Archive of SID

مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2021.351603.2853

جلد ۳۷، شماره ۱، صفحه ۱۶۱-۱۴۵ (۱۴۰۰) | شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1400.37.145.105.1.1578.1610

تأثیر نانوکود روی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) در شرایط تنش خشکی

هوشنگ حیدرنژادیان[۱]، عباس ملکی[۲*] و فرزاد بابایی[۳]

۱- دانشجوی دکترای زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

پست الکترونیک: maleki97@yahoo.com

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۹ | تاریخ اصلاح نهایی: دی ۱۳۹۹ | تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۹

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی، محلول‌پاشی نانوکود روی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) آزمایشی در دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در استان همدان، شهرستان رزن، روستای سلطان‌آباد به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی بود که به‌ترتیب در سطوح مذکور آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. عامل فرعی شامل نانوکود در دو سطح (بدون کود و محلول‌پاشی نانوکود روی) با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در چهار سطح (صفر، دو، چهار و شش میلی‌مولار) بود که به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفت. تنش خشکی سبب کاهش تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک، وزن هزاردانه و عملکرد دانه و افزایش درصد اسانس شد. بیشترین تعداد چترک در چتر از تیمار تنش خشکی ۱۰۰ میلی‌متر، همراه با کاربرد نانوکود روی و اسیدسالیسیلیک با غلظت چهار میلی‌مولار بدست آمد. کاربرد نانوکود روی در سطوح آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متری به‌ترتیب سبب افزایش ۱۴، ۵/۳ و ۴/۵ درصد عملکرد دانه شد. غلظت شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین درصد اسانس (۲/۸٪) را داشت. کاربرد نانوکود روی در سطوح آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متری به‌ترتیب سبب افزایش ۶، ۲/۹ و ۹/۹ درصدی میزان اسانس شد.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده‌های رشد، درصد اسانس، عناصر غذایی کم‌مصرف، گیاه دارویی، محلول‌پاشی.

مقدمه

رازیانه با نام علمی (*Foeniculum vulgare*) یکی از گیاهان دارویی چندساله و معطر از تیره چتریان و بومی مناطق مدیترانه‌ایست (Barros *et al.*, 2010). محصول این گیاه کاربردهای متنوعی از نظر دارویی داشته و اهمیت ویژه‌ای در صنایع غذایی و محصولات آرایشی و بهداشتی دارد (Diao *et al.*, 2014؛ Moser *et al.*, 2014؛ Rather *et al.*, 2016). علاوه‌بر اسانس، رازیانه حاوی لیپیدها و

www.SID.ir

Archive of SID

فیتواسترول‌هایی است که در صنعت کاربرد دارند (Barros *et al*., 2010؛ Nguyen *et al*., 2015). گزارش‌های زیادی از تأثیرات بیولوژیکی اسانس رازیانه گزارش شده است که از بین آنها می‌توان به اثرهای محافظت‌کننده کبدی، آنتی‌اکسیدانی، ضدتوموری، ضددیابتی، ضدالتهابی، ضدقارچی، ضدمیکروبی و ضدباکتریایی اشاره کرد (Diao *et al*., 2014).

تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که تأثیرات زیادی بر رشد، عملکرد، کمّیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی دارد (Laribi *et al*., 2009؛ Rebey *et al*., 2012). عملکرد و مواد مؤثره گیاهان دارویی واکنش‌های متفاوتی نسبت به تنش خشکی دارند (Pirbalouti *et al*., 2014). به گزارش برخی محققان تنش‌های محیطی سبب افزایش سطوح متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی می‌شود (Amiri *et al*., 2017). از آنجا که رازیانه نسبت به تنش‌های محیطی نسبتاً مقاوم است، گیاه دارویی مناسبی برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است تا بتوان با مشکل کم‌آبی فزاینده مقابله نمود (Askari & Ehsanzadeh, 2015).

روی عنصر کم مصرف بسیار مهمی است که وجود آن برای فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان ضروری و کمبود آن در بسیاری از محصولات متداول است (Marschner, 2012؛ Ojeda-Barrios *et al*., 2014). روی جزء ساختارهای آنزیم‌های مختلف یا کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌هاست و نقش مهمی در تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها، متابولیسم نیتروژن، ساخته شدن تریپتوفان و فعالیت آنزیم کربنیک‌انهیدراز دارد و کمبود آن می‌تواند باعث عدم توازن عناصر غذایی در گیاه، کاهش بازدهی مصرف آب، تغییر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و آسیب به ساختار دانه‌های گرده شده و در نهایت کاهش کمّیت و کیفیت محصول را در پی داشته باشد (Pandey *et al*., 2006؛ Sadeghzadeh, 2013؛ Fang *et al*., 2008). طی چهار دهه گذشته، با وجود تلاش‌های زیاد، کارآیی استفاده از عناصر غذایی محصولات کشاورزی که نسبت کیلوگرم ماده خشک گیاه بر کیلوگرم عنصر غذایی مصرف شده است، ثابت باقی‌مانده است (Subramanian *et al*., 2015). نگرانی‌های مربوط به کارایی کم کودهای مرسوم (حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد) و گزینه‌های مدیریتی اندک برای بهبود آن ضرورت کاربرد نانوفناوری را آشکار می‌کند (DeRosa *et al*., 2010). استفاده از نانوفناوری در تولید کودها ممکن است موجب رهایش بهینه و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی موجود در کود شود (Khot *et al*., 2012). البته اثرهای مثبت عنصر روی بر عملکرد دانه گیاهان در تحقیقات مختلف گزارش شده است (Daghan *et al*., 2013؛ Said-Al Ahl & Mahmoud, 2010؛ Mahdieh *et al*., 2018).

به‌منظور بهبود رشد کمّی و کیفی گیاهان دارویی، امروز از انواع تنظیم‌کننده‌های گیاهی استفاده می‌شود. اسیدسالیسیلیک و مشتقات آن ازجمله ترکیب‌هایی هستند که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی عمل نموده و در شرایط تنش می‌توانند گیاه را محافظت نمایند (Miura & Tada, 2014). اسیدسالیسیلیک به‌عنوان یک ماده شبه‌هورمونی نقش مهمی در تنظیم رشد و نمو گیاه (Amin *et al*., 2013)، فتوسنتز، هدایت‌روزنه‌ای و تعرق و مقاومت در برابر تنش‌ها (Hayat *et al*., 2010؛ Khan *et al*., 2015؛ Yavas & Unay, 2016) دارد. افزایش عملکرد دانه با کاربرد اسید سالیسیلیک روی سویا (Razmi *et al*., 2017)، ارزن (Kolupaev *et al*., 2011) و آفتابگردان (Hussain *et al*., 2009) گزارش شده است.

با توجه به محدودیت منابع آب در کشور، اهمیت تولید گیاهان دارویی متحمل و اثرهای مثبت احتمالی عنصر روی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد آن، هدف از این تحقیق بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس رازیانه تحت تنش خشکی با کاربرد توأم سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و نانوکود روی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو سال متوالی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در

www.SID.ir

Archive of SID

استان همدان، شهرستان رزن، بخش سردرود، روستای سلطان‌آباد به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی بود که به‌ترتیب در سطوح مذکور آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. عامل فرعی شامل نانوکود در دو سطح (بدون کود و محلول‌پاشی نانوکود روی) با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (ساخت مرک آلمان با خلوص ۹۲٪) در چهار سطح (عدم مصرف، دو، چهار و شش میلی‌مولار) بود که به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفت. بذر گیاه رازیانه از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. ابعاد هر کرت فرعی ۲×۴ مترمربع، فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. کاشت در اردیبهشت‌ماه به‌صورت دستی و عمق کاشت ۲-۱/۵ سانتی‌متر انجام شد. قبل از کاشت، بذرها برای افزایش درصد جوانه‌زنی به مدت ۴۸ ساعت در آب خیس شدند تا مواد بازدارنده جوانه‌زنی که در پوسته بذر وجود دارند، حل شده و از بین بروند. با توجه به اینکه رشد اولیه بوته‌های رازیانه بسیار کُند است، وجین دستی علف‌های‌هرز در مراحل اولیه انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذرها انجام شد. گیاهان تا مرحله سه‌برگی به‌طور منظم و یکنواخت آبیاری شدند. بعد از استقرار کامل گیاهان، به‌منظور اعمال تیمارهای تنش خشکی، آبیاری براساس میزان تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A در کرت‌ها انجام گردید. محلول‌پاشی اسید سالیسیلک در غلظت‌های ذکر شده و محلول‌پاشی نانوکود روی (۱۲٪) توسط سم‌پاش دستی با غلظت یک و نیم در هزار در دو مرحله بعد از سبز شدن و مرحله گلدهی انجام شد. این کود دارای پایه هیدروکربنی ساده و فاقد اتیلن بوده و از شرکت صدور احرار شرق تهیه گردید. قبل از اجرای آزمایش نمونه خاک به‌صورت تصادفی از زمین محل اجرای آزمایش برداشت و برای تعیین خصوصیات خاک به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. همچنین برخی اطلاعات آب و هوایی دو سال آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	درصد اشباع	هدایت‌الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	کربن آلی (٪)	ازت کل (٪)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)
لوم رسی	۵۷	۰/۹۵	۷/۱۲	۰/۳	۰/۳	۸/۵	۳۰۰

جدول ۲- برخی اطلاعات هواشناسی محل آزمایش در دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

سال	میانگین تبخیر-تعرق	میانگین رطوبت حداکثر (٪)	میانگین رطوبت حداقل (٪)	میانگین بارش (mm)	دمای سطح خاک (°C)	میانگین درجه حرارت (°C)	حداقل درجه حرارت (°C)	حداکثر درجه حرارت (°C)
۱۳۹۷	۸/۴۳	۵۷/۰۷	۲۶/۶۶	۱/۳۰	۱۰/۲۰	۱۸/۵۶	۱۰/۶۸	۲۶/۴۶
۱۳۹۸	۹/۷۴	۵۴/۷۵	۲۲/۸۶	۰/۴۳	۱۰/۲۹	۱۸/۶۶	۱۰/۳۸	۲۶/۸۰

www.SID.ir

Archive of SID

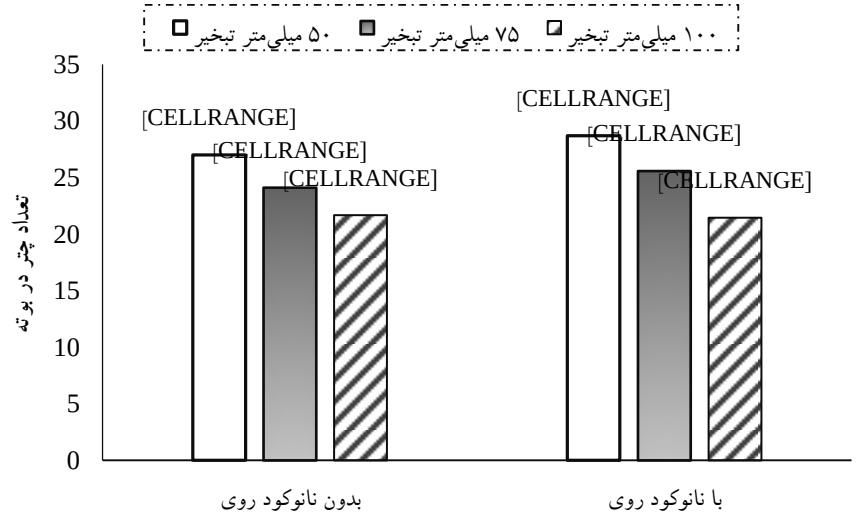
صفات مورد مطالعه شامل تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در هر چتر، تعداد دانه در هر چترک، وزن هزاردانه و عملکرد دانه بودند. در پایان رشد و زمان برداشت برای تعیین مقدار صفات مورد بررسی از هر کرت ۱۰ بوته انتخاب شد که تعداد چتر در هر بوته، تعداد چترک در هر چتر و تعداد بذر در هر چترک اندازه‌گیری گردید و میانگین آنها برای هر کرت بدست آمد. برای تعیین وزن هزاردانه، از هر کرت ۵ نمونه صدتایی بذر انتخاب و میانگین وزن آنها به‌عنوان وزن هزاردانه انتخاب گردید. برای تعیین عملکرد نهایی در هر کرت نمونه‌برداری توسط کوادرات ۱×۱ مترمربع به‌صورت تصادفی و با حذف اثر حاشیه از داخل کرت‌ها انجام شد. مقدار ۵۰ گرم از دانه تولید شده در هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و توسط دستگاه کلونجر با استفاده از روش تقطیر با آب، اسانس آن اندازه‌گیری شد. به این منظور هر نمونه ابتدا کاملاً آسیاب شد و بعد درون بالن یک لیتری ریخته شد و ۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید، سپس به مدت ۴ ساعت در دستگاه کلونجر قرار داده شد و پس از رطوبت‌زدایی آب آن توسط سولفات‌سدیم، درصد اسانس تعیین شد.

قبل از تحلیل‌های آماری و تجزیه واریانس، آزمون توزیع نرمال داده‌ها و خطاها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام شد. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی (آزمون بارتلت) انجام شد. سپس در صورت همگن بودن واریانس‌ها، داده‌های دو سال توسط نرم‌افزار SAS ورژن 9.4 مورد تجزیه مرکب قرار گرفتند. برای مقایسات میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج

تعداد چتر در بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرهای ساده سال، تنش خشکی، نانوکود روی و اسید سالیسیلیک و نیز اثر متقابل تنش خشکی و نانوکود روی بر تعداد چتر در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که در سال اول آزمایش تعداد چتر در بوته بالاتر از سال دوم بوده است که بیانگر تفاوت اقلیمی (دما و بارندگی) دو سال آزمایش است (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانوکود روی نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی تعداد چتر در بوته کاهش یافت (شکل ۱). اما کاربرد نانوکود روی در سطوح خشکی ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر به‌ترتیب سبب افزایش ۶/۳ و ۶/۱ درصدی تعداد چتر در بوته گردید. در حالی‌که در سطح تنش خشکی ۱۰۰ میلی‌متر کاربرد نانوکود روی تأثیری بر تعداد چتر در بوته نداشت (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانوکود روی بر تعداد چتر در بوته رازیانه

www.SID.ir

Archive of SID

بیشترین تعداد چتر در بوته در تیمار ۵۰ میلی‌متر و کاربرد نانوکود روی مشاهده شد (شکل ۱). مقایسه میانگین اثر ساده اسید سالیسیلیک نشان داد که کاربرد این هورمون سبب افزایش تعداد چتر در بوته گردید (جدول ۴). غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۴).

تعداد چترک در چتر

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرهای ساده سال، تنش خشکی، نانوکود روی و اسید سالیسیلیک و نیز اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل نانوکود روی و اسید سالیسیلیک و نیز اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی، نانوکود روی و اسید سالیسیلیک بر تعداد چترک در چتر معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که در سطوح مختلف تنش خشکی پاسخ گیاه نسبت به تیمارهای نانوکود روی و اسید سالیسیلیک مشابه نبود. در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر کاربرد نانوکود روی و اسید سالیسیلیک سبب افزایش تعداد چترک در چتر شد. اما در تیمار تنش خشکی شدید (۱۰۰ میلی‌متر) چنین روندی مشاهده نشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی، نانوکود روی و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات رازیانه

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد چتر در بوته	تعداد چترک در چتر	تعداد دانه در چترک	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	درصد اسانس
سال	۱	۱۷/۵۸*	۱۰/۱۴*	۶/۴۰**	۲/۰۵**	۹۸۰۰۹/۰۷*	۰/۴۹۳۵**
بلوک (سال)	۴	۱۰۷/۵۸	۳۹/۷۴	۲۹/۰۶	۴/۵۳	۹۳۷۷۰/۴۸	۱/۲۹۱۷
تنش خشکی	۲	۴۷۳/۹۱**	۶/۳۰*	۱۵/۶۰**	۱۰/۹۲**	۱۶۳۸۱۸۱/۵۶**	۶/۱۱۵۷**
سال × تنش خشکی	۲	۰/۲۲ns	۰/۳۳ns	۰/۷۷ns	۰/۳۲ns	۲۰۲/۳۰ns	۰/۰۰۱۰ns
خطا	۸	۹/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۱۳ns	۵۴۱۷۹/۶۰	۰/۰۳۴۶
روی	۱	۳۴/۹۲**	۳۰/۴۶**	۱۲/۴۹**	۰/۸۴*	۳۰۷۵۷۲/۲۹**	۰/۹۱۶۸**
سال × روی	۱	۰/۰۰۲ns	۰/۰۱ns	۰/۵۱ns	۰/۰۴ns	۱۱۱۷/۲۵ns	۰/۰۰۱۷ns
روی × تنش خشکی	۲	۱۲/۹۰*	۴/۲۶ns	۰/۸۱ns	۱/۸۶**	۷۳۰۱۸/۳۹*	۰/۱۲۴۱**
سال × روی × تنش خشکی	۲	۰/۳۲ns	۰/۵۷ns	۱/۱۱*	۰/۸۱**	۱۱۵۱/۷۱ns	۰/۰۰۰۵ns
اسید سالیسیلیک	۳	۲۲/۲۸**	۲۰/۴۸**	۳/۱۴**	۰/۳۲ns	۷۳۰۹۱/۴۷*	۱/۱۷۰۵**
سال × اسید سالیسیلیک	۳	۰/۰۴ns	۰/۰۱ns	۰/۰۴ns	۰/۰۱ns	۱۴/۹۸ns	۰/۰۰۰۶ns
تنش خشکی × اسید سالیسیلیک	۶	۰/۵۸ns	۸/۴۷**	۰/۰۸ns	۱/۰۳**	۷۲۱۱/۸۵ns	۰/۰۱۷۳ns
سال× تنش خشکی × اسید سالیسیلیک	۶	۰/۱۷ns	۰/۱۳ns	۰/۱۷ns	۰/۱۷ns	۳۱/۶۸ns	۰/۰۰۰۵ns
روی × اسید سالیسیلیک	۳	۰/۰۲ns	۱۰/۴۲**	۰/۷۱ns	۰/۱۶ns	۷۶۸۳/۸۸ns	۰/۰۰۷۲ns
سال × روی × اسید سالیسلیک	۳	۰/۰۳ns	۰/۱۴ns	۰/۰۷ns	۰/۱۹ns	۱۲۸/۶۰ns	۰/۰۰۰۱ns
تنش خشکی × روی× اسید سالیسیلیک	۶	۰/۷۸ns	۹/۰۲**	۰/۳۲ns	۰/۰۴ns	۳۸۹۴/۶۲ns	۰/۰۰۸۰ns
سال × تنش خشکی× روی× اسید سالیسیلیک	۶	۰/۱۲ns	۰/۰۶ns	۰/۰۳ns	۰/۰۶ns	۲۲/۲۸ns	۰/۰۰۰۶ns
خطا	۸۴	۴/۱۳	۱/۷۲	۰/۳۰	۰/۱۴	۲۳۲۹۸/۷	۰/۰۱۳
ضریب تغییرات		۸/۲۲	۱۲/۱۰	۵/۴۵	۹/۰۶	۱۴/۸۰	۴/۴۰

*، ** و ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و عدم اختلاف معنی‌دار

www.SID.ir

Archive of SID

بیشترین تعداد چترک در چتر از تیمار تنش خشکی ۱۰۰ میلی‌متر، همراه با کاربرد نانوکود روی و اسید سالیسیلیک با غلظت چهار میلی‌مولار بدست آمد (شکل ۲).

تعداد دانه در چترک

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرهای ساده سال، تنش خشکی، نانوکود روی و اسید سالیسیلیک و نیز اثر متقابل سه‌گانه سال، تنش خشکی و نانوکود روی بر تعداد دانه در چترک معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه سال، تنش خشکی و نانوکود روی در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که به‌طور کلی کاربرد نانوکود روی سبب افزایش تعداد دانه در چترک گردید. تنها استثناء در این میان تیمار تنش خشکی ۱۰۰ میلی‌متر در سال دوم آزمایش بود که در آن کاربرد نانوکود روی تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در چترک نداشت (شکل ۳). بیشترین میزان افزایش در اثر کاربرد نانوکود روی در سطح تنش خشکی ۷۵ میلی‌متر تبخیر در هر دو سال آزمایش مشاهده شد (شکل ۳). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین تعداد دانه در چترک در تیمار با غلظت‌های چهار و شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۴).

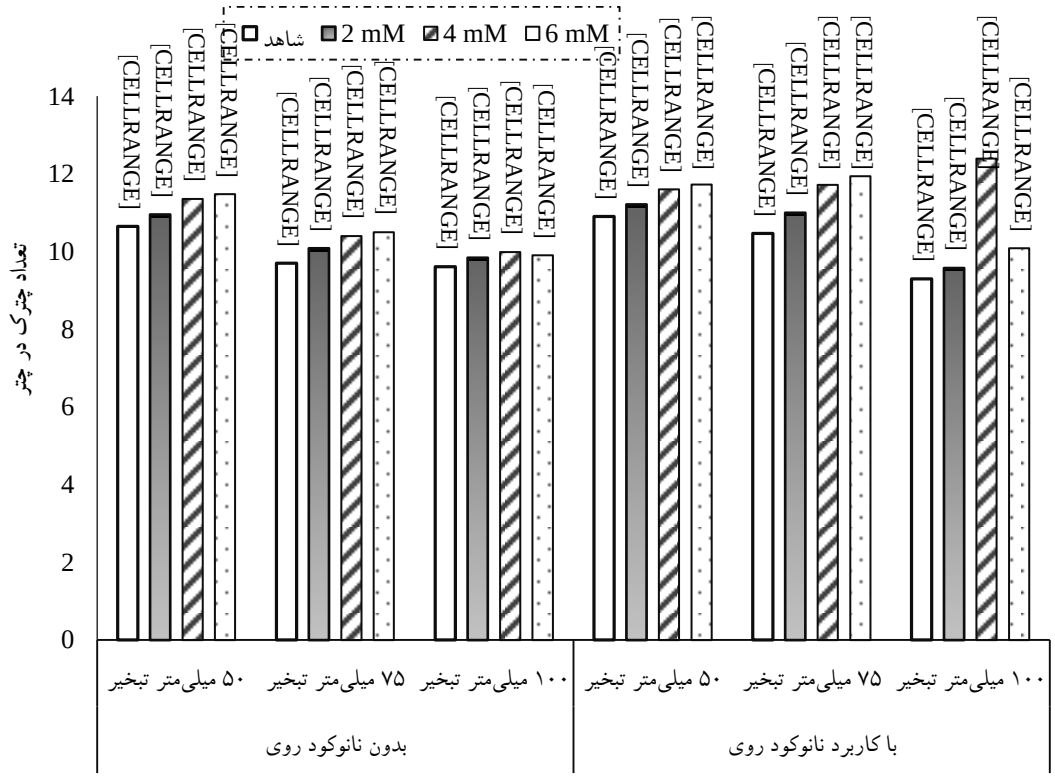
جدول ۴- مقایسه میانگین اثرهای ساده سال، تنش خشکی، نانوکود روی و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات رازیانه

تیمار	تعداد چتر در بوته	تعداد چترک در چتر	تعداد دانه در چترک	وزن هزاردانه (g)	عملکرد دانه ($Kg.ha^{-1}$)	درصد اسانس (٪)
سال						
۱۳۹۷	۱۰/۲۵a	۵۷/۱۰b	۹/۸۶b	۴/۰۳b	۱۰۰۴/۹b	۲/۵۳b
۱۳۹۸	۲۴/۴۳b	۱۱/۱۰a	۱۰/۲۷a	۴/۲۷a	۱۰۵۷/۱a	۲/۶۴a
تنش خشکی						
۵۰ میلی‌متر تبخیر	۲۷/۸۵a	۱۱/۲۴a	۱۰/۵۹a	۴/۵۵a	۱۲۰۷/۴a	۲/۲۰c
۷۵ میلی‌متر تبخیر	۲۴/۸۴b	۱۰/۷۳ab	۱۰/۱۴b	۴/۲۷b	۱۰۴۶/۶b	۲/۶۶b
۱۰۰ میلی‌متر تبخیر	۲۴/۵۶c	۱۰/۵۴b	۹/۴۶c	۳/۶۲c	۸۳۸/۹c	۲/۹۱a
کاربرد روی						
بدون روی	۲۴/۲۶b	۱۰/۳۷b	۹/۷۷b	۴/۰۷b	۹۸۴/۸b	۲/۵۱b
با روی	۲۵/۲۴a	۱۱/۳۰a	۱۰/۳۶a	۴/۲۲a	۱۰۷۷/۲a	۲/۶۶a
اسید سالیسیلیک						
شاهد (صفر)	۲۳/۶۴b	۱۰/۱۱c	۹/۷۰b		۹۶۸/۲b	۲/۳۸d
۲ mM	۲۴/۷۳a	۱۰/۴۵bc	۹/۹۵b		۱۰۳۰ab	۲/۵۲c
۴ mM	۲۵/۳۰a	۱۱/۸۴a	۱۰/۲۳a		۱۰۵۵/۲a	۲/۶۵b
۶ mM	۲۵/۳۲a	۱۰/۹۴b	۱۰/۳۷a		۱۰۷۰/۵a	۲/۸۰a

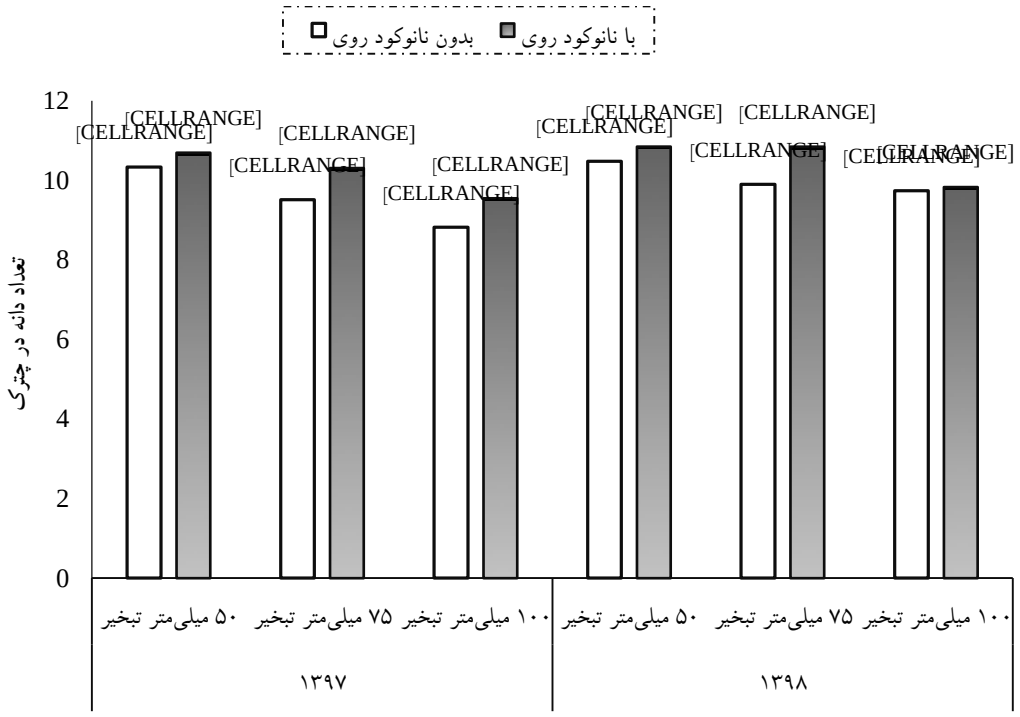
اعداد با حروف مشابه در هر قسمت اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، نانوکود روی و اسید سالیسیلیک بر تعداد چترک در چتر رازیانه



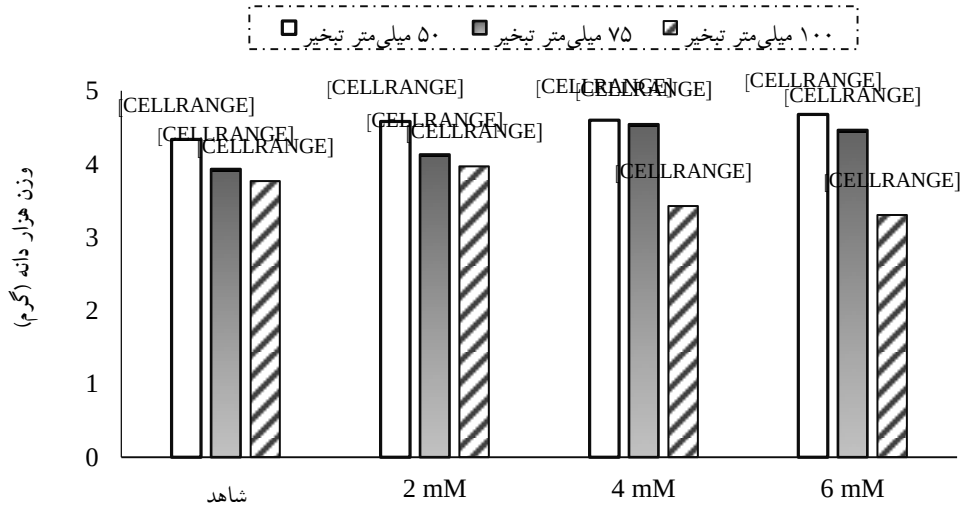
شکل ۳- اثر متقابل سال، تنش خشکی و نانوکود روی بر تعداد دانه در چترک رازیانه

www.SID.ir

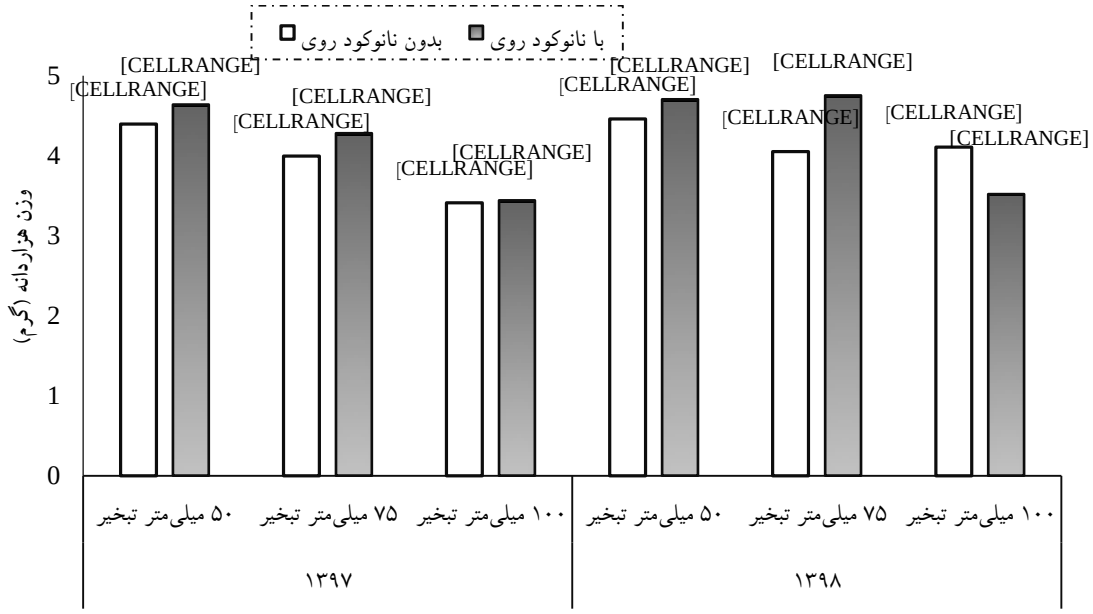
Archive of SID

وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرهای ساده سال، تنش خشکی و نانوکود روی و نیز اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل سه‌گانه سال، تنش خشکی و نانوکود روی بر وزن هزاردانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک نشان داد که تنش خشکی میانگین وزن هزاردانه را در تمامی سطوح تنش خشکی کاهش داد (شکل ۴). اما کاربرد اسید سالیسیلیک اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی را بر وزن هزاردانه کاهش داد. به‌طوری که بیشترین وزن هزاردانه از تیمار کاربرد شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در سطح ۵۰ میلی‌متر بدست آمد. اما کمترین وزن هزاردانه در تیمارهای کاربرد غلظت‌های چهار و شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در تنش خشکی شدید (۱۰۰ میلی‌متر) مشاهده شد (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر وزن هزاردانه رازیانه



شکل ۵- اثر متقابل سال، تنش خشکی و نانوکود روی بر وزن هزاردانه رازیانه

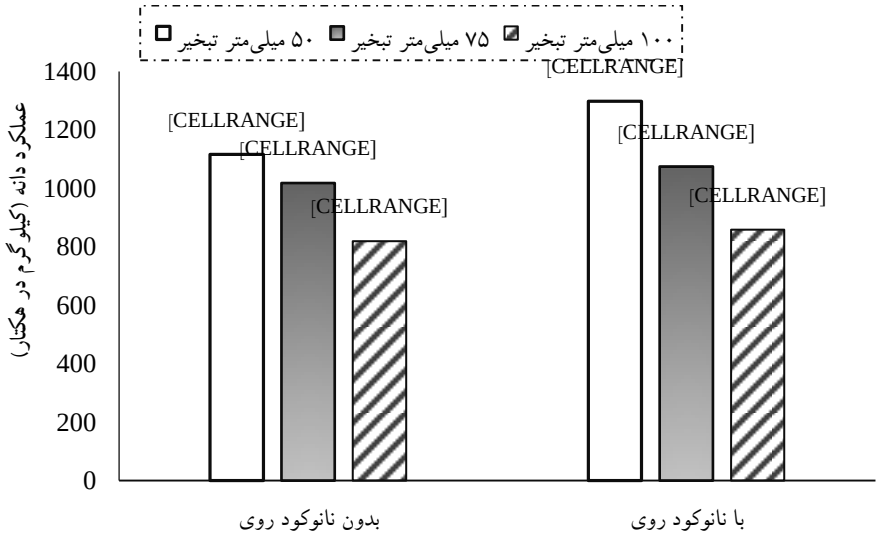
www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۵ مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه سال، تنش خشکی و نانوکود روی را بر وزن هزاردانه نشان می‌دهد. کاربرد نانوکود روی در تیمارهای تنش خشکی ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر سبب افزایش وزن هزاردانه در هر دو سال آزمایش گردید (شکل ۵). اما در تیمار تنش خشکی ۱۰۰ میلی‌متر این روند افزایشی مشاهده نشد.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرهای ساده سال، تنش خشکی، نانوکود روی و اسید سالیسیلیک و نیز اثر متقابل تنش خشکی و نانوکود روی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرهای ساده در جدول ۴ نشان داد که در عملکرد دانه در سال دوم آزمایش ۵٪ بالاتر از سال اول بود. همچنین مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد اسید سالیسیلیک نشان داد که غلظت شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با ۱۰۷۰/۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشت که البته با غلظت چهار میلی‌مولار در یک گروه آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانوکود روی نشان داد که به‌طور کلی با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد دانه کاهش یافت و کاربرد نانوکود روی سبب افزایش عملکرد دانه شد. اما میزان این افزایش در سطوح مختلف تنش خشکی مشابه نبود. به‌طوری که در سطوح تنش خشکی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متری کاربرد نانوکود روی به‌ترتیب سبب افزایش ۱۴، ۵/۳ و ۴/۵ درصدی عملکرد دانه شد (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانوکود روی بر عملکرد دانه رازیانه

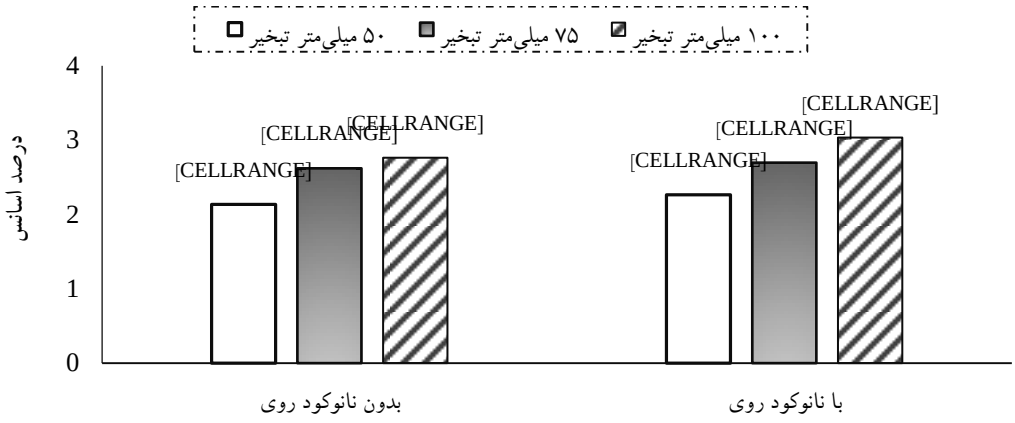
درصد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرهای ساده سال، تنش خشکی، نانوکود روی و اسید سالیسیلیک و نیز اثر متقابل تنش خشکی و نانوکود روی بر درصد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که در سال دوم آزمایش درصد اسانس بالاتر از سال اول بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد اسید سالیسیلیک نشان داد که غلظت شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین درصد اسانس (۲/۸٪) را دارا بود (جدول ۴). با توجه به جدول ۳ بیشترین درصد اسانس در تیمار تنش خشکی ۱۰۰ میلی‌متر بود که کمترین عملکرد دانه را داشت. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانوکود روی نشان داد که به‌طور کلی با افزایش شدت تنش خشکی درصد اسانس رازیانه افزایش یافت. اما میزان

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش درصد اسانس نسبت به شاهد، در سطح تنش خشکی ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متری به‌ترتیب ۲۱٪ و ۳۲٪ بود (شکل ۲). همچنین کاربرد نانوکود روی در سطوح تنش خشکی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متری به‌ترتیب سبب افزایش ۶، ۲/۹ و ۹/۹ درصدی میزان اسانس شد (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانوکود روی بر درصد اسانس رازیانه

بحث

در این تحقیق سطوح مختلف تنش خشکی سبب کاهش اجزای عملکرد رازیانه شد. کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ و کاهش تعداد چتر در بوته در اثر تنش خشکی را احتمالاً می‌توان به اختلال در فتوسنتز و کاهش محصولات فتوسنتزی برای انتقال به بخش‌های در حال رشد گیاه و همچنین کاهش تورژسانس نسبت داد. نتایج این تحقیق با یافته‌های برخی محققان در گیاه پونه معطر و رازیانه که بیان کردند در شرایط تنش خشکی ارتفاع بوته، سطح برگ و تعداد چتر در بوته کاهش می‌یابد، مطابقت داشت (Hassanpour & Niknam, 2014؛ Moosavi *et al.*, 2014). تعداد چتر در گیاه به میزان رشد رویشی گیاه بستگی داشته و به گزارش Amirinejad و همکاران (۲۰۱۵) کاهش رشد رویشی در اثر تنش خشکی اعمال شده قبل از گلدهی منجر به کاهش تعداد چتر در گیاه زیره‌سبز شد. افزایش تعداد چتر در هر بوته وابسته به افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گل‌دهنده در بوته است. فعالیت مریستم‌های جانبی برای تولید شاخه‌های جانبی به میزان مواد پرورده و فعالیت هورمون‌ها بستگی دارد (Farhangi & Arshad, 2018). از آنجا که عنصر روی در تولید کلروفیل نقش دارد، از طریق تأثیر بر فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات‌ها میزان مواد پرورده را بهبود می‌دهد. از سوی دیگر روی باعث افزایش تولید هورمون اکسین می‌گردد (Singh *et al.*, 2013) و هورمون‌های اکسین و سیتوکنین رشد و فعالیت مریستم‌های جانبی را تنظیم می‌کنند (Salvucci *et al.*, 2010). Prasad و همکاران (۲۰۱۲) با کاربرد نانوذرات روی بر گیاه بادام‌زمینی افزایش تعداد غلاف را در بوته گزارش کردند.

مشابه نتایج این تحقیق، Amiri Deh Ahmadi و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند در تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد چتر و چترک در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه رازیانه کاهش معنی‌داری می‌یابد. افزایش تعداد واحدهای زایشی (چتر در بوته و چترک در چتر) با محلول‌پاشی کودهای روی در این آزمایش با نتایج تحقیقات دیگر مطابقت داشت (Mousa *et al.*, 2003). مصرف روی در کاسنی باعث افزایش تعداد آکن در بوته کاسنی (Sepehri & Vazirimajd, 2015) و تعداد غلاف در بوته ماش (Pandey *et al.*, 2010) شد. در

www.SID.ir

Archive of SID

این آزمایش تعداد چترک در چتر در تیمار با اسید سالیسیلیک افزایش یافت که با نتایج Salarpour Ghorba و Farahbakhsh (۲۰۱۳) مطابقت داشت. اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک ماده شبه هورمونی شناخته شده است، بنابراین به نظر می‌رسد این ماده با تأثیر بر مریستم‌های رویشی و زایشی موجب افزایش تعداد چترها می‌گردد. Khan و همکاران (۲۰۱۰) در محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر روی ماش تحت تنش شوری افزایش تعداد غلاف را در بوته گزارش کردند.

تعداد دانه در چترک تحت تنش خشکی کاهش معنی‌داری یافت، به نظر می‌رسد عدم تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد جنین و تکامل بذر، یکی از دلایل عمده کاهش تعداد دانه در چترک در شرایط تنش خشکی باشد. کاهش تعداد دانه در چترک در نهایت منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Salarpour Ghorba & Farahbakhs, 2013). زیرا در تنش خشکی برخی از گل‌های تلقیح شده کربوهیدرات کافی برای توسعه و پر شدن دانه دریافت نکردند و به‌ناچار از تعداد دانه در چترک کاسته شد (Mastrodomenico *et al*., 2013). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش تعداد چتر و چترک در بوته تعداد دانه در بوته را افزایش دهد. اسید سالیسیلیک تعداد واحدهای زایشی و پر شدن دانه را در بوته افزایش می‌دهد (Zamaninejad *et al*., 2013).

به‌طور کلی افزایش سطوح تنش خشکی عوامل رشد گیاه رازیانه و در نتیجه وزن دانه را کاهش داد، این مسئله احتمالاً نتیجه اختلال در فتوسنتز، تعرق و فرایندهای متابولیکی گیاه است که در نهایت کاهش وزن دانه را به‌دنبال دارد. کاربرد مواد کاهش‌دهنده تعرق مانند اسید سالیسیلیک، با حفظ سطح بالایی از پرولین و رطوبت نسبی برگ موجب تداوم انجام فتوسنتز جاری برگ و در نتیجه کاهش اثر منفی تنش خشکی بر وزن هزاردانه شده است. اثرهای مفید اسید سالیسیلیک روی عملکرد دانه احتمالاً در رابطه با انتقال بیشتر مواد آسیمیلات فتوسنتزی به دانه‌ها در طول دوره پر شدن دانه بوده که در نتیجه باعث افزایش وزن دانه شده است (Eraslan *et al*., 2007).

کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی را می‌توان به تأثیر منفی تنش بر رشد رویشی و زایشی نسبت داد. زیرا بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فشار تورژسانس سلول‌های گیاهی در شرایط کمبود آب، می‌تواند قابلیت رشد، فتوسنتز، جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده و فرایندهای نمو زایشی گیاه را کاهش دهد (Rabbani & Emam, 2011). البته کاهش عملکرد رازیانه در اثر تنش خشکی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Moosavi *et al*., 2014؛ Fakheri *et al*., 2019؛ Mohtashami *et al*., 2015). به گزارش محققان کاربرد برگی اسید سالیسیلیک از طریق تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، پایداری غشای سلولی، بهبود فتوسنتز و فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سبب کاهش اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی شده و افزایش عملکرد را به‌دنبال دارد و تیمار مناسبی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود (Bijanzadeh *et al*., 2019؛ Khan *et al*., 2015 ؛Hayat *et al*., 2010). به‌طوری که افزایش عملکرد دانه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک روی سویا (Razmi *et al*., 2017)، ارزن (Kolupaev *et al*., 2011) و آفتابگردان (Hussain *et al*., 2009) گزارش شده است. Derakhshani و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعه اثرهای تنش خشکی و کاربرد عنصر ریزمغذی روی بر روی گیاه شاه‌اسپرم (*Chrysanthemum balsamita* L.) نتایج مشابهی گزارش کردند. افزایش عملکرد دانه با کاربرد نانوکود روی در گیاهان دیگر و توسط محققان مختلف نشان داده شده است که برخی از آنها عبارتند از: لوبیا چیتی (Mahdieh *et al*., 2018)، تریتیکاله (Kheirizadeh & Arough *et al*., 2016)، ماش (Pandey *et al*., 2006)، نخود (Pandey *et al*., 2010)، گندم (Seadh *et al*., 2009)، توتون (Daghan *et al*., 2013) و گشنیز (Said-Al Ahl & Mahmoud, 2010). به گزارش محققان فراهمی عناصر کم‌مصرف مانند روی باعث افزایش تولیدکننده‌های رشد مانند ایندول استیک اسید، کربوهیدرات‌ها، بهبود

www.SID.ir

Archive of SID

متابولیسم نیتروژن و جذب عناصر پرمصرف شده، در نتیجه سبب افزایش تجمع اسیمیلات‌ها در دانه و بهبود عملکرد می‌گردد. همچنین عنصر روی به‌علت نقش مثبت در تولید کلروفیل بر فتوسنتز و تولید ماده آلی تأثیر مثبت داشته و از طریق بهبود تولید دانه گرده می‌تواند تعداد دانه بیشتری را به‌عنوان مخزن ایجاد نماید. بنابراین با افزایش اندازه، قدرت مخزن و منبع عملکرد دانه را نیز افزایش می‌دهد (Fageria & Baligar, 2010؛ Singh *et al*., 2013؛ Roach & Krieger-Liszkay, 2014). از سویی در این آزمایش از نانوکود روی استفاده شد که به‌دلیل ثبات و پایداری بالا، سطح ویژه بالا و تحرک‌پذیری بالاتر با سرعت و همگنی بالاتر در گیاه توزیع می‌شود. مجموعه این دلایل افزایش پارامترهای مؤثر در اجزای عملکرد را به‌دنبال دارد و به‌طور ویژه در شرایط وقوع تنش از گیاه در برابر آسیب‌های جدی محافظت می‌کند (Nair *et al*., 2010).

اسانس‌ها جزئی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند و گیاهان معمولاً هنگام دریافت تنش محیطی (مانند تنش خشکی در این آزمایش)، میزان متابولیت‌های ثانویه را افزایش می‌دهند (Kapoor *et al*., 2004). Mohamed و Abdu (۲۰۰۴) نیز با مطالعه‌ای روی رازیانه نشان دادند که بیشترین عملکرد اسانس رازیانه زمانی حاصل شد که دفعات آبیاری طی فصل رشد پنج یا شش بار انجام شده بود. هرچند گزارش‌هایی نیز مبنی بر بروز اثرهای نامطلوب تنش خشکی در کاهش سنتز متابولیت‌های ثانویه و عملکرد اسانس وجود دارد (Dunford *et al*., 2005). به گزارش Idrees و همکاران (۲۰۱۰) نیز تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و درصد اسانس گیاه *Cymbopogon flexuosus* شد، اما کاربرد اسید سالیسیلیک سبب بهبود عملکرد و درصد اسانس گردید. از آنجایی که اسید سالیسیلیک نوعی هورمون رشد گیاهیست، در برخی گیاهان دارویی سبب افزایش عملکرد ماده خشک و میزان اسانس شده است (Nazar *et al*., 2011؛ Meher *et al*., 2011). افزایش میزان اسانس در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک که در این تحقیق مشاهده شد، ممکن است به‌دلیل افزایش رشد رویشی، جذب عناصر غذایی بیشتر توسط ریشه‌ها، افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه و نیز تغییر در تعداد غدد تولید کننده اسانس در برگ‌ها باشد (Pérez *et al*., 2014). با توجه به نقش اسید سالیسیلیک به‌عنوان محرک رشد، میزان فتوسنتز و به‌تبع آن میزان شیره‌پرورده گیاه افزایش یافته و توان تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاه افزایش می‌یابد. البته افزایش عملکرد و تولید متابولیت‌های گیاهان دارویی مرزنجوش و ریحان (Gharib, 2006)، مریم‌گلی (Yadegari, 2018)، همیشه‌بهار (Bayat *et al*., 2012) و شیرین‌بیان (Shabani *et al*., 2009) در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک پیشتر گزارش شده است. این اثرها به‌دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز، بهبود استقرار، کاهش گلوتاتیون، باندهای پروتئینی و ترکیب‌های اکسید شده (Meher *et al*., 2011)، افزایش جذب مواد غذایی و کاهش مقدار سدیم و کلر (Khan *et al*., 2010) می‌باشد. کاربرد روی سبب افزایش درصد اسانس رازیانه شد. افزایش درصد اسانس در اثر کاربرد روی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Akhtar *et al*., 2009؛ El-Soliman *et al*., 2015؛ Tohamy *et al*., 2009).

در مجموع طبق نتایج این تحقیق تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و اجزای آن و افزایش درصد اسانس شد. اما کاربرد نانوکود روی و اسید سالیسیلیک توانست اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی را بهبود بخشد. از بین سطوح مختلف کاربرد اسید سالیسیلیک غلظت چهار میلی‌مولار توانست سبب افزایش عملکرد دانه شود، این غلظت از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد. کاربرد عناصر ریزمغذی مانند روی به‌صورت نانوکودها به‌دلیل اثربخشی بیشتر در مقادیر کم، توانست در بهبود عملکرد و درصد اسانس رازیانه مؤثر واقع شود. در مجموع کاربرد این ترکیب‌ها در شرایط تنش خشکی برای ثبات عملکرد، افزایش درصد اسانس و کاهش اثرهای سوء ناشی از کم‌آبیاری در رازیانه قابل توصیه است.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع مورد استفاده

- Akhtar, N., Sarker, M.A.M., Akhter, H. and Nada, M.K., 2009. Effect of planting time and micronutrient as zinc chloride on the growth, yield and oil content of *Mentha piperita*. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research, 44(1): 125-130.
- Amin, A.A., El-Kader, A.A., Shalaby, M.A., Gharib, F.A., Rashad, E.S.M. and Teixeira da Silva, J.A., 2013. Physiological effects of salicylic acid and thiourea on growth and productivity of maize plants in sandy soil. Communications in soil science and plant analysis, 44(7): 1141-1155.
- Amiri Deh Ahmadi., R., Rezvani Moghaddam, P. and Ehyaee, H.R., 2011. The effects of drought stress on morphological traits and yield of three medicinal plants (*Coriandrum sativum*, *Foeniculum vulgare* and *Anethum graveolens*) in greenhouse conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 10(1): 116-124.
- Amiri, R., Nikbakht, A., Etemadi, N. and Sabzalian, M.R., 2017. Nutritional status, essential oil changes and water-use efficiency of rose geranium in response to arbuscular mycorrhizal fungi and water deficiency stress. Symbiosis, 73(1): 15-25.
- Amirinejad, M., Akbari, G., Baghizadeh, A., allahdadi, I., Shahbazi, M. and Naimi, M., 2015. Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. Journal of Crops Improvement, 17(4): 855-866.
- Askari, E. and Ehsanzadeh, P., 2015. Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. Acta Physiologiae Plantarum, 37(4): 1-14.
- Barros, L., Carvalho, A.M. and Ferreira, I.C., 2010. The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): shoots, leaves, stems and inflorescences. LWT-Food Science and Technology, 43(5): 814-818.
- Bayat, H., Alirezaie, M. and Neamati, S.H., 2012. Impact of exogenous salicylic acid on growth and ornamental characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 8(1): 258-267.
- Bijanzadeh, E., Naderi, R. and Egan, T.P., 2019. Exogenous application of humic acid and salicylic acid to alleviate seedling drought stress in two corn (*Zea mays* L.) hybrids. Journal of Plant Nutrition, 42(13): 1483-1495.
- Daghan, H., Arslan, M., Uygur, V. and Koleli, N., 2013. Transformation of tobacco with ScMTII gene-enhanced cadmium and zinc accumulation. CLEAN-Soil, Air, Water, 41(5): 503-509.
- Derakhshani, Z., Hassani, A. and Sefidkon, F., 2014. Growth characters, essential oil content and terpene composition of costmary (*Chrysanthemum balsamita* L.) as influenced by zinc nutrition and different moisture regimes. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 17(5): 1046-1056.
- DeRosa, M.C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R. and Sultan, Y., 2010. Nanotechnology in fertilizers. Nature Nanotechnology, 5(2): 91.
- Diao, W.R., Hu, Q.P., Zhang, H. and Xu, J.G., 2014. Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Food Control, 35(1): 109-116.
- Dunford, N.T. and Vazquez, R.S., 2005. Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in Mexican oregano grown under controlled conditions. Journal of Applied Horticulture, 7(1): 20-22.
- El-Tohamy, W.A., Khalid, A.K., El-Abagy, H.M. and Abou-Hussein, S.D., 2009. Essential oil, growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) in response to foliar application of some micronutrients. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(1): 201-205.
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M., 2007. Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Scientia Horticulturae, 113(2): 120-128.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Jones, C.A., 2010. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. CRC Press, 590p.
- Fakheri, B., heidari, F., Mahdi Nejad, N. and Shahrokhi Sardoui, I., 2019. Effect of drought stress and application of salicylic acid on yield and yield components, photosynthetic pigments and compatibility metabolites of fennel (*Foeniculum vulgare*) under Sistan climatic conditions. Journal of Crop Ecophysiology, 13(50): 193-216.
- Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X. and Hu, Q., 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(6): 2079-2084.
- Farhangi, A. and Arshad, M., 2018. Effect of salicylic acid and fertile phosphate 2 biofertilizer on yield and essence of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Journal of Plant Ecophysiology, 9(31): 115-123.
- Gharib, F.A.E., 2006. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. International Journal of Agriculture & Biology, 4: 485-492.
- Hassanpour, H. and Niknam, V., 2014. Effect of water deficit stress on growth and antioxidant enzyme

www.SID.ir

Archive of SID

on yield and growth of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. Journal of Plant Nutrition, 41(18): 2401-2412.
- Mastrodomenico, A.T., Purcellb, L.C. and King, C.A., 2013. The response and recovery of nitrogen fixation activity in soybean to water deficit at different reproductive developmental stages. Environmental and Experimental Botany, 85: 16-21.
- Marschner, P., 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Amsterdam, Netherlands: Elsevier/Academic Press, 684p.
- Meher, H.C., Gajbhiye, V.T. and Singh, G., 2011. Salicylic acid-induced glutathione status in tomato crop and resistance to root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. Journal of Xenobiotics, 1(1): 22-28.
- Miura, K. and Tada, Y., 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. Frontiers in Plant Science, 5: 4p.
- Mohamed, M.A. and Abdu, M., 2004. Growth and oil production of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): effect of irrigation and organic fertilization. Biological agriculture and horticulture, 22(1): 31-39.
- Mohtashami, F., Pouryousef, M., Andalibi, B., Shekari, F., 2015. Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on yield and essence of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress condition. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 31(5): 841-852.
- Moosavi, S.M., Moosavi, S.G.R. and Seghatoleslami, M.J., 2014. Effect of drought stress and nitrogen levels on growth, fruit and essential oil yield of fennel (*Foenicolum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 30(3): 453-462.
- Moser, B.R., Zheljazkov, V.D., Bakota, E.L., Evangelista, R.L., Gawde, A., Cantrell, C.L., Winkler-Moser, J.K., Hristov, A.N., Astatkie, T. and Jeliazkova, E., 2014. Method for obtaining three products with different properties from fennel *(Foeniculum vulgare*) seed. Industrial Crops and Products, 60: 335-342.
- Mousa, G.T., El-Sallami, I.H. and Ali, E.F., 2003. Response of *Nigella sativa* L. to foliar application of gibberellic acid, benzyladenine, iron and zinc. Assiut Journal of Agricultural Sciences, 32: 141-156.
- Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Kumar, D.S., 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science, 179(3): 154-163.
- Nazar, R., Iqbal, N., Syeed, S. and Khan, N.A., 2011. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. Journal of Plant Physiology, 168(8): 807-815.
activity of *Mentha pulegium* L. at flowering stage. Journal of Plant Process and Function, 3(8): 25-34.
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A., 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. Environmental and Experimental Botany, 68(1): 14-25.
- Hussain, M., Malik, M.A., Farooq, M., Khan, M.B., Akram, M. and Saleem, M.F., 2009. Exogenous glycinebetaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. Journal of Agronomy and Crop Science, 195(2): 98-109.
- Idrees, M., Khan, M.M.A., Aftab, T., Naeem, M. and Hashmi, N., 2010. Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in lemongrass varieties under water stress. Journal of Plant Interactions, 5(4): 293-303.
- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology, 93(3): 307-311.
- Khan, M.I.R., Fatma, M., Per, T.S., Anjum, N.A. and Khan, N.A., 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Frontiers in Plant Science, 6(462): 17p.
- Khan, N., Syeed, S., Masood, A., Nazar, R. and Iqbal, N., 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mung bean and alleviates adverse effects of salinity stress. International Journal of Plant Biology, 1(e1): 8p.
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R. and Seyed Sharifi, R., 2016. Bio fertilizers and zinc effects on some physiological parameters of triticale under water-limitation condition. Journal of Plant Interactions, 11(1): 167-177.
- Khot, L.R., Sankaran, S., Maja, J.M., Ehsani, R. and Schuster, E.W., 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. Crop Protection, 35: 64-70.
- Kolupaev, Y., Yastreb, T.O., Karpets, Y.V. and Miroshnichenko, N.N., 2011. Influence of salicylic and succinic acids on antioxidant enzymes activity, heat resistance and productivity of *Panicum miliaceum* L. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 7(2): 154-163.
- Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. Industrial Crops and Products, 30(3): 372-379.
- Mahdieh, M., Sangi, M.R., Bamdad, F. and Ghanem, A., 2018. Effect of seed and foliar application of nano-zinc oxide, zinc chelate, and zinc sulphate rates

www.SID.ir

Archive of SID

photoinhibition. Current Protein and Peptide Science, 15(4): 351-362.
- Sadeghzadeh, B., 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 13(4): 905-927.
- Said-Al Ahl, H.A.H. and Mahmoud, A.A., 2010. Effect of zinc and/or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. Ozean Journal of Applied Sciences, 3(1): 97-111.
- Salarpour Ghorba, F. and Farahbakhsh, H., 2013. The effect of foliar application of salicylic acid on morphological characteristics and biological performance of *Foeniculum vulgare* Mill. 12th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman, Shahid Bahonar University, 26-27 August.
- Salvucci, M.E., Barta, C., Byers, J.A. and Canarini, A., 2010. Photosynthesis and assimilate partitioning between carbohydrates and isoprenoid products in vegetatively active and dormant guayule: physiological and environmental constraints on rubber accumulation in a semiarid shrub. Physiologia Plantarum, 140(4): 368-379.
- Seadh, S.E., El-Abady, M.I., El-Ghamry, A.M. and Farouk, S., 2009. Influence of micronutrients foliar application and nitrogen fertilization on wheat yield and quality of grain and seed. Journal of Biological Sciences, 9(8): 851-858.
- Sepehri, A. and Vazirimajd., Z., 2015. The effect of iron and zinc nano fertilizers on quantitative yield of chicory (*Cichorium inyubus* L.) in different crop densities. Agricultural Science and Sustainable Production, 25(2.1): 61-74.
- Shabani, L., Ehsanpour, A.A., Asghari, G. and Emami, J., 2009. Glycyrrhizin production by in vitro cultured *Glycyrrhiza glabra* elicited by methyl jasmonate and salicylic acid. Russian Journal of Plant Physiology, 56(5): 621-626.
- Singh, N.B., Amist, N., Yadav, K., Singh, D., Pandey, J.K. and Singh, S.C., 2013. Zinc oxide nanoparticles as fertilizer for the germination, growth and metabolism of vegetable crops. Journal of Nanoengineering and Nanomanufacturing, 3(4): 353-364.
- Soliman, A.S., El-feky, S.A. and Darwish, E., 2015. Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar application of nanofertilizers. Journal of Horticulture and Forestry, 7(2): 36-47.
- Subramanian, K.S., Manikandan, A., Thirunavukkarasu, M. and Rahale, C.S., 2015. Nano-fertilizers for balanced crop nutrition: 69-80. In: Rai, M., Ribeiro, C., Mattoso, L. and Duran, N., (Eds.). Nanotechnologies in Food and Agriculture. Springer, 347p.
- Nguyen, T., Aparicio, M. and Saleh, M., 2015. Accurate mass GC/LC-quadrupole time of flight mass spectrometry analysis of fatty acids and triacylglycerols of spicy fruits from the Apiaceae family. Molecules, 20(12): 21421-21432.
- Ojeda-Barrios, D.L., Perea-Portillo, E., Hernández-Rodríguez, O.A., Ávila-Quezada, G., Abadía, J. and Lombardini, L., 2014. Foliar fertilization with zinc in pecan trees. HortScience, 49(5): 562-566.
- Pandey, A.C., Sanjay, S. and Yadav, R., 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. Journal of Experimental Nanoscience, 5(6): 488-497.
- Pandey, N., Pathak, G.C. and Sharma, C.P., 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 20(2): 89-96.
- Pérez, M.G.F., Rocha-Guzmán, N.E., Mercado-Silva, E., Loarca-Piña, G. and Reynoso-Camacho, R., 2014. Effect of chemical elicitors on peppermint (*Mentha piperita*) plants and their impact on the metabolite profile and antioxidant capacity of resulting infusions. Food Chemistry, 156: 273-278.
- Pirbalouti, A.G., Samani, M.R., Hashemi, M. and Zeinali, H., 2014. Salicylic acid affects growth, essential oil and chemical compositions of thyme (*Thymus daenensis* Celak.) under reduced irrigation. Plant Growth Regulation, 72(3): 289-301.
- Prasad, T.N.V.K.V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K.R., Sreeprasad, T.S., Sajanlal, P.R. and Pradeep, T., 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition, 35(6): 905-927.
- Rabbani., J. and Emam, Y., 2011. Yield response of maize hybrids to drought stress at different growth stages. Journal of Crop Production and Processing, 1(2): 65-78.
- Rather, M.A., Dar, B.A., Sofi, S.N., Bhat, B.A. and Qurishi, M.A., 2016. *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. Arabian Journal of Chemistry, 9: S1574-S1583.
- Razmi, N., Ebadi, A., Daneshian, J. and Jahanbakhsh, S., 2017. Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition. Journal of Plant Interactions, 12(1): 457-464.
- Rebey, I.B., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B., 2012. Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Industrial Crops and Products, 36(1): 238-245.
- Roach, T. and Krieger-Liszkay, A., 2014. Regulation of photosynthetic electron transport and

www.SID.ir

Archive of SID

- Yadegari, M., 2018. Foliar application effects of salicylic acid and jasmonic acid on the essential oil composition of *Salvia officinalis*. Turkish Journal of Biochemistry, 43(4): 417-424.
- Yavas, I. and Unay, A., 2016. Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. The Journal of Animal & Plant Sciences, 26(4): 1012-1018.
- Zamaninejad, M., Khorasani, S.K., Moeini, M.J. and Heidarian, A.R., 2013. Effect of salicylic acid on morphological characteristics, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) under drought condition. European Journal of Experimental Biology, 3(2): 153-161.

www.SID.ir

Archive of SID

Effects of zinc nanofertilizer and salicylic acid on yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress conditions

H. Heydarnejadiyan[1], A. Maleki[2*] and F. Babaei[3]

1- Ph.D. student of agronomy, Department of Agriculture, College of Agriculture, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran
2*- Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran, E-mail: maleki97@yahoo.com
3- Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran

Received: August 2020 Revised: December 2020 Accepted: December 2020

Abstract

To investigate the effects of different levels of drought stress, and foliar application of zinc nanofertilizer and salicylic acid on the yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), a split-plot factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in the village of Sultanabad, Razan city in Hamadan province in two years, 2018 and 2019. The main factor included the irrigation regime at three levels of irrigation after 50 (no stress), 75 (moderate stress), and 100 (severe stress) mm evaporation from Class A evaporation pan and the sub-factors consisted of foliar application of zinc nanofertilizer at two levels (without fertilizer and zinc nanofertilizer spray) and salicylic acid at four levels (0, 2, 4, and 6 mM). The drought stress decreased the number of umbels per plant, number of umbellules per umbel, number of seeds per umbellule, 1000-seed weight, and grain yield and increased the percentage of essential oil. The highest number of umbellules per umbel was obtained in the severe drought stress treatment with the application of zinc nanofertilizer and salicylic acid with a concentration of 4 mM. The application of zinc nanofertilizer under no stress, moderate, and severe drought conditions increased the grain yield by 14, 5.3, and 4.5%, and the essential oil content by 6, 2.9, and 9.9%, respectively. The concentration of 6 mM salicylic acid had the highest essential oil percentage (2.8%).

Keywords: Plant growth regulators, essential oil percent, micronutrient, medicinal plant, foliar application.

www.SID.ir