تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۹
۵۰۳-۵۱۷
http://dx.doi.org/ 10.22077/escs.2019.1948.1474

مقاله پژوهشی

پاسخ خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forssk) به محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک و اسپرمین تحت شرایط تنش خشکی

اعظم رومانی[1*]، عباس بیابانی[2]، علی راحمی کاریزکی[3]، ابراهیم غلامعلی‌پور علمداری[3]، عبداللطیف قلی‌زاده[3]
۱. دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گلستان
۲. دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گلستان
۳. استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گلستان

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۰۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه مطالعه‌ای به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و سه تکرار در زمستان ۱۳۹۴ در مزرعه پژوهشی دانشگاه گنبدکاووس اجرا شد. در این آزمایش تیمارهای آبیاری (شاهد (بدون تنش)، قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) به‌عنوان فاکتور اصلی و اسید سالیسیلیک (صفر، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌مولار) و اسپرمین (صفر و ۰/۰۲ میلی‌مولار) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. صفات موردبررسی شامل؛ طول سنبله، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد موسیلاژ، عملکرد موسیلاژ، فاکتور تورم بذر، میزان تورم در هر گرم موسیلاژ و درصد پوسته بودند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در اکثر صفات به‌جز تعداد پنجه در بوته، تعداد دانه در بوته و فاکتور تورم بذر بین اثرات تلفیقی قطع آبیاری، اسید سالیسیلیک و اسپرمین در سطح احتمال یک و پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بر اساس نتایج حاصل بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۵۴۰/۸ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۲۷۹۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۸ میلی‌مولار در شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه به دست آمد. بیش‌ترین درصد موسیلاژ دانه معادل ۱۹/۷ و میزان تورم برای هر گرم موسیلاژ (۱۰۵/۷ میلی‌لیتر) به تیمار محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۴ میلی‌مولار و اسپرمین با غلظت ۰/۰۲ میلی‌مولار به ترتیب تحت شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه اختصاص داشت. با توجه به یافته‌های آزمایش استنباط می‌شود که محلول‌پاشی برگی گیاه دارویی اسفرزه با اسید سالیسیلیک و اسپرمین به غلظت‌های مناسب بتواند گامی مؤثر در جهت کاهش اثرات سوء ناشی از تنش کم‌آبی باشد.

واژه‌های کلیدی: **اسفرزه، ترکیبات پلی آمینی، تنش کم‌آبی، تورم بذر، موسیلاژ.**

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین مشکلات و موانع تولید محصولات کشاورزی در بخش‌هایی از جهان است (Shi et al., 2014). سازش گیاهان به تنش خشکی نتیجه تغییر بسیاری از مکانیسم‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی است که منجر به تغییراتی در سرعت رشد گیاه، هدایت روزنه‌ای، سرعت فرآیند فتوسنتز، فعالیت‌های آنزیمی و غیره می‌شود. توانایی گیاهان برای سازش به تنش‌های محیطی بستگی به نوع، شدت و مدت تنش و هم‌چنین گونه گیاهی و مرحله وقوع تنش دارد (Yordanov and Tsoev, 2000). در این راستا اگرچه به‌نژادی می‌تواند تحمل به خشکی را در گیاهان افزایش دهد، اما استفاده از ترکیباتی که بتواند به‌طور مؤثر تحمل به تنش‌ها را افزایش دهد، یکی از راه‌کارهای مناسب

* نگارنده پاسخگو: اعظم رومانی. پست الکترونیک: azamroumani2012@gmail.com

به‌منظور پیش‌گیری ازاین‌گونه آسیب‌ها است (Shaoyun et al., 2009).

اسید سالیسیلیک، تنظیم‌کننده‌ی رشد درونی از گروه ترکیبات فنلی طبیعی است که در ریشه گیاهان به میزان کم تولید می‌شود و در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند القای گلدهی، رشد و نمو، تکامل، جذب یون‌ها، فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها، تعرق، سنتز کلروفیل و پروتئین، ممانعت از بیوسنتز اتیلن، جذب و انتقال عناصر، جوانه‌زنی و عکس-العمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و فیزیکی نقش دارد (Hara et al., 2012) که یک پیام‌رسان مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Senaratna et al., 2000).

پلی‌آمین‌ها، پلی‌کاتیون‌های آلی با وزن مولکولی کم و با گروه‌های نیتروژنی آلیفاتیک می‌باشند که در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسم‌ها نقش دارند. آن‌ها به شکل آزاد یا به‌صورت ترکیبات باند شده با اسید سینامیک، فنولیک اسیدها، ترکیبات دارای وزن مولکولی پایین و ماکرومولکول‌هایی نظیر پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌باشند (Serrano et al., 2004). مهم-ترین پلی‌آمین‌های موجود در گیاهان شامل اسپرمیدین (تری‌آمین) اسپرمین (تتراآمین) و پیش‌ساز آن‌ها پوترسین (دی‌آمین) است. پلی‌آمین‌ها یک گروه جدید از تنظیم‌کننده-های رشد گیاهی هستند که باعث تحریک رشد؛ از طریق بیوسنتز آن‌ها در بافت‌های گیاهی می‌گردند (Takahashi and Kakehi, 2010) هم‌چنین در القای تقسیم سلولی، جنین‌زایی، ریخت‌زایی، نمو گل، میوه و دانه، تکوین ریشه، پایداری غشاء، جمع‌آوری رادیکال‌های فعال و در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی ازجمله شوری، خشکی و پیری نقش ایفاء می‌کنند (Kaur-Sawhney et al., 2003). نقش تنظیم‌کنندگی پلی‌آمین‌ها در ارتباط با واکنش در برابر تنش‌ها و پیری را می‌توان به دلیل نقش مؤثر آن‌ها در تنظیم اسمزی، پایداری غشاء و از بین بردن رادیکال‌های فعال از محیط سلول‌ها دانست (Liu et al., 2007).

اسفرزه با نام علمی *Plantago ovata* Forssk. متعلق به خانواده بارهنگ، گیاهی علفی و یک‌ساله است که به‌طور عمده از بذرها و پوسته آن برای اهداف دارویی استفاده می-شود (Omidbaigi, 2005). گیاه اسفرزه به‌عنوان گیاه دارویی مؤثر در فارماکوپه‌های جهان به ثبت رسیده است که علاوه بر مصارف سنتی، عرصه‌های جدیدی درزمینهٔ صنعت و پزشکی برای آن گشوده شده است (Ghasemi Dehkordi, 2002). بیشتر خواص اسفرزه مربوط به موسیلاژهای آن است. موسیلاژها پلیمرهایی هستند که در فرم‌های دارویی استفاده زیادی دارند. موسیلاژها در داروسازی جهت سوسپانسیون‌ها و به‌عنوان چسب در ساخت گرانول‌ها و قرص‌های مکیدنی و ساخت مسهل‌ها به کار می‌رود (Mardani Karani, 2013). ازجمله داروهای ملین ساخته‌شده از دانه و پوسته گیاه دارویی اسفرزه در بازار می‌توان به موسیلیوم، پسیلیوم، دیامد، فیبروگل، فیتولاکس، لاکس اکتیو، متاموسیل، موسیلاکس، هرباسیل و غیره اشاره نمود. در میان ۲۸۰ گونه از جنس Plantago ازلحاظ اقتصادی تنها گونه *Plantago ovata* به-عنوان منبع تجاری موسیلاژ اهمیت دارد (Chakraborty and Patel, 1992). تجزیه دانه‌های اسفرزه وجود برخی قندها و ترکیبات پلی‌ساکاریدی را در موسیلاژ دانه نشان داده است که شامل گالاکتوز، گلوکز، گزیلوز، آرابینوز و رامینوز می‌باشند (Bruneton, 1999). تنش خشکی نقش مهمی در سنتز ترکیبات ثانویه (موسیلاژ) گیاه دارویی اسفرزه دارد بنابراین شناخت روش‌های مؤثر در جهت حفظ عملکرد و کیفیت آن ضرورت دارد.

رضوی‌زاده و همکاران (Razavizadeh et al., 2017) کاهش ۱۸ درصدی تعداد چتر در بوته و ۳۳ درصدی عملکرد دانه گیاه دارویی زنیان (*Carum copticum* L.) را در کاهش میزان آبیاری در سطح ۷۰ درصد ظرفیت زراعی گزارش کردند، آن‌ها هم‌چنین اظهار داشتند که در سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، گیاه به مرحله بذردهی نرسید. رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2011) نیز گزارش نمودند که تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد دانه و عملکرد زیستی اسفرزه گردید درحالی‌که درصد موسیلاژ تحت این شرایط افزایش نشان داد. به‌علاوه رمرودی و همکاران (Ramroudi et al., 2011) تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله اسفرزه را در تأخیر آبیاری در مرحله گل‌دهی به ترتیب ۲۴/۵۲ و ۷۷/۰۸ عدد گزارش نمودند. گزارش‌های متعددی مبنی بر نقش اسید سالیسیلیک و پلی‌آمین‌ها در کاهش اثرات ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی وجود دارد. در مطالعه-ای کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش کم-آبی موجب افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه، کلروفیل، آنتوسیانین، پروتئین، فنل و فلاونوئید در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) گردید (Jamal Omidi et al., 2018). یزدان‌پناه و همکاران

(Yazdanpanah et al., 2011) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک اثرات مضر تنش بر روی طعم مطبوع گیاه دارویی مرزه (*Echinacea purpurea* L.) را از طریق کاهش مالون دی‌آلدهید و دیگر دی‌آلدهیدها کاهش داد. در پژوهشی دیگر کاربرد اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش موجب کاهش معنی‌دار پراکسیداسیون لیپید در گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) شد (Delavari et al., 2010). بررسی اثرات محلول‌پاشی برگی اسپرمیدین بر روی گیاه دارویی جینسینگ (*Panax ginseng*) در شرایط تنش نشان داد که کاربرد اسپرمیدین، از طریق ممانعت از تجزیه کلروفیل و افزایش سطوح پلی‌آمین‌ها، هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) در رشد گیاهچه مؤثر بود (Parvin et al., 2014). در مطالعه دیگری بر روی گیاه سنتی‌پدگراس (*Eremochloa ophiuroides* [Munro] Hack) افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، گلوتاتیون ردوکتاز (GR) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در کاربرد خارجی پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین گزارش گردید (Liu et al., 2017). نتایج آزمایش مصطفوی و همکاران (Mustafavi et al., 2015) نشان داد که کاربرد خارجی اسپرمیدین در گیاه دارویی سنبل‌الطیب (*Valeriana officinalis* L.) میزان تجمع پتاسیم (کاهش آسیب غشاء سلولی)، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (تأمین‌کننده انرژی جهت رشد و تولید در گیاه) را افزایش داد. در مطالعه درویژه و همکاران (Darvizheh et al., 2018) نیز کاهش میزان اسانس در گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.)، در کاربرد تلفیقی اسپرمین و اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش خشکی مشاهده گردید.

با توجه به بومی بودن اسفرزه در ایران، اهمیت آن در صنایع و داروسازی و نیز با توجه به این‌که مطالعات اندکی در رابطه با پاسخ این گیاه به تنش خشکی در کاربرد خارجی ترکیبات مؤثر در فعالیت‌های آنزیمی و تنظیم‌کننده‌های اسمزی انجام شده است. این مطالعه به‌منظور بررسی پاسخ گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forssk) به کاربرد پلی‌آمین‌ها و ترکیبات فنلی تحت شرایط تنش خشکی در راستای افزایش عملکرد اقتصادی و با کیفیتی مطلوب انجام شد تا بتواند پاسخ‌گوی نیاز داخلی صنعت دارویی باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۴۵ متر و متوسط بارندگی ده‌ساله ۴۵۰ میلی‌متر به اجرا درآمد. شرایط آب و هوایی گنبد در طول مدت اجرای آزمایش در جدول ۱ درج شده است. میزان بارش از اواسط اسفندماه ۱۳۹۴ لغایت اوایل اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ برابر ۱۱۹/۱ میلی‌متر بود.

جدول ۱. آمار هواشناسی گنبدکاووس در سال ۹۵-۱۳۹۴

Table 1. Metrological statistics of Gonbad Kavous in 2016

		Month		ماه	
		اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد Jun
Precipitation (mm)	میزان بارندگی	23	65.1	27.8	3.2
Average temperature (°C)	متوسط دما	9.3	15.2	22.1	23.3
Relative humidity (%)	رطوبت نسبی	79	77	72	72

قبل از کاشت، نمونه‌برداری خاک جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد (جدول ۲). در این آزمایش سه سطح تنش کم‌آبی شامل شاهد (Ir1= بدون اعمال تنش)، تنش متوسط (Ir3= قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه‌ها) و تنش شدید (Ir2= قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه سطح محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (SA1= صفر، SA2= غلظت ۰/۴ میلی‌مولار و SA3= غلظت ۰/۸

میلی‌مولار) و دو سطح محلول‌پاشی اسپرمین (Spm1= صفر و Spm2= غلظت ۰/۰۲ میلی‌مولار) به‌عنوان کرت‌های فرعی مورد ارزیابی قرار گرفت. مبنای انتخاب سطوح محلول‌پاشی؛ نتایج مطالعات سایر محققان، امکان توصیه در سطح وسیع (هکتاری) برای کشاورزان، توجیه اقتصادی با توجه به قیمت بالای اسپرمین بود. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و طول خطوط کاشت پنج‌متر با عمق کاشت ۰/۵ الی یک سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. هم‌چنین فاصله بین دو تکرار متوالی سه متر و فاصله سطوح مختلف تنش جهت جلوگیری از تأثیر بر یکدیگر، سه متر در نظر گرفته شد. بذر اسفرزه اواتا از شرکت سبز رویش محلات و اسید سالیسیلیک (Sigma) و اسپرمین (Sigma) از شرکت بهنوژن تهران تهیه گردیدند. قبل از کاشت به‌منظور تأمین نیتروژن و فسفر موردنیاز به ترتیب از کودهای نیتروژن (از منبع اوره) (۷۵ کیلوگرم در هکتار) و فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل) (۱۰ کیلوگرم در هکتار) طبق آزمون خاک (جدول ۲) استفاده شد. پس از اتمام کلیه عملیات تهیه زمین در اواسط اسفندماه نسبت به کاشت دستی اسفرزه و به‌صورت کپه‌ای بر روی خطوط کشت اقدام گردید. پس از استقرار کامل گیاهچه با در نظر گرفتن فاصله ۱۰ سانتی‌متری، بوته‌ها با قیچی تنک شدند و تراکم نهایی به ۵۰ بوته در مترمربع رسید.

مقدار رطوبت خاک قبل از اعمال تیمارهای تنش در تمام کرت‌های آزمایشی به‌صورت یکسان و در دامنه بین ۰/۷ تا ۰/۹ ظرفیت زراعی (معادل رطوبت وزنی ۱۶/۸ الی ۲۱/۶ درصد) نگه داشته شد. برای این منظور هر ۴ الی ۵ روز از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه خاک تهیه گردید و میزان رطوبت وزنی آن‌ها اندازه‌گیری شد و در صورت نیاز نسبت به آبیاری کرت‌ها اقدام گردید. برای حصول اطمینان بیشتر به اعمال تنش خشکی در گیاهان تحت تیمارهای مختلف بعد از برداشت گیاه دارویی اسفرزه در اوایل خردادماه نیز نمونه خاک تهیه و میزان رطوبت اندازه‌گیری شد؛ بدین‌صورت که میزان رطوبت در تیمار آبیاری نرمال (شاهد) حدود ۰/۹ بار و در تنش متوسط (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) ۴/۷ بار و در تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) ۹ بار بود؛ که نشانگر اعمال تنش در تیمارهای خشکی است. میزان آب آبیاری برای هر کرت آزمایشی بعد از هر مرحله نمونه‌برداری خاک بر اساس رابطه زیر برآورد گردید.

$$dw = \frac{(\theta m1 - \theta m2)}{100} \times \rho b + ds \qquad [1]$$

که dw عمق آب آبیاری (cm)، θm1: رطوبت وزنی اولیه (درصد)، θm2: رطوبت وزنی ثانویه (درصد)، ρb: چگالی ظاهری خاک (g.cm3) و ds: عمق خاک (cm) هستند.

محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین در مراحل غنچه‌دهی (تولید ساقه گل‌دهنده)، گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها در تیمارهای موردنظر اعمال گردید. بدین طریق که پس از محلول‌سازی اسید سالیسیلیک (پودر اسید سالیسیلیک با آب مقطر و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بر روی دستگاه شیکر به‌خوبی حل گردید) و اسپرمین (مایع اسپرمین در آب مقطر حل شد) در آزمایشگاه، حجم مشخصی از محلول‌ها در سمپاش‌های کوچک دستی ۲ لیتری برای هر تیمار به آب اضافه شد و نسبت به اسپری آن‌ها اقدام گردید. عملیات محلول‌پاشی قبل از اعمال آبیاری و در ساعات خنک صبح و غروب با توجه به حساسیت محلول‌ها به گرما انجام شد. عملیات وجین به‌صورت دستی و مبارزه با آفات نیز هم‌زمان در تمام کرت‌های آزمایشی در طی مرحله رشد و نمو گیاه انجام گرفت. جهت مبارزه با آفاتی نظیر مورچه و شته به ترتیب از مخلوط سم سوین و سبوس برنج برای کنترل مورچه و از سم دیازینون برای کنترل شته‌ها استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری صفات عملکرد و اجزای عملکرد موردمطالعه شامل؛ طول سنبله، تعداد پنجه در بوته و تعداد دانه در بوته؛ ۱۰ بوته از هر کرت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی نمونه‌برداری و نسبت به تعیین صفات مذکور اقدام شد. به‌علاوه پس از حذف دو ردیف کناری و نیز ابتدا و انتهای هر کرت نمونه‌گیری جهت برآورد وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، میزان موسیلاژ دانه، فاکتور تورم بذر و درصد پوسته در طی این پژوهش انجام شد.

مقدار موسیلاژ با روش کالیاناسندرام و همکاران (Kalyanasundaram et al., 1984) اندازه‌گیری شد. در این روش یک گرم بذر خشک در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال در حال جوش تا تغییر رنگ پوسته بذر حرارت داده شد. محلول موسیلاژی حاصل جدا گردید و بذرها دو بار با پنج میلی‌لیتر آب جوش شستشو داده شدند و محلول‌های حاصل به محلول موسیلاژ اولیه اضافه گردید. با افزودن ۶۰ میلی‌لیتر الکل اتیلیک ۹۶ درصد به محلول مذکور و قرار دادن آن به مدت پنج ساعت در یخچال رسوب موسیلاژی به دست آمد؛ که پس از صاف کردن، در آون در درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت قرار گرفت. سپس توزین گردید و مقدار موسیلاژ برحسب گرم در

هر گرم بذر تعیین و به‌صورت درصد ثبت شد. عملکرد موسیلاژ نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد موسیلاژ دانه محاسبه شد. جهت برآورد فاکتور تورم یک گرم بذر را درون استوانه مدرج ۲۵ میلی‌لیتر ریخته و تا حجم ۲۰ میلی‌لیتر از آب مقطر پر نمودیم. بعد از ۲۰ دقیقه به‌منظور توزیع یکنواخت بذور تکان داده‌شده و افزایش حجم پس از گذشت ۲۴ ساعت بیان‌گر شاخص تورم بذور بود (Thanki and Talati,1983). درصد پوسته نیز با روش تانکی و تلاتی (Thanki and Talati, 1983) اندازه‌گیری گردید. در این روش ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک (HCl) ۰/۱ نرمال به یک گرم بذر افزوده شد. مخلوط حاصل در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شد، سپس به‌طور کامل صاف گردید و دانه‌های پوست‌گیری شده سه تا چهار مرتبه با آب گرم (۷۰ درجه سانتی‌گراد) شستشو داده شدند و محلول حاصل از شستشو حذف گردید. دانه‌ها در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد برای سه ساعت خشک شد و درصد پوسته با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

درصد پوسته = (وزن بذر بدون پوسته - ۱) × ۱۰۰ [۲]

مقدار فاکتور تورم برای هر گرم موسیلاژ نیز از فرمول ذیل محاسبه گردید (Ebrahimzadeh et al., 1996).

مقدار تورم برای هر گرم موسیلاژ =

مقدار موسیلاژ / (۱۰۰ × فاکتور تورم) [۳]

محاسبات و تجزیه‌های آماری مربوطه با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹,۱) و نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲,۰) و مقایسه میانگین با آزمون LSD و رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار Excel انجام شد

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Physicochemical characteristics of the soil in the experimental site

اسیدیته	هدایت	مواد خنثی	کربن	نیتروژن کل	پتاسیم	فسفر	
گل اشباع	الکتریکی	شونده	آلی		قابل‌جذب	قابل‌جذب	بافت خاک
pH	ECe	T.S.V	O.C	Total Nitrogen	K_{Avail}	P_{Avail}	Soil texture
	(dS/m)	---------- (%) ----------			--------- (mg/kg) ---------		لومی رسی
7.92	1.2	9	1.11	0.11	504	21.2	Loam Clay

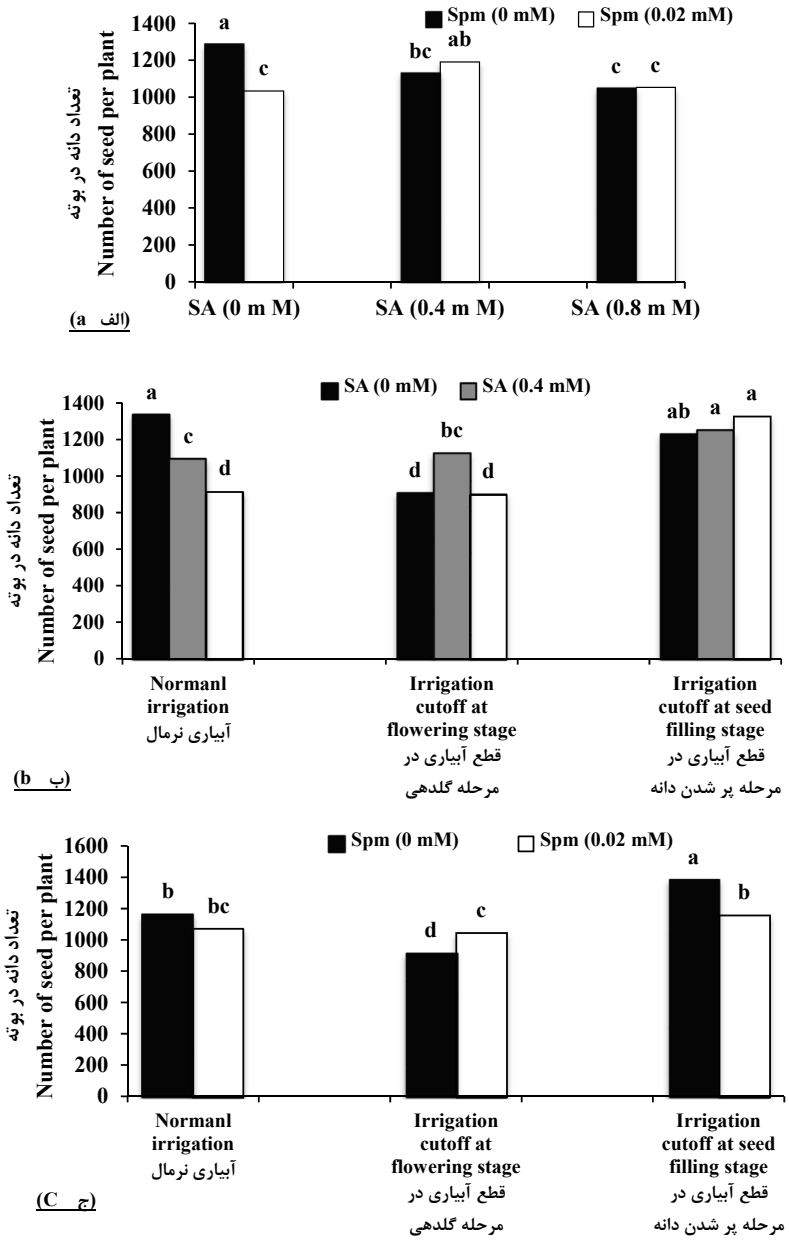
نتایج و بحث

طول سنبله

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، کلیه تیمارها اثر معنی‌داری بر طول سنبله اسفرزه داشتند (جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، کلیه تیمارهای تلفیقی اسید سالیسیلیک و اسپرمین تحت شرایط عدم تنش به‌جز تیمار SA3+Spm2، اثر افزایشی بر روی طول سنبله نشان دادند. استنباط می‌شود که اثر کاهشی طول سنبله تحت تیمار SA3+Spm2، احتمالاً به دلیل غلظت بالای ترکیب فنلی اسید سالیسیلیک باشد. در مطالعه‌ای، کاربرد غلظت بالایی از اسید سالیسیلیک (۳-۲ mM) رشد و تحمل به خشکی گندم (*Triticum aestivum*) را کاهش داد؛ درحالی‌که رشد گیاه در مصرف با غلظت کم اسید سالیسیلیک (۰/۵mM) افزایش یافت (Kang et al., 2012). نتایج در مورد تنش متوسط حاکی از افزایش طول سنبله به‌جز در تیمار SA1+Spm2 بود، تحت این شرایط تیمار SA3+Spm1 بلندترین طول سنبله معادل با ۳/۹۱ سانتی‌متر را به خود اختصاص داد. هم‌چنین این مطالعه نشان داد که تحت شرایط تنش شدید، سطوح تیماری تلفیق اسید سالیسیلیک و اسپرمین نیز اثر افزایشی بر طول سنبله در مقایسه با شاهد نشان دادند. بیش‌ترین اثر افزایشی مربوط به تیمار SA2+Spm2 معادل ۵/۷ درصد بود (جدول ۴). مطابق نتایج می‌توان استنباط نمود که ترکیب تیماری اسپرمین و اسید سالیسیلیک موجب تخفیف اثر تنش خشکی در گیاه اسفرزه می‌گردند.

تعداد پنجه در بوته

بررسی داده‌های آزمایشی نشان داد که بین اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه در صفت تعداد پنجه در بوته اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).



شکل ۱. اثر متقابل اسید سالیسیلیک × اسپرمین (الف)، آبیاری × اسید سالیسیلیک (ب) و آبیاری × اسپرمین (ج) بر تعداد دانه در بوته گیاه اسفرزه

Fig. 1. Interaction between salicylic acid × spermine (a), irrigation × salicylic acid (b) and irrigation × spermine (c) on number of seed per plant of Isabgol

تعداد دانه در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک، قطع آبیاری × اسپرمین و اسید سالیسیلیک × اسپرمین بر صفت تعداد دانه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و در اثر متقابل سه عامل اثر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمارهای Ir3+Spm1 و Ir2+SA3 به ترتیب با ۱۳۸۲ و ۹۰۰ عدد بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد دانه در بوته را موجب شدند (شکل ۱).

ازآنجایی‌که پتانسیل تعداد دانه در زمان گرده‌افشانی و قبل از آن تعیین می‌شود، دلیل اصلی کاهش تعداد دانه در تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی در مرحله گل‌دهی، می‌تواند عمدتاً به علت کاهش تخصیص مواد غذایی به هر یک از دانه‌ها و به دنبال آن افزایش دانه‌های پوک در سنبله باشد.

وزن هزار دانه

بررسی داده‌های آزمایشی نشان داد که اثرات متقابل قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک و قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک × اسپرمین بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند و در سایر اثرات متقابل اثر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین و کمترین وزن هزار دانه در شرایط تنش متوسط و شدید به ترتیب مربوط به تیمارهای تلفیقی SA1+Spm2 به میزان ۱/۷۹ و ۱/۵۸ گرم بود (جدول ۴). کاهش وزن هزار دانه اسفرزه در تیمار تلفیقی SA1+Spm2 در شرایط تنش شدید، احتمالاً به دلیل پاسخ مثبت ناقص تیمار مذکور تحت این شرایط بوده است. در مطالعه‌ای موسوی‌نیک (Moosavinick, 2012) اظهار داشت که تحت شرایط تنش کم‌آبی به دلیل کاهش فتوسنتز؛ میزان تولید و تجمع ماده خشک نقصان یافته، درنتیجه میزان ماده خشک انتقال‌یافته به دانه‌های اسفرزه کاهش می‌یابد و وزن دانه‌ها کم می‌شود. وی وزن هزار دانه در اسفرزه در شرایط تنش کم‌آبی را ۱/۴۷ گرم گزارش کرد؛ اما این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی اسپرمین و اسید سالیسیلیک تااندازه‌ای قادر به کاهش خسارت تنش خشکی به وزن هزار دانه اسفرزه است.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر قطع آبیاری، سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر برخی صفات گیاه دارویی اسفرزه

Table 3. Variance analysis effect of cutoff irrigation, salicylic acid and spermine foliar application on some of the traits of isabgol (Plantago *ovata* Forssk)

منابع تغییر S.O.V		df	طول سنبله Spike length	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plan	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
Replication	تکرار	2	0.03^{*}	0.08^{ns}	16724^{ns}	0.004^{*}	5203.2^{ns}	3586.1^{*}	5.64^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	0.44^{**}	0.02^{ns}	381142^{**}	0.02^{**}	6995051^{**}	145372^{**}	176^{**}
Main Error	خطای اصلی	4	0.03	0.03^{ns}	4009.2	0.001	26594.2	964	3.16
Salicylic Acid (SA)	اسید سالیسیلیک	2	0.07^{**}	0.09^{ns}	72962^{**}	0.001^{ns}	166709^{*}	17127^{**}	94.3^{**}
Spermine (S)	اسپرمین	1	0.13^{**}	0.19^{ns}	52186^{*}	0.004^{ns}	24067	26136^{**}	55.55^{**}
I × SA	آبیاری × اسید سالیسیلیک	4	0.12^{**}	0.01^{ns}	154399^{**}	0.006^{**}	92639.4^{*}	13707^{**}	17.75^{**}
I × S	آبیاری × اسپرمین	2	0.06^{**}	0.03^{ns}	146079^{**}	0.001^{ns}	141235^{*}	14549^{**}	17.76^{**}
SA × S	اسیدسالیسیلیک × اسپرمین	2	0.26^{**}	0.19^{ns}	124860^{**}	0.002^{ns}	319904^{**}	10928^{**}	9.75^{ns}
I × SA × S	آبیاری×اسیدسالیسیلیک × اسپرمین	4	0.05^{**}	0.01^{ns}	21778^{ns}	0.012^{**}	297768^{**}	10163^{**}	69^{**}
Sub Error	خطای فرعی	30	0.01	0.06	10842.1	0.001	33289	855.5	3.1
CV (%)	ضریب تغییرات	-	*2.49*	*7.63*	*9.29*	*2.13*	*7.75*	*7.26*	*10.18*

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

Ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1 percent probability levels, respectively

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر قطع آبیاری × سطوح مختلف اسید سالیسیلیک × اسپرمین بر برخی صفات گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forssk.)

Table 4. Mean comparison of effect of cutoff irrigation × salicylic acid × spermine foliar application on some of the traits of Isabgol

تیمار Treatment		طول سنبله Spike length	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
		(cm)	(gr)	(kg.ha^{-1})	(kg.ha^{-1})	(%)
Ir_1	SA_1+Spm_1	3.40^{e-h}	1.66^{c-f}	1820^{g}	513.5^{ab}	28.2^{a}
	SA_1+Spm_2	3.53^{c-e}	1.61^{fg}	2255^{ef}	321.8^{e}	14.3^{f-h}
	SA_2+Spm_1	3.43^{d-g}	1.67^{b-e}	2315^{c-f}	360.7^{de}	15.6^{e-h}
	SA_2+Spm_2	3.45^{d-g}	1.68^{bcd}	2151^{f}	343.8^{e}	15.9^{efg}
	SA_3+Spm_1	3.54^{cde}	1.71^{bc}	2613^{abc}	332.5^{e}	12.7^{hi}
	SA_3+Spm_2	3.00^{k}	1.66^{c-f}	1601^{g}	214.3^{f}	13.4^{gh}
Ir_2	SA_1+Spm_1	3.16^{jk}	1.65^{def}	2451^{b-e}	367.8^{de}	15.0^{f-h}
	SA_1+Spm_2	3.25^{h-j}	1.58^{g}	2398^{b-f}	433.5^{c}	18.2^{c-e}
	SA_2+Spm_1	3.18^{ij}	1.64^{d-g}	2386^{b-f}	319.5^{e}	13.4^{gh}
	SA_2+Spm_2	3.35^{f-h}	1.66^{c-f}	2513^{a-e}	342.8^{e}	13.7^{gh}
	SA_3+Spm_1	3.50^{c-f}	1.62^{e-g}	2453^{b-e}	405.7^{cd}	16.7^{d-f}
	SA_3+Spm_2	3.33^{ghi}	1.65^{d-f}	2578^{a-d}	256.0^{f}	9.9^{i}
Ir_3	SA_1+Spm_1	3.58^{cd}	1.68^{b-d}	2311^{d-f}	497.3^{ab}	21.6^{b}
	SA_1+Spm_2	3.24^{h-j}	1.79^{a}	2285^{d-f}	493.0^{ab}	21.6^{b}
	SA_2+Spm_1	3.63^{bc}	1.73^{b}	2226^{ef}	485.8^{b}	21.9^{b}
	SA_2+Spm_2	3.74^{ab}	1.67^{b-e}	2578^{a-d}	494.3^{ab}	19.3^{c-d}
	SA_3+Spm_1	3.91^{a}	1.72^{b}	2795^{a}	540.8^{a}	19.5^{bd}
	SA_3+Spm_2	3.53^{c-e}	1.63^{d-g}	2631^{ab}	528.0^{ab}	20.1^{bc}

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Ir_1: شاهد (عدم تنش)، Ir_2: قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی، Ir_3: قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه، SA_1: عدم مصرف اسید سالیسیلیک (محلول‌پاشی آب)، SA_2: محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۴ میلی‌مولار، SA_3: محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۸ میلی‌مولار، Spm_1: عدم مصرف اسپرمین (محلول‌پاشی آب)، Spm_2: محلول‌پاشی اسپرمین با غلظت ۰/۰۲ میلی‌مولار.

Means within each column followed by the same letter are not statistically different α=0.05.
Ir_1= control (non-stress), Ir_2= Cutoff irrigation at flowering stage, Ir_3= Cutoff irrigation at seed filling stage; SA_1= No salicylic acid (water spray), SA_2= Salicylic acid spraying at concentration of 0.4 mM, SA_3= Salicylic acid spraying at concentration of 0.8 mM; Spm_1= not using spermine (water spray), Spm_2= Spermine spraying at concentration of 0.02 mM.

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کل سطوح تیماری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زیستی اسفرزه در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین بین تیمارها بیش‌ترین میزان عملکرد زیستی را مربوط به تیمارهای Ir3+SA3+Spm1 با ۲۷۹۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین میزان آن را تیمارهای Ir1+SA1+Spm1 و Ir1+SA3+Spm2 (به ترتیب با ۱۸۲۰ و ۱۶۰۱ کیلوگرم در هکتار) دانست (جدول ۴). این امر ممکن است به این دلیل باشد که هرچند در اثر محدودیت آبی عملکرد زیستی و دانه هر دو کاهش می‌یابند، اما کاهش عملکرد زیستی در شرایط قطع آبیاری کمتر از عملکرد دانه بود؛ زیرا با توجه به این‌که بیشتر اجزایی که عملکرد زیستی را تشکیل می‌دهند در زمان قبل از گلدهی تولید می‌شوند و از طرفی اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی بوده است، لذا این امر دور از انتظار نیست که عملکرد دانه بیشتر از عملکرد زیستی تحت تأثیر تیمارهای خشکی قرار بگیرد. رمرودی و همکاران (Ramroudi et al., 2011) عملکرد زیستی اسفرزه تحت شرایط آبیاری و بدون تنش را ۱۸۱۳ کیلوگرم در هکتار ذکر کردند که اعمال تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی موجب کاهش عملکرد به میزان ۲۰ درصد شد.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از اختلاف معنی‌دار بین اثرات متقابل قطع آبیاری × اسپرمین، قطع آبیاری × اسپرمین، اسید سالیسیلیک × اسپرمین و قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک × اسپرمین بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین بین تیمارها

نشان داد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در تیمار تلفیقی Ir3+SA3+Spm2 با ۵۴۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید، هرچند که با برخی تیمارهای قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه در سطوح مختلف محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. هم‌چنین کم‌ترین میزان عملکرد دانه به تیمار Ir1+SA3+Spm2 با ۲۱۴ کیلوگرم در هکتار اختصاص داشت (جدول ۴). استنباط می‌شود کاهش عملکرد دانه تحت تیمارهای قطع آبیاری در مرحله گلدهی نسبت به قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه به علت کاهش طول دوره فتوسنتز و انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه و هم‌چنین کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده در ساقه به دانه، موجب کاهش عملکرد شده است. به‌طوری‌که محلول‌پاشی سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و اسپرمین نتوانست مانع از این کاهش شود. درحالی‌که افزایش غلظت این ترکیبات در گیاه توانست موجب بهبود عملکرد در شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه شود. در مطالعه‌ای افشارمنش و همکاران (Afsharmanesh et al., 2008) عملکرد دانه اسفرزه را تحت شرایط تنش شدید (آبیاری پس از ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) ۸۸/۱ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند که نسبت به تنش ملایم (آبیاری پس از ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) کاهش ۴۳ درصدی داشت. رضائی‌چیانه و پیرزاد (Rezaichianah and Pirzad, 2014) افزایش ۱۳ درصدی عملکرد دانه گیاه دارویی سیاهدانه (*Carum copticum* L.) را تحت شرایط تنش خشکی با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک گزارش کردند.

شاخص برداشت

طبق تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، کلیه تیمارهای تلفیقی با یکدیگر ازنظر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمار تلفیقی Ir1+SA1+Spm1 دارای بیش‌ترین درصد شاخص برداشت (۲۸/۲۱ درصد) و از این نظر با تیمارهای قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه در سطوح مختلف محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین اختلاف معنی‌داری نداشت. هم‌چنین تیمار Ir2+SA3+Spm2 با ۹/۹۰ درصد دارای کم¬ترین میزان بود. در شرایط تنش شدید خشکی در مقایسه با شاهد شاخص برداشت به میزان ۳۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

نتایج این مطالعه نشان داد که هر دو جزء عملکرد دانه و عملکرد زیستی تحت تیمارهای تلفیقی اسید سالیسیلیک و اسپرمین در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی کاهش یافت که این امر منجر به کاهش شاخص برداشت گردید. در مقابل در تیمارهای تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه، علی‌رغم بالا بودن عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت به دلیل بالا بودن جزء عملکرد زیستی کاهش یافت.

درصد موسیلاژ دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک، اسید سالیسیلیک × اسپرمین و قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک × اسپرمین بر این صفت در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۵). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمار Ir1+SA2+Spm2 با ۱۹/۶۷ درصد بیش‌ترین موسیلاژ دانه را موجب شد هرچند که با برخی تیمارهای قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه در سطوح مختلف محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین اختلاف معنی‌داری نداشت. با توجه به نتایج حاصل؛ در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۸ میلی-مولار و در شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۴ میلی‌مولار و اسپرمین با غلظت ۰/۰۲ میلی‌مولار توانست درصد موسیلاژ دانه را افزایش دهد (جدول ۶). با توجه به این‌که تنش خشکی منجر به برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در گیاهان می‌شود. استنباط می‌شود که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین با افزایش ساختارهای پلی‌ساکاریدی با خاصیت هیدروفیلی یا به عبارتی موسیلاژ که از فاکتورهای مهم کیفی گیاه دارویی اسفرزه است، موجب تأثیر مثبت بر کارایی مصرف آب و حفظ پتانسیل آب درون‌سلولی از طریق پیوند با مولکول‌های آب و درنتیجه کاهش اثرات منفی تنش خشکی شده است. در پژوهشی که به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر روی گیاه دارویی بالنگو (*Lallemantia royleana* Benth) انجام شد، بیش‌ترین درصد موسیلاژ تحت شرایط تنش ملایم (۳/۵- اتمسفر) به دست آمد (Pirjalili and Omidi, 2017).

عملکرد موسیلاژ دانه

بررسی داده‌های آزمایشی نشان داد، کلیه تیمارهای تلفیقی با یکدیگر ازنظر عملکرد موسیلاژ به‌جز تیمار قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک × اسپرمین اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد داشتند (جدول ۵). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمار تلفیقی Ir3+SA3+Spm2 دارای بیش‌ترین عملکرد موسیلاژ دانه (۹۷/۷ کیلوگرم در هکتار) و تیمار Ir1+SA3+Spm2 دارای کم‌ترین میزان عملکرد موسیلاژ دانه (۳۴/۲۶ کیلوگرم در هکتار) بودند (جدول ۶). با توجه به این‌که عملکرد موسیلاژ حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد موسیلاژ است، لذا علت اصلی بالا بودن عملکرد موسیلاژ در این تیمارها، بالا بودن عملکرد دانه یا درصد موسیلاژ است. پژوهش حاضر نشان می‌دهد که درصد موسیلاژ چندان تحت تأثیر تیمارهای اعمال‌شده قرار نگرفته است، درحالی‌که عملکرد دانه این تأثیر را بیشتر نشان داده است، بنابراین عملکرد دانه نقش مؤثرتری در میزان عملکرد موسیلاژ دانه در اکثر تیمارها داشته است. در مطالعه رمرودی و همکاران (Ramroudi et al., 2011) بیش‌ترین عملکرد موسیلاژ دانه اسفرزه مربوط به رژیم آبیاری کامل بود و کم‌ترین آن از تیمار قطع یک نوبت آبیاری بعد از گل‌دهی (۸۱/۵۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که در مقایسه با رژیم آبیاری کامل حدود ۱۸/۷۸ درصد کاهش داشت، هم‌چنین در شرایط قطع یک نوبت آبیاری بعد از گل‌دهی؛ میزان موسیلاژ دانه ۶۲/۱۶ درصد برآورد گردید.

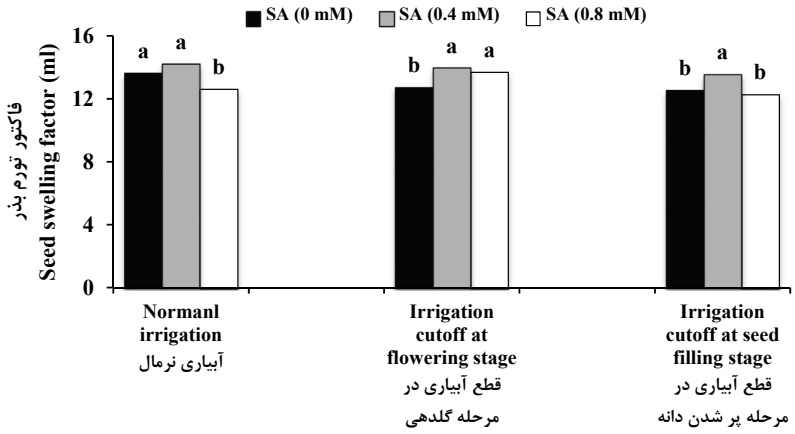
فاکتور تورم بذر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها اثر متقابل قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک بر صفت فاکتور تورم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و در سایر اثرات متقابل اثر معنی‌داری بر این صفت مشاهده نشد (جدول ۵). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین فاکتور تورم معادل ۱۴/۱۷ میلی‌لیتر به تیمار Ir1+SA2 اختصاص داشت که با برخی تیمارها در این صفت اختلاف معنی‌داری نداشت و کم‌ترین آن نیز در تیمار Ir3+SA3 معادل با ۱۲/۲۵ میلی‌لیتر به دست آمد (جدول ۶). افزایش میزان فاکتور تورم بذر تحت تیمارهای تلفیقی قطع آبیاری در زمان گلدهی و پر شدن دانه احتمالاً به دلیل افزایش میزان اسمولیت‌های سازشی نظیر قندهای محلول، پرولین، گلایسین و غیره بوده است. هم‌چنین با توجه به این‌که میزان تورم دانه بیشتر، به دلیل خاصیت تورمی بالای موسیلاژ دانه می‌باشد. لذا انتظار می‌رود در بذرهایی که از درصد موسیلاژ بالاتری برخوردارند، از شاخص تورم دانه بالاتری نیز برخوردار باشند، بالا بودن شاخص تورم دانه تحت رژیم کم‌آبیاری و تیمارهای محلول-پاشی ممکن است به-همین علت نیز باشد. هرچقدر بذور از درصد موسیلاژ و شاخص تورم بیش‌تری برخوردار باشند، کیفیت آن‌ها هم بالاتر خواهد بود. بر اساس نتایج تحقیق پوریوسف (Pouryousf, 2007) کاهش تعداد و میزان آبیاری، درصد موسیلاژ و فاکتور تورم بذر اسفرزه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. پیرجلیلی و امیدی (Pirjalili and Omidi, 2017) بالاترین فاکتور تورم بذر در گیاه دارویی بالنگو را تحت شرایط تنش متوسط (۶/۵- اتمسفر) گزارش نمودند.

میزان تورم برای هر گرم موسیلاژ

نتایج نشان داد که اثرات متقابل قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک و قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک × اسپرمین بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند و در سایر اثرات اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که بالاترین میزان تورم برای هر گرم موسیلاژ به تیمار Ir3+SA2+Spm2 با ۱۰۵/۶۷ میلی‌لیتر و کم‌ترین میزان آن به تیمار Ir3+SA3+Spm1 با ۶۷/۳۳ میلی‌لیتر مربوط بود (جدول ۶). با توجه به این‌که میزان تورم برای هر گرم موسیلاژ تناسبی از فاکتور تورم بذر و درصد موسیلاژ است، بنابراین افزایش در میزان این صفت می‌تواند به-دلیل افزایش نسبی میزان فاکتور تورم و از طرفی کاهش درصد موسیلاژ باشد. هم‌چنین با توجه به این‌که در شرایط تنش خشکی سهم بیش‌تری از فرآورده‌های فتوسنتزی به تولید ترکیبات اولیه‌ای نظیر پلی‌ساکاریدها اختصاص می‌یابد و نظر به ماهیت پلی-ساکاریدی موسیلاژ و خاصیت هیدروفیلی آن، میزان تورم برای هر گرم موسیلاژ افزایش نشان می‌دهد.



شکل ۲. اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بر میزان فاکتور تورم بذر گیاه اسفرزه

Fig. 2. Interaction between irrigation and salicylic acid on seed swelling factor rate of Isabgol

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر قطع آبیاری، سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر برخی صفات گیاه دارویی اسفرزه

Table 5. Variance analysis effect of cutoff irrigation, salicylic acid and spermine foliar application on some of the traits of Isabgol *(Plantago ovata* Forssk)

S.O.V.	منابع تغییر	درجه آزادی df	درصد موسیلاژ دانه Seed mucilage percentage	عملکرد موسیلاژ دانه Seed mucilage yield	درصد پوسته بذر Seed husk percentage	فاکتور تورم بذر Seed swelling factor	میزان تورم برای هر گرم موسیلاژ Swelling rate per gram mucilage
Replication	تکرار	2	1.19^{ns}	89.19^{ns}	1.125^{ns}	0.13^{ns}	7.46^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	13.6^{**}	2636.24^{**}	8.04^{*}	2.78^{**}	179.68^{*}
Main Error	خطای اصلی	4	0.10	25.63	1.54	0.13	7.82
Salicylic Acid (SA)	اسید سالیسیلیک	2	10.24^{**}	650.24^{**}	18.67^{**}	5.87^{**}	1052.07^{**}
Spermine (S)	اسپرمین	1	0.02^{ns}	824.46^{**}	26.04^{**}	1.18^{ns}	46.30^{ns}
I × SA	آبیاری × اسید سالیسیلیک	4	15.24^{**}	1002.93^{**}	9.79^{**}	1.62^{*}	315.52^{**}
I × S	آبیاری × اسپرمین	2	0.24^{ns}	426.46^{**}	1.79^{ns}	1.25^{ns}	53.68^{ns}
SA × S	اسیدسالیسیلیک×اسپرمین	2	4.24^{ns}	529.46^{**}	8.67^{*}	0.23^{ns}	43.85^{ns}
I × SA × S	آبیاری×اسیدسالیسیلیک×اسپرمین	4	12.46^{**}	495.05^{**}	11.04^{**}	0.46^{ns}	271.91^{**}
Sub Error	خطای فرعی	30	1.40	41.44	2.27	0.424	41.19
CV (%)	ضریب تغییرات	-	*6.90*	*9.39*	*2.30*	*4.93*	*8.19*

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

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1 percent probability levels, respectively.

درصد پوسته بذر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای تلفیقی قطع آبیاری × اسید سالیسیلیک × اسپرمین ازنظر درصد پوسته بذر در سطح احتمال یک درصد با یک-دیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۵). بر اساس مقایسه میانگین بین تیمارها بیش‌ترین درصد پوسته بذر مربوط به تیمار Ir3+SA2+Spm1 با ۷۱ درصد و کم‌ترین آن مربوط به تیمار Ir3+SA1+Spm1 با ۶۳ درصد بود (جدول ۶). مطابق این نتایج، بالاترین درصد پوسته بذر در شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه از محلول‌پاشی برگی اسید

سالیسیلیک با غلظت ۰/۴ میلی‌مولار و در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی از محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۸ میلی‌مولار به‌دست آمد که بیان‌گر تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک در افزایش این صفت است. تاکور و همکاران (Thakur et al., 2012) در آزمایشی که به‌منظور پاسخ خصوصیات کمی و کیفی اسفرزه به تنش خشکی انجام دادند، بالاترین درصد پوسته بذر در شرایط اعمال تنش خشکی قبل از گل‌دهی را معادل ۵۵/۹۷ درصد گزارش کردند.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر قطع آبیاری × سطوح مختلف اسید سالیسیلیک × اسپرمین بر برخی صفات گیاه دارویی اسفرزه

Table 6. Mean comparison of effect of cutoff irrigation × salicylic acid × spermine foliar application on some of the traits of Isabgol *(Plantago ovata* Forssk).

تیمار Treatment		درصد موسیلاژ دانه Seed mucilage	عملکرد موسیلاژ دانه Seed mucilage yield	میزان تورم برای هر گرم موسیلاژ Swelling rate per gram mucilage	پوسته بذر Seed husk
		percent	(kg.ha^{-1})	(ml)	percent
Ir_1	SA_1+Spm_1	18.0ab	92.0ab	78.0d-f	66.0cd
	SA_1+Spm_2	18.7ab	60.0g	70.7e-g	63.5ef
	SA_2+Spm_1	18.0ab	65.0fg	78.0d-f	65.0c-f
	SA_2+Spm_2	19.7a	67.3e-g	73.3e-g	64.5d-f
	SA_3+Spm_1	18.0ab	60.0g	70.3e-g	66.0cd
	SA_3+Spm_2	16.0cd	34.3i	78.0d-f	64.0d-f
Ir_2	SA_1+Spm_1	18.0ab	66.3fg	70.7e-g	64.0d-f
	SA_1+Spm_2	15.0d	65.3fg	84.7cd	64.0d-f
	SA_2+Spm_1	14.3de	45.3h	95.7ab	67bc
	SA_2+Spm_2	18.0ab	61.7g	80.3c-e	65.0c-f
	SA_3+Spm_1	19.0ab	77.3c-e	72.0e-g	68.5b
	SA_3+Spm_2	17.7bc	45.0h	78.0d-f	65.0c-f
Ir_3	SA_1+Spm_1	16.0cd	78.7cd	76.0d-g	63.0f
	SA_1+Spm_2	17.7bc	86.3bc	74.0e-g	66.0cd
	SA_2+Spm_1	15.0d	73.0d-f	89.0bc	71.0a
	SA_2+Spm_2	13.0e	64.3fg	105.7a	66.0cd
	SA_3+Spm_1	17.7bc	94.7ab	67.3g	65.5c-e
	SA_3+Spm_2	18.7ab	97.7a	69.0fg	65.0c-e

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Ir_1: شاهد (عدم تنش)، **Ir_2**: قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی، **Ir_3**: قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه، **SA_1**: عدم مصرف اسید سالیسیلیک (محلول‌پاشی آب)، **SA_2**: محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۴ میلی‌مولار، **SA_3**: محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۸ میلی‌مولار، **Spm_1**: عدم مصرف اسپرمین (محلول‌پاشی آب)، **Spm_2**: محلول‌پاشی اسپرمین با غلظت ۰/۰۲ میلی‌مولار.

Ir_1= control (non-stress), Ir_2= Cutoff irrigation at flowering stage, Ir_3= Cutoff irrigation at seed filling stage; SA_1= No salicylic acid (water spray), SA_2= Salicylic acid spraying at concentration of 0.4 mM, SA_3= Salicylic acid spraying at concentration of 0.8 mM; Spm_1= not using spermine (water spray), Spm_2= Spermine spraying at concentration of 0.02 mM.

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، اعمال تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار خصوصیات کمی و کیفی اسفرزه گردید، درحالی‌که کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک و اسپرمین به‌صورت جداگانه و تلفیقی موجب افزایش میزان صفات موردمطالعه ازجمله؛ وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد پوسته، میزان تورم برای هر گرم موسیلاژ و عملکرد موسیلاژ دانه تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه (تنش متوسط) شد. همچنین بر روی برخی از صفات کیفی گیاه دارویی اسفرزه تحت شرایط تنش شدید نیز تأثیر گذاشت؛ بنابراین این یافته¬ها بیان‌گر آن است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین با غلظت-های مناسب تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند تا حدی از طریق کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر روی رشد گیاه ازجمله محدودیت در جذب آب و عناصر غذایی؛ بر روی بسیاری از خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه تأثیر مثبتی داشته باشد؛ لذا توجه به این‌که کمبود آب و به دنبال آن خشکی مسئله مهمی در تغییرات اقلیمی آینده است؛

بنابراین به نظر می‌رسد، اتخاذ و توسعه استراتژی‌های بقاء به‌منظور افزایش تحمل به تغییرات سریع زیستگاه‌ها امری مهم باشد. در این راستا استفاده از ترکیبات تنظیم‌کننده رشد، تنظیم‌کننده اسمزی و غیره می‌تواند تحمل گیاهان را به تنش‌های غیرزنده ازجمله خشکی افزایش دهد و نقش بسزایی را در جهت نیل به کشاورزی پایدار ایفا نماید.

منابع

Afsharmanesh, B., Afsharmanesh, Gh., Vakili Shahr babaki, M.A., 2008. Effect of water deficit and livestock manure on quantitative and qualitative yield and some physiological characteristics of Plantago ovata Forssk. Journal of Agricultural New Findings. 2(4), 327-337. [In Persian with English summary].

Bruneton, J., 1999. Pharmacognosy and phytochemistry medicinal plants. Techniques and documentation, vol 81, 2nd ed. Lavoisier Publishers, Paris, pp 106–109.

Chakraborty, M.K., Patel, K.V., 1992. Chemical composition of Isabgol (Plantago ovata Forsk) seed. Journal of Food Science, 29, 389-90.

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

Ebrahimzadeh, H., Mirmasuomi, M., Fakhr Tabatabaei, M., 1996. Study of the aspects of mucilage production in several regions of Iran with cultivation isabagol, plantago and psilium. Research and Construction. 33, 46-51. [In Persian with English summary].

Darvizheh, H., Zahedi, M., Abaszadeh, B., Razmjoo, J., 2018. Effects of irrigation regime and foliar application of salicylic acid and spermine on the contents of essential oil and caffeic acid derivatives in Echinacea purpurea L. Journal of Plant Growth Regulation. 37, 1267–1285. https://doi.org/10.1007/s00344-018-9874-z.

Ghasemi Dehkordi, N., 2002. Iranian Herbal Pharmacopeia. Ministry of Health and Medical Education, Food and Drug Administration Publication. Tehran. 795p. [In Persian].

Hara, M., Furukawa, J., Sato, A., Mizoguchi, T., Miura, K., 2012. Abiotic stress and role of salicylic acid in plantsIn: Parvaiza, A., Prasad, M.N.V (eds.), Abiotic Stress Responses in Plants. New York, NY: Springer, Pp. 235-251.

Jamal Omidi, F., Mohajjel Shoja, H., Sariri, R., 2018. Effect of water-deficit stress on secondary metabolites of Melissa officinalis L.: role of exogenous salicylic acid. Caspian Journal of Environmental Science. 16(2), 121-134.

Kalyanasundaram, N.K., Sriram, S., patel, B.R., Patel, R.B., Patel, D.H., Dalal, K.C., Gupta, R., 1984. Psyllium: a monopoly of Gujarat. Indian Journal of Horticulture, 28, 35-37.

Kang, G., Li, G., Xu, W., Peng, X., Han, Q., Zhu, Y., et al. 2012. Proteomics reveals the effects of salicylic acid on growth and tolerance to subsequent drought stress in wheat. Journal of Proteome Research. 11, 6066–6079.

Kaur-Sawhney, R., Tiburcio, A.F., Galston, A.W., 2003. Polyamines in plants: An overview. Journal of Cell and Molecular Biology. 2, 1-12.

Liu, M., Chen, J., Guo, Z., Lu, SH., 2017. Differential responses of polyamines and antioxidants to drought in a Centipedegrass Mutant in comparison to its wild type plants. Frontiers in Plant Science. 8, 792.

Mardani Karani, F., 2013. The Effect of vermicompost on growth and mucilage content and coping with the death of plant in Isabagol. Master's Thesis. Shahrekord University. [In Persian].

Moosavinick, M., 2012. Effect of different levels of sulfur fertilizer on quantitative and qualitative performance of Plantago ovate L. in drought stress conditions in Balochistan region. Journal of Agroecology. 4(2), 170-182. [In Persian with English summary].

Mustafavi, S.H., Shekari, F., Nasiri, Y., Hatami-Maleki, H., 2015. Nutritional and biochemical response of water-stressed valerian plants to foliar application of spermidine. Biological Forum–An International Journal. 7(1), 1811-1815.

Omidbaigi, R., 2005. Production and Processing of Medicinal Plants. Astane Quds Publication. Tehran. 438p. [In Persian].

Parvin, S., Lee, O.R., Sathiyaraj, G., Khorolragchaa, A., Kim, Y.J., Yang, D.C., 2014. Spermidine alleviates the growth of saline-stressed ginseng seedlings through antioxidative defense system. Elsevier B.V. 537(1), 70-80.

Pirjalili, F., Omidi, H., 2017. Effects of drought stress on grain yield and qualitative characteristics of three populations of *Lallemantia royleana* Benth. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 33(1), 25-38. [In Persian with English summary].

Pouryousf, M., 2007. The effect of soil fertilizing systems (organic and inorganic) on nutrients content, yield, yield components and mucilage of isabgol (*Plantago ovata*) under different irrigation regimes. PhD. Thesis in Agronomy. Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran. [In Persian].

Rahimi, A., Madah Hoseini, S., Sajjadinia, A.R., Roosta, H.R., Fateh, E., 2011. Water use and water-use efficiency of isabgol (*Plantago ovata*) and French psyllium (*Plantago psyllium*) in different irrigation regimes. Australian Journal of Crop Science. 5(1), 71-77.

Ramroudi, M., Galavi, M., Siahsar, B.A., Allahdo, M., 2011. Effect of micronutrient and irrigation deficit on yield and yield components of isabgol (*Plantago ovata* Forsk) using multivariate analysis. Journal of Food, Agriculture and Environment. 9(1), 247-251.

Razavizadeh, R., Shafeghat, M., Najafi, Sh., 2017. Effect of water deficit on morphological and physiological parameters of *Carum copticum*. Iranian Journal of Plant Biology. 6(22), 25-38. [In Persian with English summary].

Rezaichianah, A., Pirzad, A.S., 2014. Effect of salicylic acid on yield, yield components and essential oil of *Nigella sativa* L. under drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research. 12(3), 427-437. [In Persian with English summary].

Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., Dixon, K., 2000. Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation. 30, 157–161.

Serrano, M., Martines-Romero, D., Castillo, S., Guillen, F., Velero, D., 2004. Role of calcium and heat treatmens in alleviating physiological changes induced mechanical damage in plum. Postharvest Biology and Technology. 34, 155-167.

Shaoyun, L., Su, W., Li, H., Guo, H., 2009. Abscisic acid improves drought tolerance of triploid bermudagrass and involves H_2O_2 and NO-induced antioxidant enzyme activities. Plant Physiology and Biochemistry. 47, 132-138.

Shi, H., Tiantian, Y., Zhulong, C., 2014. Comparative proteomic responses of two bermudagrass (*Cynodon dactylon* L). Pers. varieties contrasting in drought stress resistance. Plant Physiology and Biochemistry. 82, 218-228.

Takahashi, T., Kakehi, J.I., 2010. Polyamine: Ubiquitous polycations with unique roles in growth and stress responses. Annals of botany. 105, 1-6.

Thakur, A., Upadhyaya, S.D., Upadhyay, A., Preeti, S.N., 2012. Responses of moisture stress on growth, yield and quality of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk). Journal of Agricultural Technology. 8(2), 563-570.

Thanki, R.J., Talati, J.G., 1983. Review of work done on quality evaluation on isabgol seed at Anand. Presented at V All India Workshop on Medicinal and Aromatic Plants held at Solan, Himachal Pradesh.

Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A., Abbassi, F., 2011. The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of Satureja hortensis. African Journal of Agricultural Research. 6, 798-807.

Yordanov, V., Tsoev, T., 2000. Plant responses to drought, acclimation and stress tolerance. Photosynthica. 38, 171-186.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 2, pp. 503-517
Summer 2020
http://dx.doi.org/ 10.22077/escs.2019.1948.1474

Original article

The response of quantitative and qualitative characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.) to foliar application of salicylic acid and spermine under drought stress conditions

A. Roumani[1*], A. Biabani[2], A. Rahemi Karizaki[3], E. Gholamalipour Alamdari[3], A. Gholizadeh[3]

1. PhD. Student Crop Physiology, Department of Crop Production, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Golestan, Iran
2. Associate Professor, Department of Crop Production, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Golestan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Crop Production, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Golestan, Iran

Received 10 October 2018; Accepted 22 December 2018

Abstract

In order to investigate the effect of drought stress on qualitative and quantitative characteristics of isabgol herb, current study was carried out as a split plot factorial experiment based on a randomized complete block design with 18 treatments and three replications, in research field of the Gonbad Kavous University, Golestan, Iran in winter 2016. In this experiment, the treatment of irrigation (control (non-stress), irrigation cutoff at flowering stage and irrigation cutoff at seed filling stage) was the main-plot and factorial of salicylic acid (zero, 0.4 and 0.8 mM), spermine spraying (zero and 0.02 mM) was as a sub-plot. The studied traits include: spike length, number of seeds per plant, number of tiller per plant, 1000-seed weight, biological yield, seed yield, harvest index, seed mucilage percentage, seed mucilage yield, seed swelling factor, swelling rate per gram mucilage and seed husk percent. Analysis of variance of data showed that in most of the characteristics (except number of tiller per plant, number of seeds per plant and seed swelling factor), the interaction effects of irrigation cutoff, salicylic acid and spermine, were significant at 1 or 5 percentage confidence levels. According to the results of the experiment, the highest seed yield (540.8 kg/ha^{-1}) and biological yield (2795 kg/ha^{-1}) were observed in the treatment 0.8 mM salicylic acid spraying at irrigation interruptions at seed filling stage. The maximum amount of seed mucilage (19.7%) and swelling rate per gram mucilage (105.7 ml) obtained foliar spraying 0.4 mM salicylic acid and 0.02 mM spermine in non-stress condition and irrigation interruptions at seed filling stage, respectively. According to the findings of the experiment, it can be concluded that the foliar application of the isabgol herb with salicylic acid and spermine with appropriate concentrations can be considered as an effective step to reduce the adverse effects of water stress.

***Keywords*:** Isabgol, Mucilage, Polyamines compounds, Seed swelling factor, Water deficit.

[*]Correspondent author: Azam Roumani; E-Mail: azamroumani2012@gmail.com