران *(Nadian et al., 2014)* نشان داد که افزایش شوری (ناشی از کلریدسدیم) به بیش از ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش معنی‌دار پتاسیم در اندام‌های هوایی زعفران شد.

نتایج نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث کاهش سدیم و افزایش میزان پتاسیم برگ شد. در بررسی اثر متقابل تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر میانگین سدیم برگ (جدول ۵) مشخص شد که بیشترین مقدار سدیم برگ (۱۸/۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) در اثر عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط شوری نه دسی‌زیمنس بر متر و کمترین مقدار آن (۴/۹۱ میلی‌گرم بر گرم) از کاربرد غلظت ۰/۸ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. تیمار سالیسیلیک‌اسید اثرات منفی نمک را روی محتوای عناصر غذایی خنثی می‌کند و موجب کاهش غلظت یون‌های سدیم و کلر در گیاهان تحت تنش شوری می‌شود *(Gunes et al., 2005)*.

بر اساس نتایج (جدول ۵) مشخص شد که در سطح شوری سه دسی‌زیمنس بر متر و بالاتر، کاربرد سالیسیلیک اسید، باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم برگ زعفران شد. همچنین در تمام سطوح شوری کاربرد غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک باعث افزایش نسبت پتاسیم به سدیم برگ در مقایسه با شرایط عدم کاربرد آن شد (جدول ۵).

در گزارشات متعددی مشابه با نتایج تحقیق حاضر، به نقش اسید سالیسیلیک در افزایش میزان پتاسیم برگ و اندام‌های هوایی گیاهانی مثل کلزا، خیار و ذرت در

شرایط تنش شوری و غیرتنش اشاره شده است *(Nazarbeygi & Naseri, 2014; Baninasab & Baghbanha, 2012; Gunes et al., 2007)*.

پرولین

بر اساس نتایج (جدول ۴) اثر تنش شوری و اسید سالیسیلیک و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر مقدار پرولین برگ معنی‌دار بود *($p\leq0.01$)*. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در سطوح شوری ۱/۵ و سه دسی‌زیمنس - بر متر، کاربرد غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار پرولین برگ در مقایسه با شرایط عدم کاربرد آن شد ولی در سطوح بالاتر شوری (شش و نه دسی‌زیمنس بر متر) کاربرد سالیسیلیک اسید، پرولین برگ را به صورت معنی‌داری کاهش داد (جدول ۵).

نتایج تحقیق نقی‌زاده و همکاران *(Naghizadeh et al., 2014)* نیز نشان داد، افزایش شوری آب به بیش از سه دسی‌زیمنس بر متر میزان پرولین برگ زعفران را به طور معنی‌داری افزایش داد. مشابه با نتایج تحقیق حاضر، در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است که در سطوح پایین و متوسط تنش شوری، کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش پرولین برگ شده ولی در شرایط تنش شوری بالا، کاربرد اسید سالیسیلیک باعث کاهش معنی‌دار پرولین برگ شد *(Kayednezami & Balouchi, 2014; Amira & Abdul-Qados, 2015)*. احتمالاً پرولین بعد از تنش به سرعت شکسته می‌شود و ممکن است عواملی را فراهم کند که باعث حمایت از چرخه فسفریلاسیون اکسیداتیو در میتوکندری شود و انرژی لازم *(ATP)* برای برگشت از حالت تنش را فراهم کند.

کل قندهای محلول برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) اثر تنش شوری و اسید سالیسیلیک و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر مقدار قندهای محلول برگ معنی‌دار بود *($P\leq0.01$)*. نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب، قندهای محلول برگ به طور معنی‌داری افزایش یافت. از بین ترکیبات آلی مختلف، قندها بیش از ۵۰ درصد مجموع مواد متشکله پتانسیل اسمزی را تشکیل می‌دهند *(Kumar et al., 2007)*. بر اساس گزارش رستمی و همکاران *(Rostami et al., 2015)* با افزایش شوری آب، مقدار قند برگ زعفران به صورت خطی افزایش یافت.

با بررسی اثر متقابل تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر میانگین قندهای محلول برگ (جدول ۵) مشاهده شد که در سطوح شوری ۱/۵ و سه دسی‌زیمنس بر متر کاربرد غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک تقریباً باعث افزایش قندهای محلول برگ در مقایسه با شرایط عدم کاربرد آن شد ولی در سطوح بالاتر شوری (شش و نه دسی‌زیمنس بر متر) کاربرد سالیسیلیک اسید، قند برگ را به صورت معنی‌داری کاهش داد. با افزایش شوری، گیاه تنظیم اسمزی خود را با افزایش غلظت قندهای محلول انجام می‌دهد. اسید سالیسیلیک با کنترل شوری باعث ایجاد تعادل در میزان قند گیاه در شرایط تنش می‌شود. کاهش سطح قند در گیاهان تیمار شده با اسید سالیسیلیک نشان دهنده نقش بهبود دهنده آن در وضعیت تنش می‌باشد در حالی‌که افزایش قند در گیاه حاکی از آن است که گیاه در معرض تنش قرار گرفته‌است. در مورد اثر کاهشی سالیسیلک اسید بر میزان قندهای محلول در سطوح بالای شوری، گزارشات مشابهی وجود دارد *(Harati et al., 2016; Kayednezami & Balouchi, 2014; Shehba et al., 2010)*.

کلروفیل a، b و کل

بر اساس نتایج (جدول ۴) اثرات تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر میزان کلروفیل *a* و کلروفیل کل معنی‌دار بود *($p \leq 0.01$)* ولی اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نشد. همچنین اثر شوری بر محتوای کلروفیل *b* معنی‌دار شد *($p \leq 0.05$)* ولی تأثیر اسید سالیسیلیک و اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین اثر تنش شوری نشان داد که افزایش شوری آب تا سطح شش دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل *a* (به ترتیب ۱۴ و شش درصد) و کلروفیل کل (به ترتیب ۱۱ و پنج درصد) شد و با افزایش بیشتر شوری، محتوای این دو ۵/۸ درصد کاهش یافت. بر اساس نتایج این پژوهش کلروفیل *b* بیشتر از کلروفیل *a* تحت تأثیر شوری قرار گرفت و از سطح سه دسی‌زیمنس بر متر شروع به کاهش کرد. مشابه با نتایج این تحقیق، نتایج رستمی و همکاران *(Rostami et al., 2015)* نشان داد که تنش شوری تا حد شش

دسی‌زیمنس بر متر، باعث افزایش مقدار کلروفیل کل در برگ زعفران شد ولی با افزایش شدت تنش به بیش از شش دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کلروفیل کاهش یافت. دلیل افزایش کلروفیل در شرایط تنش شوری متوسط این است که برگ‌ها باریک‌تر و سلول‌ها کوچک‌تر می‌شوند بنابراین، تراکم کلروپلاست در واحد سطح برگ بیشتر می‌شود *(Sudhir & Murthy, 2004)*.

بر اساس نتایج کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل شد. مطالعه برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک نشان داد که در سطوح بالای شوری، کاربرد اسید سالیسیلیک در مقایسه با عدم کاربرد آن منجر به افزایش ۲۰ درصدی محتوای کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل شد (جدول ۵). اسید سالیسیلیک در غلظت‌های مناسب با کاهش تخریب رنگیزه کلروفیل، افزایش توان آنتی‌اکسیدانتی سلول و سنتز پروتئین‌های جدید از دستگاه فتوسنتزی حمایت کرده و باعث تأخیر در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌شود *(Popova et al., 2003)*.

کاروتنوئیدها

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) اثرات تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر میزان کاروتنوئیدهای برگ زعفران معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۱)، ولی اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نشد. افزایش شوری آب به بیش از ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای کاروتنوئیدهای برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. القای سنتز کاروتنوییدها در شرایط تنش می‌تواند به دلیل نقش حفاظتی آن‌ها در تشکیلات فتوسنتزی باشد، زیرا این رنگیزه‌ها مسئول خاموش‌کردن اکسیژن یکتایی و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها و تنش اکسیداتیو می‌باشند *(Koyro, 2006)*. نتایج نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش محتوای کاروتنوئیدها شد. مشابه با نتایج این آزمایش، در گزارشات دیگر روی اسفناج و جو نیز به نقش سالیسیلیک اسید در افزایش مقدار کاروتنوئید اشاره شده است *(Pirasteh-Anosheh et al., 2016; Popova et al., 2009; Eraslan et al., 2008)*.

کاستا و همکاران *(costa et al., 2005)* بیان کردند که محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید، با افزایش توان آنتی‌اکسیدانتی گیاه از جمله افزایش کاروتنوئیدها موجب کاهش مقدار پراکسیداسیون لیپیدها و مقدار H_2O_2 و حفاظت بیشتر از غشاهای سلولی و فتوسنتزی و رنگیزه‌های فتوسنتزی شده و از کاتابولیسم کلروفیل جلوگیری می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش شوری باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیک نظیر افزایش قندهای محلول، محتوای پرولین، نشت یونی، میزان سدیم برگ و همچنین کاهش محتوای نسبی آب برگ، سطح فتوسنتز کننده (طول و تعداد برگ)، محتوای کلروفیل و پتاسیم برگ و در نهایت کاهش عملکرد کلاله شد. بر اساس نتایج محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث ایجاد تعادل در محتوای قند و پرولین، کاهش جذب سدیم و جلوگیری از اختلال در جذب پتاسیم شد. اسید سالیسیلیک همچنین طول و تعداد برگ را افزایش داده و از تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی در سطوح بالای تنش جلوگیری کرد. مصرف اسید سالیسیلیک با حفاظت از غشاهای سلولی در شرایط تنش شوری به صورت معنی‌داری نشت یونی از سلول‌های برگ را کاهش داد و همچنین باعث جذب بیشتر آب شده و محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد. محلول‌پاشی برگ زعفران با اسید سالیسیلیک توانست اثرات سوء تنش شوری را کاهش داده و به نحو مؤثری از کاهش عملکرد کلاله ممانعت کند. بر اساس نتایج این پژوهش مناسب‌ترین غلظت اسید سالیسیلیک برای کاهش اثرات سوء ناشی از تنش شوری در گیاه زعفران غلظت ۰/۸ میلی‌مولار بود.

جدول۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک زعفران

Table 4. Analysis variance (mean Squares) for the effect of different salinity and salicylic acid levels on some of physiologic characteristics of saffron

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی df	قند Glucose	پرولین Proline	کلروفیل a Ch a	کلروفیل b Ch b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	سدیم Sodium (Na)	پتاسیم Potassium (K)	نسبت پتاسیم به سدیم K/Na
بلوک *Block*	*2*	*441.64*	*1.14*	*0.0033*	*0.00023*	*0.0051*	*0.00005*	*0.05*	*12.92*	*1.96*
تنش شوری *Salinity stress*	*3*	*3112.46***	*50.00***	*0.0184***	*0.00047**	*0.0228***	*0.00427***	*187.91***	*158.64*	*181.09***
خطا *Error (1)*	*6*	*41.56*	*0.08*	*0.0007*	*0.00012*	*0.0013*	*0.00033*	*1.01*	*13.79*	*1.35*
سالیسیلیک اسید *Salicylic acid*	*3*	*236.37***	*0.60***	*0.0087***	*0.00036*^{ns}	*0.0120***	*0.00051*	*31.99***	*215.02***	*28.50***
اثر متقابل *Salinity × SA*	*9*	*354.43***	*4.89***	*0.0009*^{ns}	*0.00016*^{ns}	*0.0017*^{ns}	*0.00011*^{ns}	*5.58***	*61.78***	*2.08**
خطا *Eroor (2)*	*24*	*46.87*	*0.12*	*0.0017*	*0.00015*	*0.0024*	*0.00016*	*0.44*	*5.48*	*0.92*
ضریب تغییرات *CV (%)*		*3.49*	*3.12*	*5.95*	*7.40*	*5.69*	*4.72*	*7.74*	*3.52*	*10.26*

**، * و *ns* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

***, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 probability and no significant, respectively.*

جدول ۵. مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح مختلف تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک زعفران

Table 5. Mean compression for the interaction of different salinity and salicylic acid levels on some of physiologic characteristics of saffron

سطوح شوری **Salinity levels(*ds/m*)**	سطوح اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار) **SA (*mmol*)**	**قند** (میلی‌گرم برگرم وزن خشک برگ) **Glucose (*mg/g DW*)**	**پرولین** (میکرومول بر گرم وزن تازه برگ) **Proline (*µmol/g FW*)**	**کلروفیل a** (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) **Ch a (*mg/g FW*)**	**کلروفیل b** (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) **Ch b (*mg/g FW*)**	**کلروفیل کل** (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) **Total Chlorophyll (*mg/g FW*)**	**کاروتنوئید** (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) **Carotenoid (*mg/g FW*)**	**سدیم** (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) **Sodium (*mg/g DW*)**	**پتاسیم** (میلی‌گرم-برگرم وزن خشک برگ) **Potassium (*mg/g DW*)**	**نسبت پتاسیم به سدیم K/Na**
1.5	*0*	*175.8^{g}*	*8.25^{l}*	*0.640^{e}*	*0.162^{abcd}*	*0.801^{de}*	*0.247^{de}*	*5.59^{hi}*	*70.96^{ab}*	*12.71^{bc}*
	0.4	*178.1^{fg}*	*9.47^{j}*	*0.658^{de}*	*0.146^{cd}*	*0.804^{de}*	*0.240^{e}*	*5.24^{hi}*	*70.05^{abc}*	*13.60^{ab}*
	0.8	*188.4^{e}*	*10.08^{hi}*	*0.672^{cde}*	*0.153^{bcd}*	*0.7825^{bcd}*	*0.246^{de}*	*4.91^{i}*	*71.40^{a}*	*14.58^{a}*
	1.2	*174.3^{g}*	*9.55^{ij}*	*0.656^{de}*	*0.160^{abcd}*	*0.815^{cde}*	*0.235^{e}*	*5.17^{hi}*	*66.93^{def}*	*13.11^{ab}*
3	*0*	*182.5^{f}*	*8.86^{k}*	*.676^{cde}*	*0.166^{abcd}*	*0.842^{bcd}*	*0.263^{cd}*	*7.35^{f}*	*65.75^{f}*	*9.12^{e}*
	0.4	*179.3^{fg}*	*9.81^{ij}*	*0.710^{abcd}*	*0.169^{ab}*	*0.787^{abcd}*	*0.273^{bc}*	*6.09^{gh}*	*69.06^{bcd}*	*11.34^{cd}*
	0.8	*188.3^{e}*	*10.51^{gh}*	*0.720^{abcd}*	*0.175^{a}*	*0.895^{abc}*	*0.281^{abc}*	*5.42^{hi}*	*70.36^{abc}*	*12.99^{ab}*
	1.2	*193.1^{de}*	*10.86^{fg}*	*0.707^{bcde}*	*0.171^{ab}*	*0.877^{abcd}*	*0.261^{cd}*	*6.00^{gh}*	*71.44^{cde}*	*12.02^{bc}*
6	*0*	*224.2^{ab}*	*12.94^{c}*	*0.717^{abcd}*	*0.157^{abcd}*	*0.784^{abcd}*	*0.272^{bc}*	*12.20^{c}*	*57.12^{g}*	*4.70^{h}*
	0.4	*212.3^{c}*	*11.99^{d}*	*0.740^{abc}*	*0.161^{abcd}*	*0.901^{ab}*	*0.273^{bc}*	*9.00^{e}*	*65.47^{f}*	*7.28^{f}*
	0.8	*194.2^{d}*	*11.55^{de}*	*0.779^{a}*	*0.172^{ab}*	*0.950^{a}*	*0.291^{ab}*	*7.28^{f}*	*69.63^{abc}*	*9.66^{e}*
	1.2	*195.2^{d}*	*11.12^{ef}*	*0.752^{ab}*	*0.171^{ab}*	*0.923^{ab}*	*0.282^{abc}*	*6.95^{fg}*	*67.35^{cde}*	*9.82^{de}*
9	*0*	*224.6^{a}*	*16.24^{a}*	*0607^{f}*	*0.145^{d}*	*0.752^{e}*	*0.272^{bc}*	*18.36^{a}*	*48.12^{h}*	*2.63^{i}*
	0.4	*219.3^{b}*	*13.98^{b}*	*0.687^{bcde}*	*0.162^{abcd}*	*0.849^{bcd}*	*0.284^{ab}*	*14.04^{b}*	*63.97^{f}*	*4.57^{h}*
	0.8	*197.0^{d}*	*12.07^{d}*	*0.730^{abc}*	*0.176^{a}*	*0.906^{ab}*	*0.295^{a}*	*11.03^{d}*	*69.96^{abc}*	*6.34^{fg}*
	1.2	*210.0^{c}*	*13.20^{c}*	*0.680^{cde}*	*0.166^{abc}*	*0.846^{bcd}*	*0.285^{ab}*	*12.83^{c}*	*66.55^{f}*	*5.18^{gh}*

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

In each columns, means followed by the same letter(s) are not significantly different at 0.05 probability level, using Duncan test.

قدردانی

از پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت‌حیدریه و همچنین کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های دانشگاه تربت حیدریه به خاطر همکاری و مساعدت‌های علمی و معنوی صمیمانه سپاس‌گزاری می‌گردد.

منابع

Agarawal, S., Sairam, R.K., Srivasta, G.C., and Meena R.C., 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. J. of Biology Plant. 49(4), 541-550.

Ahmadian, A. 2013. Iranian Important Medicinal Plants. Volume I. Torbat-Heydarieh University Publications, Khorasan-e Razavi, Iran. p. 169-173. [in Persian].

Ahmadian, A., and Mahdishahivand, Z., 2016. Production and Exploitation of Medicinal and Aromatic Plants. Torbat-Heydarieh University Publications, Khorasan-e Razavi, Iran. p. 63-66 [in Persian].

Amira, M., and Abdul, Qados, S., 2015. Effects of salicylic acid on growth, yield and chemical contents of pepper (Capsicum Annuum L.) plants grown under salt stress conditions. International J. of Agriculture and Crop Sciences. 8(2), 107-113.

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agron. J. 23, 112-121.

Ashraf, M., Akram, N.A., Arteca, R.N., and Foolad, M.R., 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. Crit. Review. J. Plant Sci. 29, 162–190.

Avarseji, Z., Kafi, M., Sabet Teimouri, M., and Orooji, K. 2013. Investigation of salinity stress and potassium levels on morphophysiological characteristics of saffron. J. of Plant Nutrition. 36(2), 299-310.

Baninasab, B., and Baghbanha, M.R., 2012. Influence of salicylic acid pre-treatment on emergence and early seedling growth of cucumber (Cucumis sativus) under salt stress. International J. Plant Prod. 7, 187-206.

Bates, I.S., Waldern, R.P., and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. J. Plant and Soil. 39, 205-207.

Chinnusamy, V., Xiong, L., and Zhu, J.K., 2004. Use of genetic engineering and molecular biology approaches for crop improvement for stress environments. P. 47-107. In: Abiotic stress: Plant resistance through Breeding and Molecular Approaches. Ashraf, M., and Harris, P.J.C., (Eds.). Food Products Press 264 p.

Cramre, G.R., 2002. Sodium calcium interactions under salinity stress. J. of Environment Plants Molecules. 205-227.

Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D.J., and Gunes, A., 2008. Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (Spinacia oleracea L. CV. Matador) grown under boron toxicity and salinity. J. of Plant Growth Regulation. 55, 207-219.

Essa, T.A., 2002. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (Glycine max L.) Merrill cultivars. J. of Agronomy & Crop Sci. 188(2), 86-93.

Ghamarnia, H., Khosravi, H., Jalili, Z., and Bahrami Naghad, 2015. Investigating different irrigation and water management methods on yield and water use efficiency of grains. J. Water and Irrigation Management. 5(1), 55-67. [in Persian with English Summary].

Ghasemi-Golezani, K., and Lotfi, R., 2015. Effect of salicylic acid on sodium and potassium accumulation in root and mushroom leaves under salinity stress. Fifth International Conference on Economic Management and Agricultural Sciences, 22 July, Anzali, Iran. [in Persian].

Gholami Turan Poshti, M., Maghsoudi, A., and Farahbakhsh, H., 2005, The effect of two levels of irrigation on some water relations of three native saffron masses of Crocus Sativus L. Iran, Second National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, Kerman. P: 44.

Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Cicek, N., Guneri, E., Eraslan, F., and Guzelordu, T., 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (Zea mays L.). Archives of Agron. and Soil Sci. 51, 687-695.

Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagci, 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, J. Plant Physiol. 164, 728-736.

Hamada, A.M., and El-enany, A.E., 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. Biologia Plantarum. 36, 75-81.

Harati, E., Kashefi, B., and Matinizadeh, M., 2016. Investigation of reducing detrimental effects of salt stress on morphological and physiological traits of (Thymus daenensis Celak.) through Salicylic Acid Application. J. of Plant Production Technology. 16(2), 11-125. [in Persian with English Summary].

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. J. of Environ. Experimental Bot. 68, 14–25.

Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamand, A., Masoomi, A., and Nabati, J., 2014. Environmental stress physiology in plants. Third edition, Jihad-e-Daneshgahi Mashhad Press. Mashhad, Iran. 502 pp. [in Persian].

Kafi, M., Koocheki, A., Rashed, M.H., and Nassiri, M., 2006. Saffron (Crocus sativus L.), Production and Processing. Science Publishers.

Kayednezami, R., and Balouchi, H.R. 2014. Physiological responses of lentil (Lens culinaris Medik.) to salinity stress and foliar application salicylic acid. Iran. J. Pulses Res. 5(2), 83-89 (In Persian with English Summary).

Koyro, H.W., 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte (Plantago coronopus L.). J. Environ. Exp. Bot. 56, 136-149.

Kumar, V., Shiram, V., Jawali, N., and Shitole, M.G., 2007. Differential response of Indica rice genotypes to NaCl stress in relation to physiological and biochemical parameters. Archives Agron. Soil Scie. 53(2), 581-592.

Maria, E.B., Jose, D.A., Maria, C.B., and Francisco, P.A., 2000. Carbon partitioning and sucrose metabolism in tomato plants growing under salinity. J. of Physiologiae Plantarum. 110, 503-511.

Munns, R., and Tester, M., 2008. Mechanism of salinity tolerance. The Annual Rev. Plant Biol. 59, 651-681.

Munns, R., James, R.A., and Lauchli, A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J. Experimental Bot. 57(5), 1025-1043.

Naghizadeh, M., GholamiShabestari, M., and Shamsaddin Saied, M. 2014. The study of some physiological responses of three Iranian saffron (Crocus sativus L.) landraces to salinity stress. J. Saffron Agron. & Technol. 2(3), 127-136. [in Persian with English Summary].

Nazarbeygi, E., and Naseri, R., 2014. Effects of gibberrellic acid and salicylic acid under salinity on Na+ and K+ absorbtion and leaf characteristic of two rapeseed lines. J. Crop Ecophysiol. 8(1), 1-16. [in Persian with English Summary].

Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., Ashraf, M., and Foolad, M.R., 2012. Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. J. of Advanced Studies in Biol. 11, 501-520.

Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., Rousta, M.J., and Hashmi, S.E., 2016. Effect of foliar application of salicylic acid on biochemical attributes and grain yield of barley (Hordeum vulgare L. cv. Nosrat) under saline conditions. Iran. J. Crop Sci. 18(3), 232-244. [in Persian with English Summary].

Popova, L., Ananieva, V., Hristova, V., Christov, K., Geovgieva, K., Alexieva, V., and Stoinova, Z., 2003. Salicylic acid and methyl Jasmonate- induced protection on photosynthesis to Paraquat oxidative stress. Bulgarian J. Plant Physiology. 133-152.

Popova, L.P., Maslenkova, L.T., Yordanova, R.Y., Ivanova, A.P., Krantev, A.P., Szalai, G., and Janda, T., 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. J. Plant Physiol. and Biochemistry. 47, 224-231.

Qureshi, A.S., Qadir, M., Heydari, N., Turral, H., and Javadi, A., 2007. A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran. Colombo, Srilanka: International water management Institute, 30 pp. (IWMI Working paper 125).

Rostami, M., Mohammad Parast, B., and Golfam, R., 2015. The effect of different levels of salinity stress on some physiological characteristics of saffron (Crocus sativus L.). J. of Saffron Agron. & Technol. 3(3), 193-197. [in Persian with English Summary].

Shakirova, F.M., and Sahabutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. J. of Plant Sci. 164, 317-322.

Shehba, Z., Baghizadeh, A., Vakiliseid, M.A., Yazdanpanah, A., and Yosefi, M., 2010. The salicylic acid effect on the tomato (Lycopersicume sculentum Mill.) sugar,

protein and proline contents under salinity stress (NACL). J. Biophysics and Structural Biol. 2(3), 35-41.

Sheligl, H.Q., 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta J. 47-51.

Sudhir, P., and Murthy, S.D.S., 2004. Effect of salt stress on basic processes of photosynthesis. J. Photosynthetica. 42, 481-486.

Torabi pashaii, S., Niknam, V., and Ebrahimzade, H., 2016. Comparative study of biochemical responses of different populations of cultivated saffron to salinity stress and the role of salicylic acid in improving the effect of stress plant research J. 29(4): 717-729.

Journal of Saffron Research (semi-annual)

Vol.8, No.2, Fall & Winter, 2020-2021

p. 359-373

http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2020.2148.1084

University of Birjand

Original Article:

Interaction Effects of Salt Stress and Salicylic Acid Levels on Physiological Trials of Saffron (*Crocus sativus* L.)

Maryam Ghorbanpour[1], Ahmad Ahmadian[2]*, Iman Yousefi-Javan[3]

1- Msc Student of Plant Production, University of Torbat Heydarieh, Iran.

2- Assistant Professor of Plant Production Department, Agricultural faculty and Researcher of Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Iran.

3- Assistant Professor of Plant Production Department and Researcher of Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Iran.

** Corresponding author Email: a.ahmadian@torbath.ac.ir*

Received 23 December 2018; Accepted 18 May 2020

Abstract

In order to investigate the effect of salicylic acid levels on mitigation of salinity stress in saffron (*Crocus sativus* L.), an experiment was conducted in Torbat Heydarieh during 2015-2016 and 2016-2017. The experiments were performed as split plots based on a randomized complete block design with three replications. Four salinity stress levels such as a_1 (1.5 $dS.m^{-1}$), a_2 (3 $dS.m^{-1}$), a_3 (6 $dS.m^{-1}$), a_4 (9 $dS.m^{-1}$) and four levels of salicylic acid including b_1 (zero (control)), b_2 (0.4 mM), b_3 (0.8 mM), and b_4 (1.2 mM) were considered as the main and sub plots, respectively. The results showed that for the highest salinity rate (9 $dS.m^{-1}$), optimum concentration of salicylic acid increased leaf number and leaf length up to 3 and 20% in first year and with 20 and 32% in the second year, respectively. Also, salicylic acid was declined leaf sodium content up to 40% and leaf potassium content increased up to 38% in the second year. According to the results, salicylic acid caused balances in glucose and proline contents, decreased of Na absorption, prevented disorders of K absorption and enhanced RWC leaves of saffron. In the second year and for the highest salinity level, salicylic acid application increased total chlorophyll up to 20% compared to control. Application of 0.8 mM salicylic acid+ 6 and 9 $dS.m^{-1}$ salinity stress levels increased dried stigma yield (with 1.12 and 2.45 $kg.ha^{-1}$, respectively) up to 81 and 118%, respectively. Therefore, we can suggested that application of 0.8 mM salicylic acid in salinity stress conditions in order to enhance stigma yield and saffron growth and mitigate negative effects under salinity stress conditions.

Keywords: Chlorophyll, Plant growth regulators, Proline.