

اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) در شرایط تنش کم آبی

سکینه عبدی^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱۴)

چکیده

سالیسیلیک اسید به عنوان هورمون گیاهی مهمی است که واکنش گیاه را به تنش های محیطی، از جمله کم آبی، تغییر می دهد. به منظور بررسی اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اسانس گیاه دارویی شنبلیله در شرایط کم آبی، این پژوهش گلدانی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای طرح شامل دو سطح آبیاری (۵۰ و ۱۰۰ درصد گنجایش زراعی) و چهار سطح محلول پاشی سالیسیلیک اسید (شاهد (۰)، ۰/۵، ۱، ۱/۵ میلی مولار) بود. نتایج نشان داد که اثر برهم کنش تنش کم آبی و محلول پاشی سالیسیلیک اسید در مورد صفات تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، درصد پروتئین، پرولین و قندهای محلول کل در سطح احتمال ۱٪ ($P \leq 0.01$) معنی دار بود. بیشترین عملکرد دانه (۱۱۹/۲ گرم در مترمربع) با محلول پاشی ۱/۵ میلی مولار بود و تنش کم آبی نسبت به آبیاری مطلوب کاهش معنی داری در عملکرد دانه نشان داد. بیشترین درصد پروتئین دانه (۱۳/۸۳ درصد) در شرایط اعمال تنش و بدون محلول پاشی مشاهده شد. بیشترین مقدار درصد اسانس از محلول پاشی ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید به دست آمد که در حالت آبیاری مطلوب (۱/۴۰ درصد) و کم آبیاری (۱/۴۴ درصد) اختلاف معنی داری مشاهده نشد. بنابراین، با توجه به پاسخ متفاوت سطوح مختلف سالیسیلیک اسید در مورد صفات مورد بررسی، می توان عنوان کرد که تیمار سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش می تواند در کاهش و تعدیل آثار منفی تنش در گیاه دارویی شنبلیله مؤثر باشد.

واژه های کلیدی: پرولین، پروتئین، سالیسیلیک اسید، شنبلیله، قندهای محلول کل

مقدمه

۱۰ تا ۵۰ سانتی متر و برگ های متناوب و مرکب از سه برگچه است. بذر و قسمت های هوایی شنبلیله قرن ها به عنوان منبع ارزشمندی از پروتئین در تغذیه انسان و دام مورد استفاده بوده است. این گیاه در طب سنتی ایران و ملل مختلف سابقه مصرف دیرینه داشته و خواص درمانی فراوانی از آن گزارش شده

شنبلیله از جمله گیاهانی است که دارای خاصیت دگرآسیبی است. این گیاه با نام علمی *Trigonella foenum-graecum* L. از تیره Fabaceae است که ریشه، دانه و اندام هوایی آن از لحاظ میزان متابولیت های ثانویه بسیار غنی است و دارای ارتفاع

۱. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s.abdi@tabrizu.ac.ir

است (۲۹).

کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات زراعی در جهان است و این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از اهمیت بیشتری برخوردار است (۲۴). اثر تنش خشکی بر عملکرد گیاهان بستگی زیادی به زمان، مدت و شدت تنش دارد. تنش خشکی در گیاه، به‌علت کاهش تعداد و اندازه دانه می‌تواند عملکرد را به‌شدت کاهش دهد. بروز تنش خشکی طی مراحل نموی باعث کاهش طول دوره فتوسنتزی، انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه به دانه و کاهش عملکرد دانه می‌شود (۴۲). به‌طور کلی، تنش خشکی شدید سبب کوچک‌شدن اندازه، کاهش تولیدات فتوسنتزی و تجمع ماده خشک، کاهش تعداد گل، کم‌شدن ابعاد و تعداد دانه و در نتیجه کاهش وزن هزار دانه و در نهایت کاهش عملکرد و اجزای عملکرد در اکثر گیاهان، از جمله گیاهان دارویی، می‌شود (۲).

مقاومت اکتسابی در گیاهان در برابر تنش به دو شکل موضعی و همگانی مطرح است. از این رو، دو نظریه کلی در رابطه با عامل القاکننده مقاومت در گیاهان معرفی شده است. اولین نظریه تولید امواج واقطبیده (دپلیمریزاسیون) در سطح غشای سلولی و در واکنش به عامل تنش‌زا است که به‌دنبال آن پیام‌های القایی در گیاه شکل می‌گیرد (۵۱). اما دومین نظریه، تولید سالیسیلیک اسید در پاسخ به تنش است. سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک ترکیب فنولی، دارای یک حلقه آروماتیک متصل به یک گروه هیدروکسیل بوده که به‌عنوان یک القاکننده مؤثر در بیان ژن‌های مقاومت شناخته شده است که پس از افزودن به سطح بیرونی بسیاری از گیاهان پروتئین‌های مرتبط با تنش را به رمز در می‌آورد (۵۱). نقش سالیسیلیک اسید همچنین به‌عنوان یک ماده تنظیم‌کننده رشد در القای تحمل به بسیاری از تنش‌های زیستی و غیرزیستی همچون باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها (۴)، تنش سرم‌زدگی و تنش خشکی (۴۷) مورد توجه قرار گرفته است. این ماده در گیاهان در مقادیر کم وجود دارد و به‌طور ذاتی در گیاهان به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کرده و

باعث حذف رادیکال‌های آزاد در گیاهان می‌شود (۲۴). مرادی مرجانه و گلدانی (۳۶) با ارزیابی سطوح مختلف سالیسیلیک اسید در گیاه همیشه بهار تحت شرایط آبیاری محدود دریافتند که سالیسیلیک اسید اثر معنی‌داری بر صفات مورفولوژیک و زراعی این گیاه داشته و توانسته آثار مخرب تنش خشکی را به‌میزان قابل توجهی کاهش دهد. عمل حفاظتی سالیسیلیک اسید در برابر تنش خشکی با افزایش پاسخ‌های ضداکسیدانی، کاهش تعرق و افزایش فتوسنتز همراه بوده و به افزایش کارایی مصرف آب منجر شده است (۵۰). یافته‌ها ژو (۵۴) نشان داده که سالیسیلیک اسید معمولاً با اثر بر هورمون‌های آبسزیک اسید و اتیلن، بسیاری از روندهای فیزیولوژیک و رشد گیاه را تنظیم می‌کند. از جمله، با اثر بر هورمون آبسزیک اسید و تجمع این هورمون در گیاه، باعث سازگاری گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی می‌شود. گزارش‌هایی از نقش سالیسیلیک اسید بر افزایش عملکرد ریحان و مرزنجوش (۱۷) و عملکرد دانه زیره سبز ارائه شده است (۲۱). اثر سالیسیلیک اسید بر بهبود رشد و افزایش عملکرد در هر دو شرایط تنش و غیرتنش محسوس بوده و به‌طور معنی‌داری سبب افزایش عملکرد دانه در گیاه ذرت شده است (۳۲). تنش خشکی (به‌جز درصد اسانس) صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، زیست‌توده، تعداد چتر در دانه، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک را در گیاه انیسون کاهش داد اما درصد اسانس افزایش نشان داد (۴۵). عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در هر فولیکول، تعداد دانه در بوته و تعداد فولیکول سیاهدانه، تحت تأثیر کمی آبیاری کاهش یافت (۳). اگرچه تولید متابولیت‌های ثانویه (مواد مؤثره) در گیاهان دارویی تحت هدایت و کنترل ژنتیکی قرار دارد، عوامل محیطی، به‌ویژه شرایط تنش‌زا، نقش عمده‌ای در کمیت و کیفیت این مواد به‌عهده دارند (۴۰). گیاهان دارویی، برخلاف محصولات زراعی که در شرایط تنش از نظر مقدار عملکرد لطمه می‌بینند، ممکن است در چنین وضعیتی تولید مواد شیمیایی بیشتر و در نتیجه بازدهی اقتصادی برتری پیدا کنند. در گیاهان دارویی، رشد و تولید اسانس تحت تأثیر عوامل محیطی

تاریخ ۱۷ اردیبهشت سال ۱۳۹۵، گلدان‌ها در ابتدا به‌طور کامل آبیاری شده و پس از استقرار گیاهان (تشکیل سه برگچه اولیه) تیمار کم‌آبیاری (آبیاری در ۵۰٪ گنجایش زراعی و رساندن رطوبت خاک به FC) اعمال شد. محلول‌پاشی گیاهان با سالیسیلیک اسید در مرحله سه برگگی (سه روز پیش از شروع تیمارهای آبیاری) انجام شد و تمامی گیاهان به‌صورتی که تمام سطوح فوقانی و زیرین اندام‌های هوایی کاملاً خیس شوند محلول‌پاشی شدند. همچنین، گیاهان شاهد به‌همین روش و تنها با آب مقطر تیمار شدند. محلول‌پاشی سه مرتبه و در فواصل ۱۰ روز صورت گرفت (محلول‌پاشی نهایی در تاریخ ۱۲ تیر انجام شد). برای اعمال سطوح تنش خشکی، از روش وزنی استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا یکی از گلدان‌های آزمایش پر شده و توزین شد. سپس، گلدان از آب اشباع شد و برای جلوگیری از تبخیر، سطح گلدان توسط یک پلاستیک پوشانده شد. با خروج آب ثقلی، وزن گلدان به‌طور مرتب کم شد تا زمانی که وزن آن ثابت ماند (نشان‌دهنده رطوبت خاک در FC). با تفاضل وزن اخیر و وزن خاک خشک، مقدار آب لازم برای رسیدن خاک هر گلدان به حد FC مشخص و سطح ۵۰٪ این مقدار آب نیز محاسبه شد و در طول دوره آزمایش برای سطوح مختلف رطوبتی گلدان‌ها مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، گلدان‌ها روزانه وزن می‌شدند و مقدار آب لازم برای رسیدن به هر کدام از سطوح اضافه می‌شد. در نهایت، گیاهان به‌منظور اندازه‌گیری صفات در مرحله رسیدگی کامل دانه‌ها (۲۶ شهریور) برداشت شدند. بوته‌های شنبلیله پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شده، تعداد غلاف در هر بوته و تعداد دانه در هر غلاف شمارش و وزن هزار دانه و عملکرد دانه بر اساس میزان رطوبت ۱۳٪ تنظیم شده و در محاسبات آماری مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری درصد پروتئین دانه، یک نمونه ۱۰۰ گرمی از هر تیمار در برداشت نهایی انتخاب و پس از آسیاب شدن، به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و سپس یک گرم از نمونه آسیاب شده هر تیمار توزین

مختلفی چون تنش آبی قرار دارد. عوامل محیطی علاوه بر تأثیر بر عملکرد بیولوژیک گیاه می‌توانند تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان را نیز تغییر دهند و تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سنتز محصولات طبیعی هستند (۴۰). بنابراین، با توجه به اهمیت گیاهان دارویی و تنش کم‌آبی و همچنین پژوهش‌های محدود در زمینه اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر خواص کمی و کیفی گیاهان دارویی و شنبلیله، این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و اسانس گیاه شنبلیله در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش کم‌آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش گلدانی (در فضای آزاد) به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار انجام شد که هر تکرار شامل دو گلدان (هر گلدان شامل ۳ بوته) بود. فاکتورهای طرح شامل چهار سطح سالیسیلیک اسید (صفر (شاهد)، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار)، و دو سطح آبیاری (آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ گنجایش زراعی یا FC) و کم‌آبیاری (۵۰٪ گنجایش زراعی)) بود. این پژوهش در سال ۱۳۹۵ و در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر با مختصات ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی انجام گرفت. خاک مورد استفاده در گلدان‌ها، خاک زراعی با بافت لوم رسی، pH برابر ۷/۲۵، رسانایی الکتریکی ۰/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی ۰/۷۸ درصد، نیتروژن ۰/۰۳ درصد و میزان فسفر و پتاسیم به ترتیب ۹/۸ و ۳۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود که از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد. خاک مورد نظر هوا-خشک شده، از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شده و با نسبت ۱ به ۳ با کود کاملاً پوسیده دامی ترکیب شده و گلدان‌ها پر شدند. در ابتدا، در هر گلدان با قطر دهانه و عمق ۲۲ سانتی‌متر، بذرهای شنبلیله کشت شده و در هفته سوم به سه بوته در هر گلدان تنک شدند (دو گلدان در هر تکرار و در مجموع ۶ بوته). پس از اتمام مرحله کاشت در

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف شنبليله محلول‌پاشی شده با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف کم‌آبی

میانگین مربعات		تعداد دانه		تعداد		درجه آزادی		منابع تغییرات	
قندهای محلول کل	پرویلین	درصد اسانس	درصد پروتئین	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	تعداد در هر غلاف	تعداد غلاف در هر بوته	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱/۹۳۸**	۱/۵۵۴**	۰/۲۰۸**	۴/۴۱۶**	۵۷۷/۳۰۰**	۱/۰۰۳**	۱۱/۹۳۱**	۲۰/۴۸۶**	۱	آبیاری
۲۱/۸۱۲**	۱۱/۱۳۸**	۰/۰۰۱**	۲۶/۲۳**	۱۵۰/۹۰۱**	۱۶/۷۲۷**	۳۰/۳۷۵**	۹۲/۰۴۲**	۳	محلول‌پاشی
۱/۶۶۹**	۰/۵۲۱**	۰/۰۱۸*	۵/۹۱۴**	۴/۱۱۸ ^{ns}	۳/۰۱۸**	۱/۵۹۷ ^{ns}	۶/۳۷۵**	۳	آبیاری × محلول‌پاشی
۰/۰۲۶	۰/۰۲۲	۰/۰۰۵	۰/۲۱۹	۳/۴۳۵	۰/۳۳۹	۰/۷۵۰	۰/۸۳۳	۱۶	اشتباه آزمایشی
۱۰/۵۳	۸/۰۸	۵/۷۳	۴/۲۳	۱۱/۷۱	۹/۹۴	۵/۷۹	۵/۷۸		ضریب تغییرات (%)

**، * و ns به ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار است.

مقدار مشخصی از این ماده رنگی در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد و مقدار پرویلین در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد، تعیین شد (۸). برای اندازه‌گیری قندهای محلول کل نیز از روش دوپوئیس و همکاران (۱۴) استفاده شد.

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش از نرم‌افزار کامپیوتری MSTATC استفاده شد و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار MINITAB 14 تأیید شد.

نتایج

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در مورد صفات تعداد غلاف در هر بوته، وزن هزار دانه، پروتئین، پرویلین و قندهای محلول کل در سطح احتمال ۱٪ ($P \leq 0/01$) معنی‌دار بود. درحالی که اثر معنی‌دار برهم‌کنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر درصد اسانس در سطح احتمال ۵٪ ($P \leq 0/05$) مشاهده شد. همچنین، اثرهای ساده محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و تنش کم‌آبی در تعداد دانه در هر غلاف و عملکرد دانه در متر مربع در سطح احتمال ۱٪ ($P \leq 0/01$) معنی‌دار شد (جدول ۱).

و طی مراحل مختلف آزمایش توسط دستگاه کج‌دال، مقدار نیتروژن نمونه‌ها به صورت درصد تعیین شد (۲۳). برای اندازه‌گیری درصد اسانس شنبليله نیز از دستگاه کلونجر استفاده شد. برای این منظور، ۱۵ گرم از نمونه بذر به همراه ۷۵ میلی‌لیتر آب را در داخل بالون ته‌گرد ریخته و پس از گذشت سه ساعت گرمادهی، اسانس حاصل را جدا کرده و سپس نسبت وزن اسانس حاصل به وزن ماده خشک استفاده شده به صورت درصد محاسبه شد (۳۴). برای سنجش میزان پرویلین، از روش بیتس و همکاران (۸) استفاده شد. به این ترتیب که ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ را در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳٪ اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. سپس، دو میلی‌لیتر از مایع رویی را با دو میلی‌گرم معرف نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک خالص مخلوط کرده و یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس حمام آب گرم قرار گرفت. پس از این مدت، برای قطع انجام کلیه واکنش‌ها، لوله‌های محتوی مخلوط در حمام یخ، سرد شد. سپس، چهار میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط افزوده شد و در لوله‌ها مخلوط شده، پس از ۱۵-۲۰ ثانیه، دو لایه کاملاً مجزا تشکیل شد. از لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرویلین بود، برای اندازه‌گیری غلظت پرویلین استفاده شد. جذب

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی و تنش کم آبی بر صفات تعداد دانه در هر غلاف و عملکرد دانه

عملکرد دانه (گرم در متر مربع)	تعداد دانه در هر غلاف	تیمار
۹۸/۹۱ ^c	۱۴/۱۷ ^b	محلول پاشی با آب مقطر
۱۰۰/۹ ^c	۱۳/۵۰ ^b	محلول پاشی با اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار
۱۱۳/۶ ^b	۱۵/۵۰ ^{ab}	محلول پاشی با اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار
۱۱۹/۲ ^a	۱۶/۶۷ ^a	محلول پاشی با اسید سالیسیلیک ۱/۵ میلی مولار
۱۱۰/۶۶ ^a	۱۶/۰۸ ^a	آبیاری در ۱۰۰٪ گنجایش زراعی
۱۰۵/۶۴ ^b	۱۳/۸۳ ^b	آبیاری در ۵۰٪ گنجایش زراعی

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱٪ ندارند.

عملکرد دانه و اجزای آن

اثر مقادیر مختلف محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر تعداد دانه در هر غلاف در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد (جدول ۱). بیشترین مقدار آن با محلول پاشی ۱ و ۱/۵ میلی مولار مشاهده شد که با یکدیگر اختلاف معنی دار نداشتند. این درحالی است که اعمال تنش کم آبی در حد ۵۰٪ گنجایش زراعی کاهش معنی داری در تعداد دانه در هر غلاف شنبليله نشان داد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۱۹/۲ گرم در مترمربع) با محلول پاشی ۱/۵ میلی مولار بود و تنش کم آبی نسبت به آبیاری مطلوب کاهش معنی داری در عملکرد دانه (۱۰۵/۶۴ گرم در متر مربع) داشت (جدول ۲).

بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار شاهد و بدون اعمال تنش بود که این مقدار با وجود محلول پاشی با مقادیر مختلف تفاوت معنی داری نداشت. از طرفی، در محلول پاشی با سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی مولار در شرایط تنش کم آبی، اختلاف معنی داری با همین مقدار محلول پاشی و در شرایط مطلوب آبیاری وجود نداشت (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه از شرایط مطلوب آبیاری و بدون محلول پاشی به دست آمد. اعمال تنش در این شرایط باعث کاهش معنی دار ۱۶ درصدی در وزن هزار دانه شد. با اعمال محلول پاشی با مقادیر ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی مولار، وزن هزار دانه شنبليله تحت

تیمار تنش کم آبی اختلاف معنی داری با حالت آبیاری مطلوب نداشت (جدول ۳).

درصد پروتئین

بیشترین درصد پروتئین (۱۳/۸۳ درصد) در شرایط اعمال تنش و بدون محلول پاشی مشاهده شد و مقادیر ۱۲/۲۰، ۱۲/۵۶ و ۱۲/۴۳ درصد به ترتیب مربوط به مقادیر صفر، ۰/۵ و ۱ میلی مولار محلول پاشی سالیسیلیک اسید و بدون اعمال تنش کم آبی بود که در حالت اعمال تنش کم آبی و محلول پاشی ۰/۵ میلی مولار (۱۱/۶۳ درصد) اختلاف معنی داری با حالت شاهد مشاهده نشد (جدول ۳).

درصد اسانس

بیشترین مقدار درصد اسانس از محلول پاشی ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید به دست آمد که در حالت آبیاری مطلوب (۱/۴۰ درصد) و کم آبیاری (۱/۴۴ درصد) اختلاف معنی داری مشاهده نشد. همچنین، مقادیر درصد اسانس در حالت آبیاری مطلوب و محلول پاشی ۱/۵ میلی مولار (۱/۳۸ درصد) با اعمال تنش کم آبی (۱/۴۲ درصد) اختلاف معنی داری نداشت. بنابراین، با افزایش ۲۹ درصدی اسانس نسبت به تیمار شاهد، بین محلول پاشی ۱ و ۱/۵ میلی مولار اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی و تنش کم‌آبی بر صفات مورد ارزیابی شنبلیله

تیمار	تعداد غلاف			وزن هزار دانه (گرم)	درصد پروتئین	درصد اسانس	پرولین (میکرومول بر گرم)	قندهای محلول کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه)
	در بوته	وزن هزار دانه	درصد					
آبیاری ۱۰۰٪ گنجایش زراعی × محلول‌پاشی با آب مقطر	۱۶/۶۷ ^a	۲۲/۱۲ ^c	۱۲/۲۰ ^{b,c}	۲/۵۳ ^f	۱/۱۱ ^c	۰/۹۳ ^d	۹/۳۱ ^e	۱۲/۵۷ ^a
آبیاری ۵۰٪ گنجایش زراعی × محلول‌پاشی با آب مقطر	۱۱/۶۷ ^c	۱۸/۴۳ ^a	۱۳/۸۳ ^a	۴/۰۸ ^c	۱/۲۱ ^{b,c}	۱/۲۶ ^b	۳/۴۴ ^d	۱۰/۲۱ ^d
آبیاری ۱۰۰٪ گنجایش زراعی × محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۱۷/۳۳ ^a	۱۹/۰۸ ^{b,c}	۱۲/۵۶ ^b	۳/۲۸ ^d	۱/۴ ^a	۱/۴۴ ^a	۵/۲۱ ^a	۱۱/۲۵ ^c
آبیاری ۵۰٪ گنجایش زراعی × محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک ۱ میلی‌مولار	۱۱/۶۷ ^c	۱۹/۴۹ ^{b,c}	۱۱/۶۳ ^{b,c}	۳/۲۸ ^d	۱/۴ ^a	۱/۴۴ ^a	۳/۲۲ ^{d,e}	۱۰/۳۳ ^d
آبیاری ۱۰۰٪ گنجایش زراعی × محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۱۸/۳۳ ^a	۱۹/۱۰ ^{b,c}	۱۲/۴۳ ^b	۴/۶۵ ^b	۱/۴۲ ^a	۱/۳۸ ^a	۱۱/۷ ^b	۱۱/۷ ^b
آبیاری ۵۰٪ گنجایش زراعی × محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار	۱۴/۳۳ ^b	۲۰/۵۵ ^b	۹/۳۸ ^d	۴/۶۵ ^b	۱/۴۲ ^a	۱/۳۸ ^a	۱۱/۷ ^b	۱۱/۷ ^b
آبیاری ۱۰۰٪ گنجایش زراعی × محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار	۱۸/۶۷ ^a	۱۹/۳۵ ^{b,c}	۱۱/۲۲ ^c	۴/۶۵ ^b	۱/۴۲ ^a	۱/۳۸ ^a	۱۱/۷ ^b	۱۱/۷ ^b
آبیاری ۵۰٪ گنجایش زراعی × محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار	۱۷/۶۷ ^a	۲۰/۴۹ ^b	۱۱/۲۱ ^c	۴/۶۵ ^b	۱/۴۲ ^a	۱/۳۸ ^a	۱۱/۷ ^b	۱۱/۷ ^b

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ ندارند.

پرولین و قندهای محلول کل

با استفاده از محلول پاشی اسید سالیسیلیک در تمام مقادیر نسبت به حالت شاهد، افزایش در میزان پرولین مشاهده شد. با اعمال تنش کم آبی نیز مقدار پرولین افزایش معنی داری یافت. بیشترین افزایش در مقدار پرولین در شرایط اعمال تنش کم آبی و محلول پاشی ۱ میلی مولار بود که نسبت به شاهد (بدون تنش و بدون محلول پاشی) تا دو برابر افزایش نشان داد (جدول ۳). مقادیر قندهای محلول نیز با محلول پاشی افزایش معنی دار نشان داد. اما بیشترین مقدار آن مربوط به حالت اعمال تنش کم آبی و بدون استفاده از محلول پاشی بود (جدول ۳).

بررسی همبستگی بین صفات مورد ارزیابی در این پژوهش نشان داد که عملکرد دانه با اجزای عملکرد همچون تعداد غلاف در هر بوته و تعداد دانه در هر غلاف همبستگی مثبت معنی داری به ترتیب در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ داشت (جدول ۴). همچنین، درصد پروتئین دانه همبستگی منفی معنی داری در سطح احتمال ۵٪ با عملکرد دانه نشان داد و از طرفی رابطه معکوس بین درصد اسانس دانه با وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱٪ مشاهده شد.

بحث

اجزای عملکرد

بیشترین تعداد دانه در هر غلاف با محلول پاشی ۱ و ۱/۵ میلی مولار مشاهده شد و اعمال تنش کم آبی در حد ۵۰٪ گنجایش زراعی سبب کاهش معنی داری در تعداد دانه در هر غلاف شنبلیله شد. بیشترین تعداد غلاف در بوته در محلول پاشی با سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی مولار در شرایط تنش کم آبی بود که اختلاف معنی داری با همین مقدار محلول پاشی و در شرایط مطلوب آبیاری نداشت. از آنجایی که طی تنش خشکی محتوای آب برگ کاهش یافته، سلولها چروکیده شده و دیواره سلولی پایداری خود را از دست می دهد، در نتیجه فتوسنتز نیز کاهش می یابد. کاهش فراهم شدن نهاده های فتوسنتزی باعث کاهش در اجزای عملکرد دانه می شود. بنابراین، هرگونه تنش کم آبی در

مراحل رشد و نمو می تواند بر روابط منبع و مخزن تأثیر منفی گذاشته و سبب افت معنی دار عملکرد دانه شود. به نظر می رسد که تنش آب سبب سقط جنین در برخی از غلاف های این گیاه شده که در نتیجه باعث ریزش آنها شده است. اما کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید می تواند از طریق افزایش پایداری غشا، هدایت روزنه ای و باز نگه داشتن روزنه ها از تجمع یون های سمی جلوگیری کند (۲۲) و در نهایت با افزایش در سرعت فتوسنتز و مواد فتوسنتزی از کاهش تعداد غلاف در بوته بکاهد. تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در هر غلاف از جمله اجزای اصلی و تعیین کننده عملکرد نهایی شنبلیله است (جدول ۴) که تعیین کننده پتانسیل عملکرد است (۴۶). به نظر می رسد که در این پژوهش، تعداد دانه در هر غلاف نسبت به تعداد غلاف در بوته از اهمیت بیشتری در تعیین میزان عملکرد نهایی برخوردار است (جدول ۴). رضایی چیاپانه و همکاران (۴۴) گزارش کردند که تأثیر تنش خشکی بر هر یک از اجزای تشکیل دهنده عملکرد در مراحل مختلف رشد گیاه می تواند منجر به تغییر در عملکرد تولید در گیاهان، از جمله رازیان، شود. رضوانی مقدم و نوروزپور (۴۶) دریافتند که در شرایط تنش خشکی، تعداد فولیکول در سیاهدانه به دلیل کاهش تعداد شاخه های گل دهنده به طور معنی دار کاهش می یابد. محلول پاشی لویبا با سالیسیلیک اسید موجب افزایش ۴۸/۸ درصدی تعداد غلاف در بوته شد. لاریبی و همکاران (۲۸) در زیره سیاه، کوچکی و همکاران (۲۵) در اسفرزه و ربی و همکاران (۴۳) در زیره سبز به نتایج مشابهی دست یافتند.

به نظر می رسد کاربرد سالیسیلیک اسید از طریق تأثیر بر مریستم های زایشی، القای گل دهی و افزایش تقسیم و تمایز سلولی موجب افزایش تعداد دانه در غلاف شده است. افزایش تعداد دانه تحت کاربرد سالیسیلیک اسید توسط برخی از پژوهشگران از جمله شاهی (۴۹) در گیاه لویبا چیتی گزارش شده است. کاهش تعداد دانه در گل آذین در شرایط تنش خشکی در گیاهان مختلف توسط پژوهشگران متعددی از جمله زهتاب سلماسی (۵۳) در گیاه انیسون، نورهان و وازکز (۳۹) در گیاه

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شبلیله محلول‌پاشی شده با سالیسیلیک اسید در شرایط تنش

صفت	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در هر غلاف	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	پروتئین دانه	درصد اسانس	پرویلین	قندهای محلول کل
تعداد غلاف در بوته	۱							
تعداد دانه در هر غلاف	۰/۹۴**	۱						
وزن هزار دانه	-۰/۵۴ ^{ns}	-۰/۴۹ ^{ns}	۱					
عملکرد دانه	۰/۷۸*	۰/۸۵**	-۰/۱۵ ^{ns}	۱				
پروتئین دانه	۰/۵۳ ^{ns}	۰/۵۷ ^{ns}	-۰/۲۷ ^{ns}	-۰/۸۳*	۱			
درصد اسانس	۰/۶۳ ^{ns}	۰/۵۰ ^{ns}	-۰/۹۳**	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۱		
پرویلین	-۰/۳۱ ^{ns}	-۰/۲۱ ^{ns}	۰/۷۲*	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۳۴ ^{ns}	۰/۶۶ ^{ns}	۱	
قندهای محلول کل	-۰/۵۳ ^{ns}	-۰/۴۴ ^{ns}	۰/۹۶**	-۰/۱۳ ^{ns}	-۰/۲۳ ^{ns}	-۰/۸۹**	۰/۷۷*	۱

**، * و ns به ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار است.

آنزیم رویسکو و در نتیجه بهبود فتوسنتز سبب افزایش سطح برگ می‌شود. به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید بتواند سبب بهبود جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی شود که این خود می‌تواند افزایش رشد را به‌همراه داشته باشد که افزایش ارتفاع گیاهچه یکی از این موارد است (۱۵). از طرفی، به‌نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید با افزایش میزان کلروفیل در برگ‌هایی که در آغاز فرایند پیری هستند (۱۳)، می‌تواند سبب افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش رشد شود. وزن هزار دانه نشان‌دهنده وضعیت و طول دوره زایشی هر گیاه است. از آنجا که با آغاز گل‌دهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه‌ها شروع به دریافت و ذخیره مقادیری از مواد فتوسنتزی می‌کنند، می‌بایستی بین وزن هزار دانه هنگامی که گیاه در حال تنش رطوبتی قرار می‌گیرد، با حالت‌های نرمال تفاوت وجود داشته باشد. اما وزن هزار دانه از جمله فاکتورهایی است که بیشتر تحت تأثیر کنترل ژنتیکی است و از توارث‌پذیری زیادی برخوردار است و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. چنین به‌نظر می‌رسد که بروز تنش خشکی در گیاه شبلیله نتوانسته وزن دانه را از حد مشخصی کمتر کند، زیرا گیاه از طریق کاهش تعداد دانه، حداقل مواد مورد نیاز برای دانه‌های تکامل یافته را تأمین کرده است.

پونه کوهی و بنایان و همکاران (۷) در گیاه اسفرزه گزارش شده است. وزن هزار دانه گیاه در حالت بدون اعمال محلول‌پاشی و در شرایط اعمال تنش کم‌آبی نسبت به آبیاری مطلوب کاهش معنی‌داری داشت. به‌نظر می‌رسد با کاهش آب آبیاری، به‌دلیل پیری زودرس برگ‌ها، تولید مواد فتوسنتزی کاهش یافته و اختصاص مواد فتوسنتزی کاهش یافته و در نتیجه اختصاص مواد پرورده به هر یک از دانه‌ها کمتر شده و به‌تبع آن نیز دانه‌های تشکیل شده کوچک‌تر و لاغرتر شده‌اند. همچنین، کاهش طول دوره پرشدن دانه در اثر کاهش آب آبیاری می‌تواند از دیگر دلایل مهم کاهش وزن هزار دانه باشد. میرعبداللهی (۳۳) و حیدری (۱۹) نیز دلیل کاهش وزن هزار دانه رازیانه و آنیسون تحت شرایط تنش خشکی را کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به‌دنبال آن کاهش سنتز مواد پرورده و انتقال آن به دانه‌ها گزارش کرده‌اند. با اعمال محلول‌پاشی با مقادیر ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار، وزن هزار دانه تحت تیمار تنش کم‌آبی اختلاف معنی‌داری با حالت آبیاری مطلوب نداشت. کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید از طریق افزایش فتوسنتز در برگ‌ها و در نتیجه ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه، از کاهش تعداد و وزن بذرها جلوگیری می‌کند (۱۵). سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت

عملکرد دانه

بیشترین مقدار عملکرد دانه با محلول پاشی ۱ و ۱/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد و اعمال تنش کم آبی در حد ۵۰ درصد گنجایش زراعی کاهش معنی داری در عملکرد دانه نشان داد. مظاهری لقب و همکاران (۳۱) علت اصلی افت عملکرد دانه در اثر تنش خشکی را کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد طی دوره پرشدن دانه بیان کرده اند. به نظر می رسد فراهمی رطوبت قابل دسترس در شرایط آبیاری مطلوب سبب افزایش توسعه کانوپی گیاه شده، در نتیجه انرژی تشعشعی بیشتری جذب گیاه می شود که منجر به افزایش اجزای عملکرد و عملکرد در گیاه می گردد. از طرف دیگر، کاهش سطح فتوسنتزکننده برگ ها و کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه و رسیدگی زودتر تیمارهای تحت تنش خشکی می تواند در کاهش عملکرد دانه نیز مؤثر باشد. آقایی و احسانزاده (۱) در کدوی تخم کاغذی و رضایی چپانه و همکاران (۴۴) در گیاه رازیانه گزارش کردند که عملکرد دانه در مجموع حاصل برهمکنش اجزایی هستند که هر یک از آنها در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی شکل می گیرند. تنش خشکی با تأثیر بر هر یک از اجزای عملکرد دانه در نهایت سبب کاهش عملکرد نهایی دانه می شود. بنابراین، آثار منفی کاهش میزان آب آبیاری بر اجزای تشکیل دهنده عملکرد دانه در پژوهش حاضر می تواند به دلیل کاهش رشد رویشی و به تبع آن، سطح فتوسنتزکننده محدودتر و تولید ماده خشک کمتر باشد که در شرایط خشکی باعث کاهش عملکرد نهایی دانه شد. نتایج پژوهش های لاریبی و همکاران (۲۸) در زیره سیاه، کوچکی و ثابت تیموری (۲۶) در زوفا و ربی و همکاران (۴۳) در زیره سبز نیز مؤید این است که با افزایش فاصله آبیاری از عملکرد دانه کاسته می شود. پوریوسف و همکاران (۴۲) و میرعبداللهی (۳۳) نیز طی آزمایش های خود روی رازیانه گزارش کردند که بروز تنش آبی باعث کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه به دانه و کاهش عملکرد دانه می شود. گزارش شده که میزان جذب عناصری مانند N, P, K, Ca, Mg، در گیاهان تحت تنش

خشکی تیمار شده با سالیسیلیک اسید افزایش می یابد. از طرفی، مشخص شده سالیسیلیک اسید می تواند از جذب بیش از حد آنیون های سمی مانند Na, Cl, و Br، در شرایط خشکی جلوگیری نماید (۱۵). این افزایش در جذب عناصر غذایی و کاهش در جذب عناصر سمی می تواند عامل افزایش در رشد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه باشد. نقش ATP آاز در انتقال یون ها در غشای پلاسمایی به خوبی شناخته شده است (۴۱). پژوهش ها نیز نشان داده که سالیسیلیک اسید می تواند فعالیت ATP آاز را تحریک نماید (۴۷) که این می تواند دلیل خوبی برای نقش این ترکیب در افزایش جذب عناصر پتاسیم و کلسیم در شرایط تنش شوری باشد. اسید سالیسیلیک، جذب عناصر سدیم و کلر را کاهش و پتاسیم و کلسیم را افزایش داد، که بیانگر نقش سالیسیلیک اسید در حفظ و ثبات هموستازی یونی گیاه است. سالیسیلیک اسید از تغییرات زیادی در مقدار تولید در گیاهانی که تحت تنش خشکی به وجود می آید و نتیجه آن افت عملکرد نهایی گیاه است تا حدودی جلوگیری می کند. اما آنچه که نتیجه پژوهش های مختلف نشان داده است جنبه های متابولیک گیاهانی که با سالیسیلیک اسید یا مشتقات آن تیمار شده اند، تغییراتی را با درجات مختلف نشان می دهند که بستگی به نوع گیاه و روش اعمال سالیسیلیک اسید دارد (۴۵). نتیجه فعالیت پژوهشی بیدعشقی و آروین (۱۰) نشان داد که غلظت ۰/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی با حذف رادیکال های آزاد شده در گیاه سیر، عملکرد را به میزان ۴۹٪ و در شرایط عدم تنش با بهبود فتوسنتز، عملکرد را ۲۴٪ افزایش داد. از طرفی، سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت آنزیم های کربنیک آنیدراز (CA) و نیترات ردوکتاز (NR) می شود (۱۶). آنزیم کربنیک آنیدراز یکی از مهم ترین آنزیم ها پس از رویسکو است که واکنش تبدیل یون بی کربنات به دی اکسید کربن و آب را کاتالیز می کند و مقادیر کافی دی اکسید کربن در دسترس رویسکو قرار می دهد که متعاقب آن موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه می شود. همچنین، سالیسیلیک اسید موجب بهبود انتقال مواد فتوسنتزی به سمت مقصدهای

فیزیولوژیک (دانه) می‌شود (۱۶).

پروتئین دانه

افزایش درصد پروتئین دانه در اثر تنش کم‌آبی را می‌توان به کاهش انتقال مواد فتوسنتزی نسبت داد که باعث کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود و از آنجایی که درصد پروتئین در پوسته و جنین نسبت به آندوسپرم نشاسته‌ای بیشتر است بنابراین، درصد پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. دانیل و تریبوی (۱۲) نیز به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شرایط مطلوب آبیاری شد. نورمحمدی و همکاران (۳۸) بیان کردند که به‌هنگام بروز تنش خشکی شدت تنفس افزایش یافته و جذب مواد تغذیه‌ای و در نتیجه هیدرات‌های کربن ذخیره شده کاهش و پروتئین افزایش می‌یابد. بررسی ضریب همبستگی صفات در پژوهش حاضر نیز حاکی از همبستگی منفی بین عملکرد دانه و درصد پروتئین است (جدول ۴).

درصد اسانس

بیشترین مقدار درصد اسانس از محلول‌پاشی ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد که در حالت آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی در حالت بدون محلول‌پاشی درصد اسانس کاهش معنی‌داری داشته است. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در مورد برخی گیاهان دارویی نشان داده که با اعمال تنش خشکی و کاهش آب آبیاری، درصد اسانس افزایش می‌یابد (۳۹). بابائی (۵) معتقد است که با کاهش سطح برگ ناشی از تنش خشکی، تعداد غده‌های مترشح‌ه اسانس افزایش می‌یابد. در نتیجه، میزان اسانس افزایش خواهد یافت. ولی، مطابق آنچه که در پژوهش حاضر مشاهده شد، همیشه همراه با افزایش میزان تنش، درصد اسانس نمی‌تواند افزایش یابد. چرا که در تنش‌های زیاد، گیاه بیشتر مواد

فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم‌کننده اسمز، از جمله پرولین، گلیسین-بتائین و ترکیبات قندی مانند ساکاروز، فروکتوز و فروکتان می‌کند که بتواند پتانسیل آب سلولی را کاهش دهد. به‌نظر می‌رسد که خشکی متوسط موجب افزایش متابولیت‌های ثانویه (اسانس) می‌شود که تأثیر حفاظتی نسبت به تنش‌ها از جمله تنش خشکی در گیاه دارند و مقدار مناسب اسید سالیسیلیک نیز با خنثی کردن رادیکال‌های آزاد و فرم‌های فعال اکسیژن تولید شده در اثر تنش خشکی در گیاهان، سبب افزایش مقدار اسانس در گیاه دارویی می‌شود (۴۴).

پرولین و قندهای محلول کل

با استفاده از محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در تمام مقادیر، نسبت به تیمار شاهد، افزایش در میزان پرولین مشاهده شد. با اعمال تنش کم‌آبی نیز مقدار پرولین افزایش معنی‌داری داشت. یکی از مکانیسم‌های کارآمدی که گیاه برای حفظ فشار آماس در شرایط کمبود آب از آن بهره می‌برد، پدیده‌ای موسوم به تنظیم اسمز است. تنظیم اسمز در گیاهان، مکانیسم عمده اجتناب از تنش‌های آبی در محیط‌های خشک است (۶). افزایش پرولین در دوره تنش ممکن است نتیجه تجزیه پروتئین‌ها و نیز کاهش استفاده از آنها به‌دلیل کاهش رشد گیاه باشد (۳۷). اسیدآمین‌ه پرولین که تحت شرایط تنش خشکی در سلول‌های گیاهی تجمع می‌یابد به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی مطرح می‌شود و به‌دلیل نقش حافظتی که در سلول ایفا می‌کند، در شرایط تنش‌های محیطی می‌تواند گیاه را از آسیب‌های احتمالی حفظ کند. در سلول‌های تحت تنش، پرولین سبب محافظت سلول و ممانعت از ایجاد سمیت در سلول می‌شود (۹). درباره تجمع پرولین در گیاه دلایل مختلف ارائه شده است. برخی آن را به‌دلیل اثر تنظیمی اسید آبسزیک بر فرایندهای نوری در متابولیسم پرولین (۴۸) و برخی آن را به دلیل وجود ترکیبات پرانرژی حاصل از فتوسنتز می‌دانند که سبب تحریک سنتز پرولین می‌شود (۳۰). کاربرد این عامل در هنگام تنش‌های مختلف، از جمله شوری و کم‌آبی، برای افزایش

باشد و به نظر می‌رسد سطوح ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در کاهش آثار منفی تنش کم‌آبی بر صفات مورد مطالعه در گیاه شنبلیله موفق‌تر عمل کرده است.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و اسانس گیاه شنبلیله در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش کم‌آبی انجام شد. خلاصه نتایج حاصل به شرح زیر است:

- بیشترین تعداد دانه در هر غلاف با محلول پاشی ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد و اعمال تنش کم‌آبی در حد ۵۰٪ گنجایش زراعی کاهش معنی‌داری در تعداد دانه در هر غلاف شنبلیله نشان داد. بیشترین تعداد غلاف در بوته در محلول پاشی با سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی‌مولار در شرایط تنش کم‌آبی بود که اختلاف معنی‌داری با همین مقدار محلول پاشی و در شرایط مطلوب آبیاری نداشت.

- وزن هزار دانه گیاه در حالت بدون اعمال محلول پاشی و در شرایط اعمال تنش کم‌آبی نسبت به آبیاری مطلوب کاهش معنی‌داری داشت.

- بیشترین مقدار عملکرد دانه با محلول پاشی ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد و اعمال تنش کم‌آبی در حد ۵۰٪ گنجایش زراعی کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه نشان داد.

- درصد پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد.

- بیشترین مقدار درصد اسانس از محلول پاشی ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به دست آمد که در حالت آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با اعمال تنش کم‌آبی در حالت بدون محلول پاشی، درصد اسانس کاهش معنی‌داری داشته است.

- با استفاده از محلول پاشی سالیسیلیک اسید در تمام مقادیر، نسبت به تیمار شاهد، افزایش در میزان پرولین مشاهده شد. با اعمال تنش کم‌آبی نیز مقدار پرولین افزایش معنی‌داری داشت.

مقاومت با القاء آنزیم سنتزکننده پرولین، باعث افزایش تولید پرولین می‌گردد (۱۸). گیاه دارویی ریحان به‌هنگام مواجهه با تنش خشکی، با بستن روزنه‌ها و تنظیم اسمزی و افزایش انباشت پرولین و قندهای کل، شرایط تنش را تا حدودی تحمل می‌کند (۱۱). سالیسیلیک اسید منجر به تعدیل تنش خشکی با تولید و تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین و کربوهیدرات‌های محلول می‌شود. این تغییرات در مقابله با تنش خشکی می‌تواند تولیدات گیاهی به شکل عملکرد بیولوژیک و دانه را تحت تأثیر قرار داده و بخشی از عملکرد از دست رفته را جبران نماید (۴۷). استفاده از سالیسیلیک اسید همراه با تنش خشکی باعث افزایش برخی از فرایندهای فیزیولوژیک می‌گردد که می‌تواند بر افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی بیافزاید. افزودن سالیسیلیک اسید در غلظت‌های مختلف می‌تواند با افزایش مقدار پرولین سبب بهبود مقاومت گیاه در شرایط تنش خشکی شود (۵۲). افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین و قندها و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشا نشان‌دهنده کاهش خسارت اکسیداتیو و نقش سالیسیلیک اسید در افزایش تحمل در برابر تنش است (۲۷).

در این پژوهش، بیشترین مقدار قندهای محلول مربوط به حالت اعمال تنش کم‌آبی بود و مقادیر آن با محلول پاشی سالیسیلیک اسید افزایش معنی‌دار نشان داد. تحت شرایط تنش خشکی، قندهای محلول می‌توانند به‌عنوان ترکیبات اسمزی و نیز به‌عنوان حفاظت‌کننده‌های اسمزی عمل کنند. افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به‌علت توقف رشد، سنتز این ترکیبات از مسیر غیرفتوسنتزی و همچنین تخریب قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول می‌شود، نسبت داد (۲۰). تأثیر تنش خشکی بر تجمع پرولین و کربوهیدرات گیاه دارویی ریحان مثبت و معنی‌دار بود (۳۵). بنابراین، با توجه به پاسخ متفاوت سطوح مختلف سالیسیلیک اسید در مورد صفات مورد بررسی در این پژوهش، می‌توان عنوان کرد که تیمار سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش می‌تواند در کاهش و تعدیل آثار منفی تنش در این گیاه مؤثر

- بیشترین مقدار قندهای محلول مربوط به حالت اعمال تنش
معنی‌دار نشان داد.
کم‌آبی بود و مقادیر آن با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید افزایش

منابع مورد استفاده

1. Aghaei, A.H. and P. Ehsanzadeh. 2011. Effect of irrigation regime and nitrogen on yield and some physiological parameters of pumpkin seed. *J. Hort.* 42(3): 291-299.
2. Ahmadian, A., A. Ghanbari, B.A. Siahsar, B.A. Haydari, M. Ramroodi and S.M. Mousavi Nik. 2011. Study of chamomile's yield and its components under drought stress and organic and inorganic fertilizers usages and their residue. *Microbiol. Antimicrob.* 3(2): 23-28.
3. Akbarinia, A., M. Khosravifard, E. Sharifi Ashoorabadi and P. Babakhanloo. 2005. Influence of irrigation regime on yield and agronomic traits of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Med. Arom. Plants* 21: 65-73.
4. Al-Hakimi, A.M.A. 2008. Effect of salicylic acid on biochemical changes in wheat plants under that leaves residues. *Plant Soil Environ.* 54: 288-293.
5. Babaei, B. 2011. Effect of cycocel on quantitative and qualitative characteristics of *Ocimum basilicum* L. under drought stress. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran. (In Persian)
6. Bajji, M., S. Lutts and J.M. Kinet. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in tree durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci.* 160: 669-681.
7. Bannayan, M., F. Nadjafi, M. Azizi, L. Tabrizi and M. Rastgoo. 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. *Industrial Crops Products* 27: 11-16.
8. Bates, L.S., R.P. Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207.
9. Bayoumi, T., M.H. Eid and E. Metwali. 2010. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *Afr. J. Biotech.* 7: 2341-2352.
10. Bideshki, A. and M.J. Arvin. 2010. Effect of salicylic acid (SA) and drought stress on growth, bulb yield and allicin content of garlic (*Allium sativum*) in field. *Plant Ecophysiol.* 2: 73-79.
11. Daneshmandi, M. Sh and M. Azizi. 2009. The study on the effect of water stress and mineral zeolite on some quantity and characteristics of Sweet basil (*Ocimum basilicum* L. var. Kesshkeny levelu). *In: Proceeding of 6th Iranian Horticultural Science Congress, Faculty of Agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran.*
12. Daniel, C. and E. Triboi. 2008. Changes in wheat protein aggregation during grain development: Effects of temperature and water stress. *Eur. J. Agron.* 16: 1-12.
13. Delany, T.P., S. Uknes, B. Vernooij, L. Friedrich, K. Weymann, D. Negrotto, T. Gaffney, M. Gut-Rella, H. Kessmann, E. Ward and J. Ryals. 1994. A central role of salicylic acid in plant disease resistance. *Sci.* 266: 1247-125.
14. Dubois, M.K.A., J.K. Gilles, P.A. Hamilton and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 38: 350-356.
15. Eraslan, F., A. Inal, A. Gunes and M. Alpaslan. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Sci. Hort.* 113: 120-128.
16. Fariduddin, Q., S. Hayat and A. Ahmad. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rates carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica Juncea* Photosynthetica. *Agron. J.* 41(2): 281-284.
17. Fatma, A.E. and L. Gharib. 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and majoram. *Int. J. Agric. Biol.* 4: 485-492.
18. Fedina, I.S. and K.M. Benderliev. 2000. Response of *Secendesmus incrassatulus* to salt stress as affected by methyl jasmonate. *Biol. Plant.* 43(4): 625-627.
19. Haidari, N. 2010. The effect of water stress and harvesting time on some ecophysiological traits and essential oil of anise. MSc. Thesis, University of Zanjan, Iran. (In Persian)
20. Hajebi, A.H. and H. Heidari Sharif Abad. 2005. Investigation of effect of drought on growth and nodulation of three species of clover. *Pajouhesh and Sazandegi* 66: 13-22. (In Persian)
21. Hassani, A. and R. Omidbaigi. 2002. Effect of water stress on morphology, physiology and some metabolic characteristics of plant basil. *J. Agric. Sci.* 12(3): 47-59. (In Persian)
22. Hayata, Q., S. Hayata, M. Irfan and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environ. Exp. Bot.* 68: 14-25.
23. Hesse, P.R. 1971. A Text Book of Soil Chemical Analysis. John Murray, London.

24. Kirigwi, F.M., M. Van Ginkel, R.G. Trethowan, R.G. Sears, S. Rajaram and G.M. Paulsen. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica* 135: 361–371.
25. Koocheki, A., V. Mokhtari, S. Taherabadi and S. Kalantari. 2011. The effect of water stress on yield, yield components and quality characteristics of *Plantago ovate* and *Plantago psyllium*. *J. Water Soil* 25(3): 78–86. (In Persian)
26. Koocheki, A. and M. Sabet Teimori. 2012. Effect of irrigation intervals, type of fertilizers and harvesting time on essence content and yield of three medicinal plants: Lavender (*Lavandula angustifolia*), Rosemary (*Rosemarinus officinalis*) and Hyssop (*Hyssopus officinalis*) in Mashhad conditions. *Iran. J. Field Crops Res.* 10(3): 485–494. (In Persian)
27. Keshavarz, H., S.A.M. Modares Sanavi, F. Zarin Kamar, A. Dolatabadian, M. Panahi and K. Sadaj Asilan. 2012. Evolution effect salicylic acid foliar on some biochemical traits of two *Brasica napus* L. under cool stress. *Iran. J. Agric. Sci.* 42: 723–734. (In Persian)
28. Laribi, B., I. Bettaieb, K. Kouki, A. Sahli, A. Mougou and M. Brahim. 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oils and fatty acids composition. *Industrial Crops Products* 30: 372–379.
29. Mandegary, A., M. Pournamdari, F. Shariffar, S. Pour Nour Mohammadi, R. Fardiar and S. Shooli. 2012. Alkaloid and flavonoid rich fractions of fenugreek seeds (*Trigonella foenum-graecum* L.) with antinociceptive and antiinflammatory effects. *J. Food Chem. Toxicol.* 50: 2503–2507.
30. Mattioni, C. 1997. Water and salt stress-induced alterations in proline metabolism of *Triticum durum* seedlings. *Plant Physiol.* 101: 387–392.
31. Mazaheri Laghab, H., F. Nouri, H. Zare Abyaneh and H. Vafaei. 2001. Effects of supplemental irrigation on important agronomy traits of three cultivars of sunflower in dry farming. *Agric. Res.* 3(1): 33–43. (In Persian)
32. Mehrabian Moghaddam, N., M.J. Arvin, G.R. Khajuee Nezhad and K. Maghsoudi. 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. *Seed Plant Prod.* 27(1): 41–55.
33. Mirabdollahi, S.M. 2011. The changes of essential oil yield and composition of fennel under limited irrigation condition. MSc. Thesis, University of Zanjan, Iran. (In Persian)
34. Mirhashemi, S.M., A. Koocheki, M. Parsa and M. Nassiri Mahallati. 2009. Evaluation benefit of Ajowan and Fenugreek intercropping in different levels of manure and planting pattern. *Iran. J. Field Crops Res.* 7: 259–268. (In Persian)
35. Moein Alishah, H., R. Heidari, A. Hassani and A. Asadi Dizaji. 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple Basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Biol. Sci.* 6: 763–767.
36. Moradi Marjane, E. and M. Goldani. 2011. Evaluation of different salicylic acid levels on some growth characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under limited irrigation. *Environ. Stress. Crop Sci.* 4(1): 33–42.
37. Movahhedi Dehnavi, M., M. Ranjbar, A.R. Yadavi and B. Kavusi. 2011. Effect of cycocel on proline, soluble sugars, protein, oil and fatty acids of flax (*Linum usitatissimum* L.) plants under drought stress in a pot trial. *Environ. Stress. Crop Sci.* 3: 129–138.
38. Normohamadi, G., S.A. Siyadat and A. Kashani. 2000. *The Cultivation of Crops. Volume 1*, Shahid Chamran University Press, 446 p. (In Persian)
39. Nurhan, T.D. and R.S. Vazquez. 2005. Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in Mexican oregano grown under controlled conditions. *J. Appl. Hort.* 7(1): 20–22.
40. Omidbaigi, R. 2005. *Production and Processing of Medicinal Plants. Vol. 2*, Astan-e Gods Razavi Press, 324 p. (In Persian)
41. Parida, A.K. and A.B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotox. Environ. Safe.* 60: 324–349.
42. Pouryousef, M., A. Tavakoli, M. Maleki and K. Barkhordari. 2012. Effects of drought stress and harvesting time on grain yield and its components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). National Congress on Medicinal Plants, 16–17 May, Kish Island, Iran. (In Persian)
43. Rebey, B.I., I. Jabri-Karoui, I. Hamrouni-Sellami, S. Bourgou, F. Limam and B. Marzouk. 2012. Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *Industrial Crops Products* 36: 238–245.
44. Rezaei Chiyaneh, E., S. Zehtab Salmasi, K. Ghasemi Golezani and A. Delazar. 2012. Effect of irrigation treatment on yield and yield components of three fennel (*Foeniculum vulgare* L.) landraces. *Agric. Sci. Sustain. Prod.* 22(4): 53–58.
45. Rezapour, A.R., M. Heidari, M. Galavi and M. Ramroodi. 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. *Iran. J. Med. Arom. Plants* 27(3): 389–396.
46. Rezvani-Moghaddam, P. and G. Nourozpour. 2006. The effect of irrigation intervals and plant density on yield and

- essential oil seeds of *Nigella sativa*. Res. Dev. 19(4): 133–138.
47. Senaratna, T., D. Merrit, K. Dixon, E. Bunn, D. Touchell and K. Sivasithamparam. 2003. Benzoic acid may act as the functional group in salicylic acid and derivatives in the induction of multiple stress tolerance in plants. Plant Growth Regul. 39: 77–81.
 48. Serraj, R and T. R. Sinclair. 2002. Osmolyte accumulation: Can it really help increase crop yield under drought conditions? Plant Cell Environ. 25: 333–341.
 49. Shahi, F. 2012. Effect of salicylic acid priming and seed size on vigor and performance of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) under field conditions. MSc. Thesis, University of Zanjan, Iran. (In Persian)
 50. Singh, B. and K. Usha. 2003. Salicylic acid induced physiological changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regul. 39: 137–141.
 51. Tawaha, K., F.Q. Alali, M. Gharaibeh, M. Mohammad and El-E. Tamam. 2007. Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. Food Chem. 104: 1372–1378.
 52. Yazdanpanah, S., F. Abbasi and A. Baghzadeh. 2010. Effect of salicylic acid and ascorbic acid on proline, sugar and protein content in *Satureja hortensis* L. under aridity stress. Proceedings of the First National Conference of Environmental Stresses in Agricultural Science, 28–29 June, University of Birjand, Iran. (In Persian)
 53. Zehtab Salmasi, S. 2001. Evaluation of ecophysiological effects of irrigation and sowing date on growth, essence and anetol of anise. PhD Dissertation, University of Tabriz, Iran. (In Persian)
 54. Zhu, J.K. 2001. Plant salt tolerance. Trends Plant Sci. 6: 66–71

Effect of Foliar Application of Salicylic Acid on Yield, Yield Components and Essential Oil of Fenugreek (*Trigonella Foenum-Graecum* L.) under Water Deficit Conditions

S. Abdi^{1*}

(Received: 30 January 2019 ; Accepted : 4 June 2019)

Abstract

Salicylic acid is an important signal molecule modulating plant responses to abiotic (drought) stresses. A pot factorial experiment based on completely randomized design with three replications was carried out to investigate the effect of salicylic acid on yield and essential oil content of fenugreek under water deficit conditions. Factors were two irrigation levels (50 and 100% of field capacity) and four salicylic acid doses (0, 0.5, 1 and 1.5 mM). Results showed that interaction effect of water stress levels and salicylic acid doses was significant ($P \leq 0.01$) for number of pods per plant, 1000-seed weight, protein percent, proline and total soluble sugars. Maximum grain yield (119.2 g/m^2) was obtained with application of 1.5 mM salicylic acid and water deficit stress showed significant difference with respect to optimum irrigation. Maximum protein percent (13.83%) was obtained under water deficit conditions and without application of salicylic acid. There was no difference in essential oil percent in 1 mM foliar application of salicylic acid between optimum irrigation (1.4%) and water deficit conditions (1.44%). Therefore, with respect to different responses of studied traits to different levels of salicylic acid, it could be concluded that salicylic acid is able to reduce and adjust the negative effects of water deficit stress on fenugreek plant.

Keywords: Proline, Protein, Salicylic acid, Fenugreek, Total soluble sugars.

1. Ahar Faculty of Agric. and Nat. Resour., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran.

* Corresponding Author, Email: s.abdi@tabrizu.ac.ir