

اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و سلنیوم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و زراعی گلرنگ در شرایط تنش خشکی

مجتبی یوسفی‌راد^{۱*} و مهدی شریفی^۲

۱ و ۲) گروه زراعت، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران.

* نویسنده مسئول: m.yousefirad@iau-saveh.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۵

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و سلنیوم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی، یک آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل آبیاری در سه سطح، آبیاری کامل در فصل رشد (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی و قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد تشکیل طبق بود. عامل فرعی محلول پاشی بوته‌های گلرنگ شامل عدم محلول پاشی (شاهد)، محلول پاشی با اسید سالیسیلیک، محلول پاشی با سلنیوم و محلول پاشی با اسید سالیسیلیک همراه با سلنیوم در نظر گرفته شد. تنش خشکی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه شد، ولی درصد پروتئین، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پرولین را افزایش داد، همچنین بیشترین اثر منفی تنش خشکی در مرحله گلدهی مشاهده شد، به طوری که تنش در مرحله گلدهی سبب افت ۴۹ درصدی عملکرد دانه و ۳۳ درصدی زیست توده گلرنگ شد. محلول پاشی سبب بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز نسبت به عدم محلول پاشی (شاهد) شد. البته بین تیمارهای محلول پاشی در عملکرد دانه و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما محلول پاشی اسید سالیسیلیک با 7198 Kg/ha ، بیشترین زیست توده را نشان داد. محلول پاشی در شرایط عدم تنش و تنش خشکی سبب افزایش درصد روغن دانه شد، به طوری که در آبیاری کامل و تنش مرحله گلدهی به ترتیب محلول پاشی اسید سالیسیلیک با ۲۴ درصد و محلول پاشی اسید سالیسیلیک با سلنیوم با ۲۸ درصد، بیشترین درصد روغن را دارا بودند. تیمارهای محلول پاشی موجب افزایش میزان پرولین در شرایط تنش نسبت به شاهد شد و در تنش مرحله گلدهی، محلول پاشی اسید سالیسیلیک و سلنیوم با ۱۱ میکرومول بر گرم وزن تر گیاه بیشترین میزان پرولین را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، درصد روغن، پرولین و گلرنگ.

مقدمه

بیش از ۹۰ درصد روغن گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) از اسیدهای چرب غیراشباع به ویژه اسید لینولئیک و اسید اولئیک تشکیل شده، بنابراین کیفیت بالایی داشته و می تواند نقش مهمی در گسترش سطح زیر کشت گیاهان دانه روغنی داشته باشد (Weinberg et al., 2005). گلرنگ گیاهی با ریشه اصلی عمیق و اکثراً دارای برگ های خاردار است که این دو ویژگی باعث افزایش توانایی تحمل به خشکی و گرما در گیاه می شوند (پورداد و همکاران، ۱۳۷۸). کمبود آب یکی از مهم ترین تنش های محیطی محدودکننده تولید در گیاهان زراعی می باشد (Munns, 2002). کمبود آب اغلب اولین عامل محدود کننده برای تولید گیاهان زراعی در شرایط خشک و نیمه خشک شناخته می شود (Hussain et al., 2004). در تحقیقی بیان شد برخورد مراحل زایشی کلزا با تنش خشکی، موجب کاهش اکثر صفات وابسته به عملکرد نظیر تعداد خورجین در گیاه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خورجین و درصد روغن شد و نهایتاً عملکرد دانه و روغن کاهش یافت (Ma et al., 2006). اثر خشکی بر درصد پروتئین نیز متفاوت بوده، ولی برخی گزارش ها افزایش درصد پروتئین دانه کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط تنش خشکی را بیان نموده اند (Rahnema and Bakhshande, 2006). همچنین بیان شده فعالیت آنزیم سوپراکسی دیسموتاز در ارقام مختلف گندم (*Triticum aestivum* L.) با افزایش شدت تنش خشکی افزایش یافت (Lascano et al., 2001). سلینیوم (Se) عنصری مفیدی برای گیاهان است، ولی ضروری بودن آن برای رشد و نمو گیاهان ثابت نشده است (Broadley et al., 2012). عناصر مفید هرچند به طور مستقیم در متابولیسم گیاهان و تکمیل چرخه زندگی آن ها دخالت ندارند، ولی در بهبود رشد رویشی و زایشی به ویژه در شرایط تنش های محیطی و یا زیستی نقش دارند (Hajiboland, 2012). در پژوهشی بیان شد کاربرد سلینیوم در شرایط تنش خشکی اثر مثبت و معنی داری بر تعداد خورجین در گیاه، تعداد دانه در خورجین، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن ارقام کلزا داشت (Zahedi et al., 2009). محلول پاشی سلینیوم در شرایط تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گیاه کلزا شد (Pazoki et al., 2010). نتایج پژوهشی نشان داد محلول پاشی سلینیوم به میزان ۱۹ گرم در هکتار، اثر منفی تنش خشکی در ارقام آفتابگردان را تعدیل کرد و سطح فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان (کاتالاز، گلوکاتایون پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز) را افزایش داد و در نتیجه سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۴۷ درصد شد (دادنیا، ۱۳۹۱). اسید سالیسیلیک در گیاهانی که تحت تنش های محیطی قرار دارند، نقش حفاظتی دارد و یک ترکیب فنلی شبه هورمون می باشد که به عنوان یک تنظیم کننده داخلی نقش مهمی در سازوکارهای دفاع در برابر تنش های زنده و غیرزنده بازی می کند (Hayat et al., 2010; Dawood et al., 2012). اسید سالیسیلیک یک آنتی اکسیدان محلول در آب است که صدمات ناشی از تنش خشکی در گیاهان را کاهش می دهد (Noreen and Ashraf, 2008; Vaisnad and

(Talebi, 2015). نتایج پژوهشی نشان داد کاربرد ۱۰ میکرومول اسیدسالیسیلیک باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در پاسخ به تنش در *Brassica juncea* شد (Yusuf et al., 2008). در پژوهشی دیگر دیده شد تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد و درصد روغن گلرنگ شد، از سوی دیگر محلول پاشی اسیدسالیسیلیک (۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) توانست وزن هزار دانه، تعداد طبق در بوته و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی را بهبود بخشد و محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسیدسالیسیلیک مناسب تر بود (فرجام و همکاران، ۱۳۹۳). همینطور محلول پاشی یک میلی مولار اسیدسالیسیلیک در شرایط بدون تنش و دو میلی مولار در شرایط تنش خشکی سبب افزایش عملکرد کلزا شد و محلول پاشی دو میلی مولار اسیدسالیسیلیک توانست تا ۱۳ درصد کاهش عملکرد کلزا در شرایط تنش خشکی را جبران کند (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴). محلول پاشی ۱۰۰ میکرومولار اسیدسالیسیلیک از طریق افزایش معنی دار جذب عناصر غذایی ماکرو و رنگدانه های فتوسنتزی، سبب کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی در آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) گردید (نعمت الهی و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به اینکه خشکی و کم آبی در ایران همواره از مهم ترین مسائل و مشکلات کشاورزی بوده و مصرف منابع، انرژی، آب و مواد غذایی به طور روزافزونی در جامعه افزایش می یابد، بنابراین تحقیق حاضر بر افزایش تحمل گلرنگ به تنش خشکی با مدیریت زراعی تاکید دارد. در این بین، کاربرد تنظیم کننده های رشد گیاهی و عناصر مفید در بهبود و تعدیل آثار تنش خشکی، می تواند یک مدیریت زراعی مناسب محسوب شود. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر اسیدسالیسیلیک به عنوان یک شبه هورمون و سلینیوم به عنوان یک عنصر مفید، جهت کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ بود.

مواد و روش ها

این آزمایش به صورت کرت خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه ای شخصی واقع در شهرستان ساوه صورت پذیرفت. شهرستان ساوه در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی حدود ۵۰ درجه و ۲۱ درجه شرقی با ارتفاع ۱۰۴۵ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین بلند مدت بارش منطقه حدود ۲۰۶ میلی متر در سال است که عمدتاً از ماه های مهر تا اردیبهشت می بارد. در دوره های اعمال تنش، بارندگی رخ نداده که قابل ذکر باشد. کرت اصلی در این آزمایش تنش خشکی در سه سطح شامل آبیاری کامل (آبیاری هر هفت روز یک بار)، قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی و قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد تشکیل طبق ها بود و محلول پاشی به عنوان عامل فرعی در چهار سطح شامل عدم محلول پاشی (شاهد)، محلول پاشی با اسید سالیسیلیک، محلول پاشی با سلینیوم و محلول پاشی با اسید سالیسیلیک همراه با سلینیوم بود. به منظور محلول پاشی در مراحل ساقه دهی و ابتدای گلدهی از ۱۵۰ میکرومولار اسیدسالیسیلیک و ۱۸ گرم در هکتار سلینیوم

استفاده شد. جهت محلول پاشی از سمپاش بادی پشتی استفاده شد. میزان پاشش به اندازه‌ای انجام گرفت که تمام برگ‌ها کاملاً خیس شده و قطرات محلول از برگ‌ها به طرف زمین ریزش پیدا می‌کرد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های خاک مزرعه محل آزمایش

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	درصد مواد خنثی	کربن الی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلیون)	پتاسیم قابل جذب (میلیون)	آهن قابل جذب (میلیون)	بافت خاک	عمق خاک (سانتی‌متر)
۳/۴۶	۸/۰۴	۱۲/۲۲	۲/۳۴	۱/۴	۱۷/۹	۱۸۴	۱/۲۸	رسی - لومی	۳۰-۰

به منظور آماده‌سازی زمین، آبیاری قبل از کاشت انجام گرفت و پس از گاورو شدن به وسیله گاو آهن برگردان‌دار شخم زده شد. سپس به منظور خرد شدن کلوخه‌ها و همچنین یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، زمین دیسک و ماله زده شد. کوددهی بر اساس آزمون خاک صورت گرفت. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و برای حصول تراکم ۴۰ بوته در متر مربع فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت شامل پنج خط کاشت به ابعاد ۲×۳ بود. برای جلوگیری از نفوذ جانبی آب بین کرت‌ها دو متر و بین تکرارها چهار متر فاصله در نظر گرفته شد. در این تحقیق از بذور گلرنگ رقم گلدشت بدون خار استفاده شد که از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، بخش دانه‌های روغنی تهیه شده بود. برای کشت، ابتدا بذور با قارچ کش کاپتان (۰/۰۰۲) ضدعفونی شدند. کاشت به صورت دستی و کپه‌ای صورت پذیرفت و بذور تهیه شده در عمق ۳-۵ سانتی‌متری کشت شد. آبیاری اولیه بلافاصله پس از کاشت انجام شد و در مرحله ۴-۶ برگی به منظور تراکم مورد نیاز، مزرعه تنک شد. در هر کرت، دو خط کناری و ۰/۵ متر از دو انتهای پشته‌ها، جهت حذف اثر حاشیه‌ای برداشت نشدند. در زمان رسیدگی، برای تعیین صفات مورد نظر از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد. برداشت مزرعه به صورت کفبری و به روش دستی و حذف حاشیه‌ها صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری روغن دانه ابتدا سه گرم از دانه‌های گلرنگ توزین شده و توسط دستگاه سوکسله روغن آنها استخراج شد و درصد روغن دانه‌ها محاسبه شد (Zhang et al., 2011). به منظور محاسبه درصد پروتئین دانه، ۳۰ گرم از نمونه توزین شد و نیتروژن کل دانه نیز توسط دستگاه کجلدال (Auto Analyzer 2300 شرکت Foss) به دست آمد و در نهایت میزان نیتروژن در ضریب ۵/۴۵ ضرب شده و از این طریق درصد پروتئین دانه مشخص شد (Zhang et al., 2011). برای اندازه‌گیری میزان پرولین، ۰/۵ گرم از بافت برگی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول اسیدسولفوسالیسیلیک سه درصد به وسیله هاون خرد و یکنواخت شد.

سپس دو میلی لیتر اسید استیک و دو میلی لیتر ناین هیدرین به دو میلی متر از عصاره صاف شده فوق، اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از آن برای پایان یافتن واکنش، لوله های آزمایش در داخل یک بستر یخی قرار گرفته و چهار میلی لیتر تولوئن به هر لوله اضافه شد. نهایتاً از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر استفاده شد و با کمک منحنی استاندارد به دست آمده از غلظت های مختلف پرولین، میزان آن بر حسب میکرومولار بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (Bates et al., 1973). برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، یک گرم نمونه برگ منجمد در هاون چینی خرد و هموژن شد و سه میلی لیتر محلول واکنش به آن اضافه شد و در لوله آزمایش جهت قرائت میزان فعالیت آنزیم ریخته شد. مخلوط واکنش برای سنجش فعالیت آنزیم شامل بافر فسفات ۵۰ میلی مولار، متیونین ۰/۱۳ مولار، EDTA ۰/۱ میکرومولار و ریپوفلاوین دو میکرومولار می باشد که در تاریکی کامل نگهداری می شود. در انتها از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر استفاده شد (Giannopolitis and Ries, 1977). برداشت جهت بررسی صفات بیوشیمیایی، با توجه به زمان اعمال تنش خشکی، در مرحله تشکیل دانه ها صورت گرفت. داده های به دست آمده با استفاده از نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند و مقایسه میانگین داده ها با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می دهد اثر تنش خشکی بر کلیه صفات مورد بررسی معنی دار شد و اثر محلول پاشی بجز صفات تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و درصد روغن بر سایر صفات معنی دار شد اما برهمکنش فاکتورهای تحقیق تنها بر میزان پرولین و درصد روغن معنی دار شد.

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و سلنیوم بر ویژگی های فیزیولوژیک، عملکرد و

اجزای عملکرد گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد	درصد روغن	درصد پروتئین	سوپراکسید دیسموتاز	پرولین
بلوک	۲	۴/۱ ^{ns}	۱۶/۹۱ ^{**}	۱۲/۳۱ ^{ns}	۲۵۶۳۶۷/۳ ^{ns}	۱۳۶۸۹۴۱۹/۶ ^{**}	۴۴ ^{**}	۲۶/۶۲ ^{**}	۱۲۵۵۸/۰۲ [*]	۱۷/۶۵ [*]
تنش خشکی (a)	۲	۳۵/۹۸ ^{**}	۱۳۲/۶۴ ^{**}	۶۱/۱۹ [*]	۶۲۰۱۴۹۴/۴ ^{**}	۲۳۱۱۲۶۹۲/۸ ^{**}	۱۷/۴۹ [*]	۱۱/۵۸ [*]	۴۶۹۵۳/۴ ^{**}	۴۳/۷ ^{**}
اشتباه اصلی	۴	۱/۹	۰/۲	۱۴/۰۶	۱۰۷۰۸۳/۷	۴۹۴۸۴۱/۷	۱/۲۲	۱/۲۲	۲۶۶۴/۵	۱/۵۳
محلول پاشی (b)	۳	۵/۶ [*]	۱۲/۲۶ ^{ns}	۴۲/۲۷ [*]	۵۷۶۰۵۴/۸ ^{ns}	۲۸۹۹۵۵۰/۸ [*]	۸/۱۶ ^{ns}	۸/۳۱ [*]	۲۲۸۴۶/۹۸ [*]	۵/۵۴ [*]
a*b	۶	۲/۱۴ ^{ns}	۴/۲۹ ^{ns}	۱۰/۷۸ ^{ns}	۱۴۲۶۷۰/۴ ^{ns}	۲۷۲۳۸۸/۸ ^{ns}	۹/۴۷ [*]	۱/۰۳ ^{ns}	۲۹۲۶/۴۷ ^{ns}	۷/۴۷ [*]
اشتباه فرعی	۱۸	۰/۷۹	۳/۸۲	۴/۰۵	۱۰۶۷۴۶/۹۶	۱۹۱۲۰۹/۶۲	۱/۳۶	۱/۰۳	۳۲۰۸/۴	۰/۶۷
ضریب تغییرات (%)		۱۵/۲۴	۱۴/۲۹	۶/۳۶	۱۵/۷۴	۶/۴۶	۸/۴۲	۸/۱	۱۴/۰۱	۱۰/۵۹

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد ns : عدم اثر معنی دار.

تعداد طبق در بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما برهمکنش تنش خشکی با محلول پاشی بر تعداد طبق در بوته معنی دار نبود (جدول ۲). قطع آبیاری در مراحل گلدهی و تشکیل طبق سبب کاهش تعداد طبق به میزان $43/3$ و $30/8$ درصد شد (جدول ۳). با محلول پاشی تعداد طبق در بوته نسبت به عدم محلول پاشی افزایش یافت، البته بین اسید سالیسیلیک، سلینیوم و کاربرد توام اسید سالیسیلیک با سلینیوم اختلاف معنی داری مشاهده شد (جدول ۴). از دلایل کاهش تعداد طبق در اثر تنش خشکی می‌توان به اثر تنش خشکی بر تقسیم سلول‌های تخمک اشاره کرد (شاه‌مرادی و همکاران، ۱۳۸۸). احتمالاً کمبود عرضه مواد فتوسنتزی در جریان تنش، باعث عدم تأمین مواد فتوسنتزی به میزان کافی برای طبق‌ها و در نتیجه ریزش طبق‌ها می‌شود (Rao and Mendham, 1991). اعمال تنش خشکی بعد از تشکیل طبق‌های اولیه اثر کمی بر تعداد طبق خواهد داشت و بیش‌تر طبق‌های دومینه و فرعی که نقش کم‌تری در عملکرد دارند خسارت می‌بینند (Dajue and Hundel, 1996). در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد تنش در مرحله گلدهی بیش از تنش مرحله تشکیل طبق سبب کاهش تعداد طبق در بوته شد. تنش خشکی با کاهش ذخائر مواد هیدروکربنی، نمو دانه در درون طبق‌ها را تحت اثر قرار داده و باعث سقط دانه‌ها و کاهش تعداد دانه شد (Mohammad et al., 2007). در تحقیقی بر لوبیا قرمز، افزایش تعداد غلاف در بوته تحت محلول پاشی $0/7$ و $1/5$ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی نسبت به عدم محلول پاشی گزارش شد (شوقیان و روزبهانی، ۱۳۹۶). همچنین در تحقیقی دیگر بیان شد محلول پاشی کلزا با 15 و 30 گرم سلینیوم، افزایش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد روغن را سبب شد (Zahedi et al., 2009).

تعداد دانه در طبق

نتایج تجزیه واریانس بیانگر این بود که اثر تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی داری بود. اما اثر محلول پاشی و برهمکنش تنش خشکی با محلول پاشی بر تعداد دانه در طبق معنی داری نشد (جدول ۲). قطع آبیاری در مرحله گلدهی و تشکیل طبق به ترتیب موجب کاهش $35/37$ و $29/82$ درصدی تعداد دانه در طبق نسبت به شاهد شد که نشان از خسارت بیش‌تر در تنش مرحله گلدهی بود (جدول ۳). محلول پاشی سبب افزایش تعداد دانه در طبق نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) شد، به‌طوری‌که محلول پاشی اسید سالیسیلیک و محلول پاشی سلینیوم با میانگین $14/61$ و $14/71$ دانه در طبق، افزایش معنی داری را نسبت به شاهد نشان دادند (جدول ۴). در تحقیقی بیان شد اعمال تنش خشکی سبب کاهش تعداد دانه در طبق گلرنگ (*Cartamus tinctorious* L.) شد و هر چه زمان تنش به گلدهی نزدیک‌تر شد این خسارت بیش‌تر است. اعمال تنش بعد از گلدهی (مرحله تشکیل طبق) خسارت کمتری بر این صفت داشت (کافی و رستمی،

(۱۳۸۶). در این تحقیق دیده شد بین تنش مرحله گلدهی و تشکیل طبق در تعداد دانه در طبق تفاوت معنی‌داری دیده نشد. در تحقیقی بیان شد اسید سالیسیلیک می‌تواند مانند یک تنظیم کننده رشد نخود در شرایط تنش خشکی عمل کند. سپس بیان شد محلول پاشی اسید سالیسیلیک به میزان ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار، با بهبود فتوسنتز گیاه و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش پرولین و کربوهیدرات محلول در ارقام مختلف نخود باعث تحریک رشد ارقام مختلف نخود شد (Vaisnad and Talebi, 2015). در تحقیقی دیگر مشاهده شد محلول پاشی گندم با ۳ میلی‌گرم در لیتر سلیوم سبب بهبود اجزاء عملکرد گندم مانند تعداد دانه به میزان ۳۷ درصد شد و در شرایط تنش فلز سنگین کادمیوم (۳۵۰ و ۷۰۰ میکرومولار)، افزایش ۳۸ و ۷۷ درصدی در تعداد دانه ایجاد کرد (دریایی و همکاران، ۱۳۹۳).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد اثر اصلی تنش خشکی و محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، اما برهمکنش تنش خشکی با محلول پاشی بر وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (جدول ۲). تنش خشکی در مرحله گلدهی و تشکیل غوزه، وزن هزار دانه را به میزان ۱۳/۳۱ و ۵/۵۹ درصد نسبت به شاهد تقلیل داد (جدول ۳). محلول پاشی سبب افزایش وزن هزار دانه نسبت به عدم محلول پاشی شد، به‌طوری که بیش‌ترین افزایش به میزان ۱۸/۱۴ درصد نسبت به شاهد در محلول پاشی اسید سالیسیلیک همراه با سلیوم به‌دست آمد. البته محلول پاشی با سلیوم و محلول پاشی با اسید سالیسیلیک نیز نسبت به عدم محلول پاشی سبب افزایش وزن هزار دانه شدند و به‌ترتیب افزایش ۱۰ و ۱۲ درصدی را ایجاد کردند (جدول ۴). وزن دانه تابع سرعت و طول دوره پر شدن دانه است که از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تأمین می‌شود (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۰) و در شرایط تنش خشکی، به دلیل کاهش جذب آب و املاح علاوه بر کاهش فتوسنتز، انتقال مجدد مواد فتوسنتزی دچار نقصان می‌شود و از طرف دیگر، مدت زمان پر شدن دانه به دلیل پیری زودرس برگ‌ها کاهش می‌یابد که تمامی این عوامل به کاهش وزن هزار دانه می‌انجامد (Zahedi et al., 2009). در تحقیقی کاهش ۳۰ درصدی وزن هزار دانه سویا در اثر تنش خشکی (بودن آبیاری در طول فصل) گزارش شد (امینی و همکاران، ۱۳۹۲). در تحقیقی دیده شد مصرف ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک سبب افزایش طول، وزن ریشه و ساقه از طریق جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها در ریشه و افزایش فتوسنتز برگ‌های جو شد و در نتیجه اثر تنش بر گیاهچه جو را کاهش داد (Metwally et al., 2003). همچنین محلول پاشی سلیوم (۱۰ میلی‌گرم) سبب افزایش فعالیت زنجیره انتقال الکترون در برگ‌های گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum*) شده و در نتیجه رشد رویشی و رشد دانه را بهبود می‌بخشد (Ozbolt et al., 2008).

عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر محلول پاشی و برهمکنش تنش خشکی با محلول پاشی بر این صفت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). با قطع آبیاری، از عملکرد دانه کاسته شد، به نحوی که قطع آبیاری در مرحله گلدهی و تشکیل طبق به ترتیب کاهش ۴۹ و ۳۵ درصدی عملکرد نسبت به شاهد را سبب شد. بیش‌ترین عملکرد دانه (۲۸۷۲/۵۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد و کم‌ترین عملکرد دانه (۱۴۷۶/۷۷ کیلوگرم در هکتار) در قطع آبیاری در مرحله گلدهی رخ داد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت اثر فاکتور محلول پاشی نشان داد (جدول ۴) محلول پاشی، عملکرد دانه را نسبت به عدم محلول پاشی افزایش داد. البته بین محلول پاشی با اسید سالیسیلیک، سلینیوم و اسید سالیسیلیک همراه با سلینیوم اختلاف معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد. تنش خشکی به دلیل خسارت به اجزای عملکرد از جمله تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه سبب کاهش عملکرد دانه شد. در تحقیقات دیگر نیز کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ تحت تنش خشکی، گزارش شده است (کافی و رستمی، ۱۳۸۶؛ ظفری و همکاران، ۱۳۹۶). اسید سالیسیلیک در غلظت کم (10^{-5} میلی‌مولار) با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداز)، سبب بهبود پارامترهای رشد گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی شد (Hayat et al., 2008). اسید سالیسیلیک از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی شده و با افزایش رنگدانه‌های برگ سبب افزایش فتوسنتز گیاه شد (Hayat et al., 2010). این افزایش فتوسنتز می‌تواند در نهایت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه را سبب شود، اما احتمالاً سلینیوم با اثر تنظیمی بر آنزیم‌های موثر در سنتز و هیدرولیز ساکارز (اینورتاز، ساکارز سنتاز و ساکارز فسفات سنتاز) و آنزیم‌های هیدرولیزکننده نشاسته (آمیلازها)، میزان تولید نشاسته و ساکارز را افزایش داده و از این طریق پیش‌ماده لازم برای افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه را فراهم می‌کند (Malik et al., 2011). همانند نتایج پژوهش حاضر، در تحقیقی بیان شد مصرف ۳۰ گرم در هکتار سلینیوم در شرایط تنش خشکی، از طریق تحریک رشد ریشه، افزایش جذب آب ریشه‌ها، کاهش تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی موجب بهبود رشد و افزایش عملکرد کدوی پوست کاغذی در شرایط تنش خشکی شد (نعیمی و همکاران، ۱۳۹۱). دادنیا (۱۳۹۱) افزایش ۴۷ درصدی عملکرد ارقام مختلف آفتابگردان را در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی با محلول پاشی ۱۹ گرم در هکتار سلینیوم گزارش کرد.

عملکرد بیولوژیک

اثر تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد، ولی برهمکنش تنش خشکی با محلول پاشی اثر معنی‌دار بر عملکرد بیولوژیک نداشت (جدول ۱). نتایج مقایسه

میانگین عملکرد بیولوژیک تحت اثر فاکتور تنش خشکی در جدول ۳ نشان می‌دهد با قطع آبیاری عملکرد بیولوژیک کاهش یافت. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، تنش خشکی در مراحل گلدهی و تشکیل طبق به ترتیب سبب کاهش ۳۳/۱ و ۲۱/۳ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد شد. محلول پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش ۲۰/۳ درصد عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد شد که البته با محلول پاشی توام سلنیوم و اسید سالیسیلیک در یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۴). در تحقیقات محققان دیگر نیز کاهش عملکرد بیولوژیک و زیست توده گلرنگ تحت تنش خشکی گزارش شده است (ظفری و همکاران، ۱۳۹۶). اسید سالیسیلیک، طویل شدن و تقسیم سلولی را همراه با هورمون‌هایی مانند اکسین تنظیم می‌کند که منجر به افزایش ماده خشک و ارتفاع بوته در شرایط تنش می‌شود (Hayat and Ahmad, 2007). محلول پاشی اسید سالیسیلیک (به میزان ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) با افزایش فتوسنتز در ارقام آفتابگردان، سبب بهبود رشد آفتابگردان در شرایط تنش شوری شد و در نتیجه زیست توده گیاهی را افزایش داد (Noreen and Ashraf, 2008). در تحقیقی دیگر نیز افزایش رشد گیاه جو در شرایط تنش در حضور یک و ۱/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک گزارش شد (مهدویان، ۱۳۹۶). مصرف ۳ میلی گرم در لیتر سلنیوم با بهبود میزان کلروفیل برگ ارقام گندم (به طور متوسط ۲۵ درصد) و کاهش نشت یونی، سبب بهبود ۸۲ و ۳۶ درصدی وزن تر گیاه در شرایط عدم تنش و تنش شد (دریایی و همکاران، ۱۳۹۳).

درصد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر تنش خشکی و برهمکنش تنش خشکی با محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر درصد روغن دانه معنی دار شد، اما اثر محلول پاشی معنی دار نشد (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین درصد روغن دانه در واکنش به تنش خشکی با محلول پاشی حاکی از آن بود که در شرایط آبیاری کامل فقط محلول پاشی اسید سالیسیلیک (۲۴/۸ درصد روغن)، درصد روغن دانه را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). در تنش خشکی مرحله گلدهی، محلول پاشی با سلنیوم و محلول پاشی سلنیوم همراه با اسید سالیسیلیک اثر معنی داری را نسبت به عدم محلول پاشی بر درصد روغن دانه ایجاد کردند و به ترتیب ۲۲/۸ و ۲۴/۱ درصد روغن داشتند. ولی در تنش خشکی مرحله تشکیل طبق، تنها محلول پاشی با اسید سالیسیلیک با ۲۳/۱ درصد روغن، نسبت به عدم محلول پاشی در این مرحله دارای درصد روغن دانه بیش تری بود. دانه محل تجمع روغن است و هر تیماری که سبب کاهش تجمع مواد فتوسنتزی در دانه شود، درصد روغن دانه را کاهش می‌دهد (Lopez Pereira et al., 2000). احتمالاً تنش خشکی با کاهش ظرفیت دانه در جذب اسیمیلات‌ها و تبدیل آن‌ها به روغن، باعث اثر منفی بر درصد روغن دانه شده است (روستایی و همکاران، ۱۳۹۱). البته بین دو تنش در مراحل گلدهی و تشکیل طبق تفاوت معنی داری مشاهده نشد و تنش مرحله تشکیل طبق نیز با

شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. در منابع نیز دلیل اثرپذیری اندک درصد روغن به تنش خشکی را به‌این دلیل دانسته‌اند که درصد روغن یک صفت کمی است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و احتمال آسیب همه آنها از تنش خشکی بعید می‌باشد (توکلی، ۱۳۸۱). در تحقیقی مشاهده شد محلول پاشی ۳۰ گرم در لیتر سلینیوم سبب افزایش درصد روغن ارقام کلزا از ۴۱/۹ به ۴۲/۳ شد و ۹ درصد عملکرد روغن را افزایش داد (داودی و همکاران، ۱۳۹۵).

درصد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تنش خشکی و محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، اما برهمکنش تنش خشکی با محلول پاشی اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه نداشت (جدول ۲). با اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی، درصد پروتئین دانه افزایش پیدا کرد، ولی تنش خشکی در مرحله تشکیل طبق اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین نسبت به شاهد نداشت (جدول ۳)، در واقع درصد پروتئین واکنشی متفاوت و برعکس درصد روغن که کاهش می‌یافت، نشان داد. تیمار اسیدسالیسیلیک اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه نداشت، ولی کاربرد سلینیوم و همینطور مصرف توأم اسیدسالیسیلیک و سلینیوم موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شاهد شد. همچنین بیش‌ترین مقدار درصد پروتئین در محلول پاشی سلینیوم با ۲۰/۰۵ درصد پروتئین رخ داد (جدول ۴). نتایج تحقیق حاضر نشان داد تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین دانه، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پرولین شد. در شرایط تنش خشکی، به‌دلیل کوچک شدن اندازه دانه (حداکثر ۳۰ درصد نسبت به شاهد)، پروتئین‌ها حجم بیش‌تری از فضای دانه سویا را نسبت به شرایط غیر تنش اشغال می‌کنند و بنابراین در شرایط تنش خشکی، درصد پروتئین دانه افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که افزایش حدکثر ۴۴ درصدی در پروتئین دانه نسبت به شاهد دیده شد (امینی‌فر و همکاران، ۱۳۹۲). ساز و کار اثر سلینیوم روی سنتز پروتئین‌ها مشخص نیست و ممکن است حداقل یکی از دلایل آن، افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز باشد (Nowak et al., 2004).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اثر داشت، اما برهمکنش تنش خشکی با محلول پاشی معنی‌داری نداشت (جدول ۲). قطع آبیاری در مراحل گلدهی و تشکیل طبق به ترتیب موجب افزایش ۳۶/۷۶ و ۲۱/۹۱ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد (جدول ۳). محلول پاشی موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد، البته تیمار اسید سالیسیلیک، سلینیوم و محلول پاشی اسید سالیسیلیک با سلینیوم در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). سوپراکسید دیسموتاز، برای تحمل گیاهان به کمبود آب در طی تنش اکسیداتیو، بسیار مهم است که این موضوع توسط محققان

زیادی گزارش شده است (McKersie *et al.*, 2000). سوپر اکسید دیسموتاز نوعی آنتی اکسیدان قوی است که اولین ماده تولید شده از احیای یک ظرفیتی اکسیژن، یعنی رادیکال سوپر اکسید را از بین می برد، بنابراین به سوپر اکسید دیسموتاز، دفاع اولیه در مقابل رادیکال های آزاد اکسیژن اطلاق می شود (Alscher *et al.*, 2002). اسید سالیسیلیک باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدان ها مانند سوپراکسیداز دیسموتاز می شود و سبب افزایش تحمل ذرت به تنش اکسیداتیو ایجاد شده توسط گونه های فعال می شود (Fahad and Bano, 2012). صیامی و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش کردند در حضور ۱۰۰ و ۲۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک، فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به ترتیب ۳۲ و ۴۲ درصد در ذرت افزایش یافت. کاربرد سلنیوم نیز می تواند موجب افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی شود که دلیل آن افزایش سطوح آنزیم های آنتی اکسیدان بود (دادنیا، ۱۳۹۱؛ Xue *et al.*, 2001). دادنیا (۱۳۹۱) افزایش ۲۳ درصدی سوپر اکسید دیسموتاز در رقم آرمویرسکی، ۲۰ درصدی در رقم زاریا و ۲۷ درصدی در رقم پروگرس را در اثر محلول پاشی ۱۹ گرم در هکتار سلنیوم گزارش کرد.

پرولین

در جدول تجزیه واریانس دیده می شود اثر تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد، اثر محلول پاشی و برهمکنش تنش خشکی با محلول پاشی بر میزان پرولین در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین نشان داد در آبیاری کامل فقط محلول پاشی اسید سالیسیلیک (۷/۸۷ میکرومول بر گرم وزن تر) و در تنش خشکی مرحله گلدهی، محلول پاشی اسید سالیسیلیک همراه با سلنیوم (۱۱ میکرومول بر گرم وزن تر) موجب افزایش پرولین شد. در تنش خشکی مرحله تشکیل طبق، بیشترین میزان پرولین در محلول پاشی سلنیوم و همچنین اسید سالیسیلیک همراه با سلنیوم مشاهده شد (جدول ۵). در مطالعه حاضر و همچنین سایر مطالعات، افزایش غلظت پرولین اندام های گیاه با تشدید کمبود آب مشهود است که در اغلب مطالعات چنین افزایشی را به تنظیم اسمزی گیاه مربوط دانسته اند. بدون شک، تجمع پرولین در شرایط تنش زای محیطی در افزایش توانایی بقای گیاه نقش دارد (Sankar *et al.*, 2007). افزایش پرولین در اثر محلول پاشی ۰/۷ میلی مولار اسید سالیسیلیک سبب افزایش پرولین لوبیا قرمز به میزان ۴۴ درصد شده و در نهایت عملکرد گیاه را افزایش داد (شوقیان و روزبهانی، ۱۳۹۶). در تحقیقی دیگر نیز افزایش پرولین تحت محلول پاشی سلنیوم (تیمارهای ۱، ۲ و ۳ میلی گرم در کیلوگرم) در گندم گزارش شد (Yao *et al.*, 2009). این تجمع پرولین به تنظیم پتانسیل اسمزی گیاه کمک می کند.

جدول ۳: مقایسه میانگین های اثر تنش خشکی بر ویژگی های فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ تحت

شرایط تنش خشکی

تنش خشکی (قطع آبیاری)	تعداد دانه در طبق	تعداد طبق در بوته	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	درصد پروتئین	سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی گرم پروتئین در دقیقه)
آبیاری کامل	۱۷/۴۷a	۷/۷۶a	۳۳/۸a	۲۸۷۲/۵۷a	۸۲۷۴/۰۱a	۱۸/۱۵b	۳۳۸/۲۸c
تنش در مرحله گلدهی	۱۱/۲۹b	۴/۴c	۲۹/۳c	۱۴۷۶/۷۷c	۵۵۳۶/۰۱c	۱۹/۹۴a	۴۶۲/۶۲a
تنش در مرحله تشکیل طبق	۱۲/۲۶b	۵/۳۷b	۳۱/۹۱b	۱۸۷۶/۰۲b	۶۵۱۰/۴۲b	۱۸/۳۶b	۴۱۲/۴b

میانگین های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۴: مقایسه میانگین های اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و سلنیوم بر ویژگی های فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای

عملکرد گلرنگ

محلول پاشی	تعداد دانه در طبق	تعداد طبق در بوته	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	درصد پروتئین	سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی گرم پروتئین در دقیقه)
شاهد	۱۲/۴b	۴/۷۸b	۲۸/۷۸c	۱۷۰۰/۴۳b	۵۹۸۲/۱c	۱۸/۰۶b	۳۴۹/۰۷b
اسید سالیسیلیک	۱۴/۶۱a	۶/۷۶a	۳۲/۲۳ab	۲۱۴۴/۷۹a	۷۱۹۸/۲۱a	۱۸/۰۵b	۴۳۳/۳۶a
سلنیوم	۱۴/۷۱a	۵/۹۹a	۳۱/۶۸b	۲۲۱۶/۲۴a	۶۷۴۱/۶۱b	۲۰/۰۵a	۴۲۱/۵۷a
اسید سالیسیلیک و سلنیوم	۱۲/۹۶ab	۵/۸۴a	۳۴a	۲۲۳۹/۰۱a	۷۱۷۲/۰۱ab	۱۹/۱۲ab	۴۱۳/۷۴a

میانگین های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۵: مقایسه میانگین‌های اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و سلیوم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گلرنگ تحت

شرایط تنش خشکی

تنش خشکی (قطع آبیاری)	محلول‌پاشی	درصد روغن	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)
آبیاری کامل	شاهد	۲۲/۴۱b	۴/۹۷c
آبیاری کامل	اسیدسالیسیلیک	۲۴/۷۹a	۷/۸۷b
آبیاری کامل	سلیوم	۲۱/۶bc	۴/۹۵c
آبیاری کامل	اسیدسالیسیلیک و سلیوم	۲۲/۹۸ab	۵/۰۹c
تنش در مرحله گلدهی	شاهد	۲۰/۳۲cd	۸/۷۶b
تنش در مرحله گلدهی	اسیدسالیسیلیک	۱۹/۹۹cd	۹/۶۵ab
تنش در مرحله گلدهی	سلیوم	۲۲/۸۵b	۸/۵۵b
تنش در مرحله گلدهی	اسیدسالیسیلیک و سلیوم	۲۴/۰۹ab	۱۱a
تنش در مرحله تشکیل طبق	شاهد	۱۸/۷۸d	۶/۵۷bc
تنش در مرحله تشکیل طبق	اسیدسالیسیلیک	۲۳/۱۳ab	۷/۷bc
تنش در مرحله تشکیل طبق	سلیوم	۲۰cd	۹/۱۵ab
تنش در مرحله تشکیل طبق:	اسیدسالیسیلیک و سلیوم	۲۰/۲۱cd	۹/۱ab

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مرحله گلدهی در گلرنگ از نظر نیاز گلرنگ به آب، مرحله بحرانی‌تر نسبت به طبق‌دهی بوده و اعمال تنش در این مرحله اثر منفی بیش‌تری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه داشت و باید در تامین آب گیاه در این مرحله دقت کافی شود. همچنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد محلول‌پاشی ۱۸ گرم سلیوم یا ۱۵۰ میکرومول اسید سالیسیلیک بهبود عملکرد دانه و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط تنش و حتی عدم تنش سبب شد، به‌طوری‌که افزایش عملکرد ناشی از تیمارهای تحقیق شامل محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، سلیوم و ترکیب آن‌ها به‌ترتیب ۲۶، ۳۰ و ۳۱ درصد بود. احتمالاً تیمارهای محلول‌پاشی با افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانت (سوپر اکسید دیسموتاز) و افزایش میزان پرولین و تنظیم اسمزی سبب بهبود شرایط گیاه شدند. محلول‌پاشی توام آن‌ها در کلیه صفات موثر بوده و تفاوت محسوسی نسبت به مصرف جداگانه آن‌ها ایجاد نکرد.

منابع

امینی‌فر، ج.، محسن آبادی، غ. ر.، بیگلویی، م. ح. و سمیع زاده، ح. ا. ۱۳۹۲. تاثیر کم آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب رقم T.215 سویا. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب ایران. ۳ (۱۱): ۲۴-۳۴.

- پورداد، س.س.، علیزاده، خ.، عزیزی‌نژاد، ر.، شریعتی، ع.، اسکندری، م.، خیاوی، م. و نباتی، ع. ا. ۱۳۸۷. بررسی مقاومت به خشکی گلرنگ‌های بهاره در مناطق مختلف. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۲ (۴۵): ۴۱۵-۴۰۳.
- توکلی، ا. ۱۳۸۱. بررسی اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و عملکرد روغن گلرنگ. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- حیدری، ا.، بیژن‌زاده، ا.، نادری، ر. و امام، ی. ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی پایان فصل و اسیدسالیسیلیک بر عملکرد دانه و دمای سایه‌انداز گیاهی در دو رقم کلزا. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷ (۲۷): ۵۳-۳۷.
- دادنیا، م. ر. ۱۳۹۱. بررسی اثر تنش کمبود آب و محلول پاشی سلینیوم بر فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ارقام آفتابگردان روغنی. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴ (۱۴): ۸۱-۷۱.
- داودی، ع. ر.، میرشکاری، ب.، شیرانی راد، ا. ح.، فرحوش، ف. و رشیدی، و. ۱۳۹۵. بررسی اثر کاربرد سلینیوم بر کمیت و کیفیت روغن دانه ارقام کلزا در شرایط کشت تأخیری. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸ (۳۱): ۱۴۳-۱۲۹.
- دریایی، ف.، کرامت، ب. و آروین، م. ج. ۱۳۹۳. اثر محلول پاشی سلینیوم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی دو رقم گندم (کوبر - روشن) تحت تنش کادمیوم. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۳ (۱۰): ۱۱۳-۱۰۱.
- روستایی، خ.، موحدی دهنوی، م.، خادم، س. ع. و اولیایی، ح. ر. ۱۳۹۱. اثر نسبت‌های مختلف پلیمر سوپرجاذب و کود دامی بر خواص کمی و کیفی سویا تحت تنش خشکی. مجله به‌زراعی کشاورزی. ۱۴ (۱): ۴۲-۳۳.
- شاه‌مرادی، ش.، هادی، ح. و جنوبی، پ. ۱۳۸۸. ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های سویا در شرایط تنش کم‌آبی. علوم زراعی ایران. ۱۱ (۴): ۴۰۹-۳۹۳.
- شوقیان، م. و روزبهانی، آ. ۱۳۹۶. اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا قرمز در شرایط تنش خشکی. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹ (۳۴): ۱۴۷-۱۳۱.
- صیامی، ر.، میرشکاری، ب.، فرح‌بخش، ف.، رشیدی، ر. و تازی‌نژاد، ع. ر. ۱۳۹۶. اثر پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک و تنش کم‌آبی بر فعالیت آنزیمی و عملکرد ذرت دانه‌ای. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹ (۳۴): ۳۵-۲۳.
- طباطبایی، س. ع.، قاسمی، ع. و شاکری، ا. ۱۳۹۰. اثر تنش آبی بر عملکرد و میزان روغن ارقام کلزا. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۳ (۱۲): ۵۳-۴۱.

ظفری، م.، عبادی، ع.، جهانبخش، س. و صدقی، م. ۱۳۹۶. بررسی اثر کاربرد بر اسینواستروئید بر پتانسیل عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) بهاره تحت رژیم های مختلف آبیاری. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۰(۲): ۱۱۵-۱۲۶.

فرجام، س.، رخزادی، ا.، محمدی، ه. و قلعه شاخانی، س. ۱۳۹۳. اثر تنش قطع آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گلرنگ بهاره. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶(۲۳): ۹۹-۱۱۲.

کافی، م. و رستمی، م. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و درصد روغن ارقام گلرنگ در شرایط آبیاری با آب شور. مجله پژوهش های زراعی ایران. ۵(۱): ۱۳۱-۱۲۱.

مهدویان، ک. ۱۳۹۶. اثر غلظت های متفاوت سالیسیلیک اسید بر تحمل شوری گیاهچه جو (*Hordeum vulgare* L.). فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹(۳۶): ۱۳۶-۱۲۱.

نعمت الهی، ا.، جعفری، ع. و باقری، ع. ۱۳۹۲. اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید روی رنگدانه های فتوسنتزی و جذب عناصر غذایی ارقام زراعی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۵(۱۲): ۵۱-۳۷.

نعیمی، م.، اکبری، غ.، شیرانی راد، ا. ح.، حسنلو، ط. و اکبری، غ. ع. ۱۳۹۱. اثر کاربرد ژنولیت و محلول پاشی سلنیوم در شرایط کم آبی بر روابط آبی و آنزیم های آنتی اکسیدان در گیاه کدو پوست کاغذی. مجله به زراعی کشاورزی. ۱۴(۱): ۸۱-۶۷.

Alscher, R.G., Erturk, N. and Heath, L.S. 2002. Role of superoxide dismutase (SOD) in controlling oxidative stress in plant. *Journal of Experimental Botany*, 53(372): 1331-1341.

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, L.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-208.

Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Ma, J. F., Rengel, Z. and Zhao, F. 2012. Beneficial elements. In: P. Marschner (Ed.) *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, 3rd Edition. Academic Press Inc. San Diego, 672 p.

Dajue, L. and Mundel, H.H. 1996. Safflower. *Carthamus tinctorius* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 7. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute. Rome. Italy, 83 p.

Dawood, M.G., Sadak, M.S. and Hosayen, M. 2012. Physiological role of salicylic acid in improving performance, yield and some biochemical aspects of sunflower plant growth under newly reclaimed sandy soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(4): 82-89.

Fahad, S.H. and Bano, A.S. 2012. Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize growth in saline area. *Pakistan Journal of Botany*, 44(4): 1433-1438.

Giannopolitis, C.N. and Ries, S.K. 1977. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plant. *Plant Physiology*, 59(2): 309-314.

Hajiboland, R. 2012. Effects of micronutrient deficiencies on plants stress responses. *In: A Parvaiz, M.N.V. Prasad, (Eds.) Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability.* Springer Verlag. India, PP 282–326.

Hayat S. and Ahmad, A. 2007. Salicylic Acid - A Plant Hormone. Springer. Netherlands, 410 p.

Hayat, S., Hasan, S. A., Fariduddin, Q., Ahmad, A. 2008. Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress, *Journal of Plant Interactions*. 3 (4): 297–304

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1): 14-25.

Hussain, A., Ghaudhry. M. R., Wajad, A., Ahmed, A., Rafiq, M., Ibrahim, M. and Goheer, A. R. 2004. Influence of water stress on growth, yield and radiation use efficiency of various wheat cultivars. *International Journal of Agriculture Biology*, 6(6): 1074-1079.

Lascano, H. R., Antonicelli, G. E., Luna, C. M., Melchiorre, M. N., Gomez, L. D., Racca, R. W., Trippi, V. S. and Casano, L. M. 2001. Antioxidant system response of different wheat cultivars under drought: field and *in vitro* studies. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28(11): 1095-1102.

Lopez Pereira, M., Trápani, N. and Sadras, V. O. 2000. Genetic improvement of sunflower in Argentina between 1930 and 1995 III. Dry matter partitioning and grain composition. *Field Crops Research*, 67(3):215-221.

Ma, Q., Niknam, S. R. and Turner, D. W. 2006. Responses of osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B.juncea* to soil water deficit at different growth stages. *Australia Journal of Agricultural Research*, 57(2): 221-226.

Malik, J. A., Kumar, S., Thakur, P., Sharma, S., Kaur, N., Kaur, R., Pathania, D., Bhandhari, K., Kaushal, N., Singh, K., Srivastava, A. and Nayyar, H. 2011. Promotion of growth in mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by selenium is associated with stimulation of carbohydrate metabolism. *Biological Trace Elem Research*, 143(1): 530-539.

McKersie, B. D., Murnaghan, J., Jones, K. S. and Bowley. S. R. 2000. Iron superoxidase dismutase expression in transgenic alfalfa increases winter survival without a detectable increase in photosynthetic oxidative stress tolerance. *Plant Physiology*, 122(4): 1427-1437.

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Plant Physiology*, 132(1): 272- 281.

Mohammad, T., Ali, A., Nadeem, M. A., Tanveer, A. and sabir, Q. M. 2007. Performance of canola under different irrigation levels. *Pakistan Journal of Botany*, 39 (3) 793-746.

Munns, R. 2002. Comparative Physiology of Salt and Drought stress. *Plant Cell and Environment*. 25, 239-250.

Noreen, S. and Ashraf, M. 2008. Alleviation of adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of salicylic acid: growth and photosynthesis. *Pakistan Journal of Botany*, 40(4): 1657-1663.

Nowak, J., Kaklewski, K. and Ligocki, M. 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(10): 1553-1558.

Ozbolt, L., Kreft, S., Kreft, I., Germ, M. and Stibilj, V. 2008. Distribution of selenium and phenolics in buckwheat plants grown from seeds soaked in Se solution and under different levels of UV-B radiation. *Food Chemistry*, 110: 691-696.

Pazoki, A. R., Shirani Rad, A. H., Habibi, D., Paknejad, F., Kobraee, S. and Hadayat, N. 2010. Effect of drought stress and selenium spraying on superoxide dismutase activity of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 4(8): 655-658.

Rahnema, A. A. and Bakhshande, A. M. 2006. Determination of optimum irrigation level and compatible canola varieties in the Mediterranean environment. *Asian Journal of Plant Science*, 5(3):543-546.

Rao, M. S. S. and Mendham, N. J. 1991. Soil-plant-water relations of oilseeds rape (*Brassica napus* and *B.compestris*). *The Journal of Agricultural Science*, 117(2):197-225.

Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivanan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R. and Panneerselvam, L. 2007. Drought induced biochemical modifications and praline

Vaisnad, S., Talebi, R. 2015. Salicylic acid-enhanced morphological and physiological responses in chickpea (*Cicer arietinum*) under water deficit stress. *Environmental and Experimental Biology*, 13:109-115.

Weinberg, Z. G., Landau, S., Bar-Tal, A., Chen, Y., Gamburg, M., Brener, S. and Dvash, L. 2005. Ensiling safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as an alternative winter forage crop. *Proceedings of the 15th International Conference, Belfast, Northern Ireland, (ICBN'I05), Wageningen Academic Publ., Wagening, the Netherlands*, pp 169-169.

Xue. T. L., Hartikainen, H. and Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effects of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 237(1): 55-61.

Yao, X., Chu, J. and Wang, G. 2009. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. *Biological Trace Element Research*, 130(3): 283-290.

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 (8): 1-4.

Zahedi, H., Noor Mohamadi, G. H., Shirani Rad, A. H., Habibi, D. and Mashhadi Akbar Boojar, M. 2009. The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth, yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. World Applied Sciences, 7(2): 255-262.

Zhang, S. B., Lu, Q. U., Yang, H., Li, Y. and Wang, S. 2011. Aqueous enzymatic extraction of oil and protein hydrolysates from roasted peanut seeds. Journal of the American Oil Chemists Society, 88(5): 727-732.

Effect of salicylic acid and selenium foliar application on physiological and agronomic characteristics of safflower in drought tension conditions

M. Yousefi Rad^{1*} and M. Sharifi²

1&2) Department of Agronomy, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran.

*Corresponding Author: m.yousefirad@iau-saveh.ac.ir

Received date: 2018.11.06

Accepted date: 2019.03.13

Abstract

In order to investigate the effect of salicylic acid and selenium foliar application on physiological characteristics and yield and yield components of safflower under drought tension conditions, an experiment was conducted as split plots based on randomized complete blocks design with three replications. The main factor included irrigation in three levels, complete irrigation during growing season (control), cutting irrigation at 50 percent flowering stage and cutting irrigation at 50 percent head forming stage. Sub factor was considered foliar application of safflower plants including non-spraying (control), foliar application by salicylic acid, selenium and salicylic acid with selenium. Drought tension reduced biologic yield, yield components and grain yield, but it increased protein percentage, the superoxide dismutase activity and proline concentration. Also, the highest negative effect of drought tension was observed in flowering stage, so that tension at flowering stage reduced 49 percent grain yield and 33 percent biomass of safflower. Foliar application improved yield, yield components and superoxide dismutase activity compared to non-spraying(control). However, between foliar application treatments in grain yield and superoxide dismutase activity, no significant difference was observed, but foliar application of salicylic acid with 7198 kg ha⁻¹ showed the highest biomass. The foliar application in tension and non-tension conditions increased grain oil percentage, so that in complete irrigation and flowering stage tension, the highest grain oil percentage was belonged to salicylic acid foliar application with 24 percent and salicylic acid foliar application with selenium 28 percent. The foliar application treatments increased proline concentration in tension conditions compared to control and at flowering tension stage, salicylic acid and selenium foliar application with 11 micro Mol per gram fresh plant weigh showed the highest proline concentration.

Keywords: Grain yield, Oil percentage, Proline and Safflower.