Archiv

نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دوازدهم، شماره سوم، پاییز ۹۸
۸۵-۱۰۰
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.16031.2192

بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی

حسین آزادواری[۱]، معصومه نعیمی[۲*]، عبداللطیف قلی‌زاده[۲]، علی نخ‌زری مقدم[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

[۲]استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۳

چکیده

سابقه و هدف: تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل مهم محدودکننده رشد گیاهان به‌شمار می‌رود. اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی تولید شده توسط گیاه است که نقش مهمی در تنظیم فرایندهای مختلف گیاه دارد. تحقیقات نشان داده است که کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک می‌تواند تحمل گیاه در برابر برخی تنش‌های غیرزنده از جمله تنش اسمزی، خشکی، شوری، ازن و اشعه ماورای بنفش را افزایش دهد. هدف از اجرای این پژوهش بررسی برهمکنش رژیم‌های مختلف رطوبتی و نحوه کاربرد اسید سالیسیلیک بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد دانه و تعیین مناسب‌ترین نحوه کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه سیاهدانه بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در زمستان و بهار سال ۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس اجرا شد. سطوح مختلف آبیاری در چهار سطح شامل: عدم آبیاری (دیم)، یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی، یک‌بار آبیاری در مرحله پر شدن دانه و انجام دو بار آبیاری به‌ترتیب در زمان گلدهی و پر شدن دانه و عامل اسید سالیسیلیک در سه سطح شامل: عدم مصرف اسید سالیسیلیک (شاهد)، پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک (با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (به‌میزان ۰/۵ میلی‌مولار) مورد مطالعه قرار گرفتند. پس از اعمال تیمارها صفاتی مختلف فیزیولوژیکی و زراعی مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد اثرات برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک بر کلیه صفات مورد ارزیابی به‌جزء عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در تمام تیمارهای آبیاری گردید، در حالی که تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم کاتالاز نداشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل (۲۶/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)، محتوای آب نسبی برگ (۷۲/۴۴ درصد) و عملکرد دانه (۱۳۲۹ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط دو بار آبیاری حاصل شد.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش نشان داد که کاربرد اسیدسالیسیلیک به‌ویژه به‌صورت محلول‌پاشی برگی با فعال کردن سیستم آنتی‌اکسیدانی، بهبود وضعیت رطوبتی گیاه و محتوای کلروفیل در نهایت منجر به بهبود رشد و عملکرد مطلوب تحت تیمارهای مختلف رطوبتی گردید. از این رو می‌توان کاربرد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک را به‌عنوان راه‌کاری مؤثر در جهت تعدیل و کاهش اثرات تنش و تولید عملکرد مناسب در مناطقی که در معرض کمبود رطوبت هستند، معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدانت، اسید سالیسیلیک، سیاهدانه، عملکرد دانه، کمبود آب

[*]مسئول مکاتبه: Naeemi_701@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی است دولپه، علفی و یک‌ساله متعلق به خانواده آلاله که در زبان انگلیسی Black cumin نامیده می‌شود (۵۲). گسترش این گیاه در نواحی مختلف شمال آفریقا، جنوب اروپا و مناطق مدیترانه‌ای تا هندوستان و جنوب‌شرق آسیا و استرالیا است. در ایران در برخی مناطق به‌صورت خودرو می‌روید و در شهرهای اراک و اصفهان به فراوانی کشت می‌شود (۳ و ٤١). سیاهدانه به‌دلیل داشتن ماده‌ای موسوم به تیموکینون دارای تأثیرات ضدتشنجی است و در دانه‌های آن اثر ضدتوموری و ضدباکتریایی مشاهده شده است. دانه‌های این گیاه از لحاظ دارویی به‌عنوان بادشکن، قاعده آور، مسهل، شیرافزا، ضد یبوست و تقویت کننده نیروی جنسی در مردان کاربرد دارد (۳۰).

تنش خشکی از مهم ترین عوامل محدود کننده گسترش زادآوری و تولیدات گیاهی در سیستم‌های طبیعی و کشاورزی به‌شمار می‌آید، به‌طوری که مطالعات نشان می دهد؛ از بین عوامل مختلف ایجاد کننده تنش های محیطی، تنش خشکی منجر به کاهش ٤٥ درصدی عملکرد تولیدات گیاهی شده است (۱۳). با توجه به اینکه خشکی از ویژگی های بارز جغرافیای کشور ما است و از این پدیده طبیعی و غیرقابل تغییر راه فراری نیست و از طرفی مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی به‌طور روز افزونی در جامعه افزایش می یابد. لذا اتخاذ روش‌هایی چون بهره‌برداری صحیح از آب موجود به همراه استفاده از شیوه‌های صحیح زراعی شامل کشت گیاهان مقاوم، شناخت ارتباط کمبود آب خاک و رشد گیاهان در هر مرحله، بررسی واکنش های مورفولوژیکی، زراعی، فیزیولوژیکی و متابولیکی و روابط مفید داخلی گیاهان در مقابل با تنش مثمرثمر و مفید واقع خواهد شد (۳۱). در مطالعات مختلفی موضوع تأثیر تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاهان دارویی مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیقی کاهش و تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی در گیاه ریحان گزارش شد (۲۹). نوروزپور و رضوانی‌مقدم (۱۳۸٤) طی تحقیقی در گیاه سیاهدانه گزارش کردند که با افزایش فواصل آبیاری به‌طور معنی‌داری از ارتفاع بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد فولیکول در بوته، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه کاسته شد (٤١). تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)[1] یکی از اولین پاسخ‌های بیوشیمیایی به تنش‌های زیستی و غیر زیستی است. میزان گونه‌های فعال اکسیژن در طی تنش‌های محیطی مانند خشکی، به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد که منجر به آسیب‌های اکسیداتیو پروتئین‌ها، DNA و لیپیدها می‌شود (۵). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همچون سوپراکسید دیسموتاز (SOD)[2]، پراکسیداز (POD)[3] و کاتالاز (CAT)[4]، نقش مهمی در مقابل تنش‌های محیطی ایفا می‌کنند (۵). گیاهانی که فعالیت بالایی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را دارند، مقاومت قابل توجهی را به آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن نشان داده‌اند (١٦).

اسیدسالیسیلیک یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید یک ترکیب فنلی است که به‌طور طبیعی در گیاهان تولید می‌شود. مطالعات متعددی نشان می‌دهند که اسیدسالیسیلیک سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش های زیستی و غیرزیستی می شود (٢٦). کاربرد اسیدسالیسیلیک خارجی می‌تواند باعث افزایش اسید سالیسیلیک درون‌زا که یک علامت القایی در برابر پاسخ‌های دفاعی ویژه گیاهان است شود (۳۷). گزارش‌های دیگری نیز از نقش اسید سالیسیلیک بر

1. Reactive Oxygen Species
2. Superoxide Dismutase
3. Peroxidase
4. Catalase

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش عملکرد ریحان و مرزنجوش (۱۵) و عملکرد دانه زیره سبز (۱۱) ارائه شده است. در طی تحقیقی مشخص شد که غلظت ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک عملکرد دانه زیره سبز را به‌میزان ۱۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (۱۲). در پژوهشی دیگر روی گیاه آویشن، افزایش فعالیت آنزیم‌های تنش آنتی‌اکسیدانی همانند پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش خشکی با کاربرد اسید سالیسیلیک گزارش شده است (۷).

هدف از اجرای این پژوهش بررسی برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد دانه و تعیین مناسب‌ترین نحوه کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه سیاهدانه بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس با مختصات جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا در زمستان و بهار سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. اقلیم گنبد کاووس بر اساس طبقه‌بندی کوپن اقلیم مدیترانه‌ای گرم و نیمه‌خشک بوده و دارای متوسط بارندگی ساله ۴۵۰ میلی‌متر (بر اساس هواشناسی کشور، ۱۳۹۶) می‌باشد (جدول ۱). قبل از اجرای آزمایش برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۱- داده‌های هواشناسی منطقه گنبد کاووس در طی دوره رشد سیاهدانه (۱۳۹۶-۱۳۹۷)

Table 1- Meteorological data of Gonbad Kavous area during the period of Black cumin growth (2017-2018)

ماه‌های سال Months of the year		میزان بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	میانگین رطوبت نسبی (درصد) Average relative humidity (%)	میانگین دما (سانتی‌گراد) Average temperature(°C)
(Jan)	بهمن	32.9	77	6.7
(Feb)	اسفند	61.7	71	11.7
(Mar)	فروردین	40.9	75	15.6
(Apr)	اردیبهشت	40.4	68	20.3
(May)	خرداد	7.8	59	26.6

جدول ۲- خصوصیات خاک محل آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Table 2- Soil properties of experiment site (depth 0-30 cm)

بافت خاک Soil texture	لای (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	رس (درصد) Clay (%)	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون) Available phosphorus (ppm)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	مواد خنثی شونده(درصد) Self-neutralizing material (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC $ds.m^{-1}$
Silt-Loam	56	13	31	13	0.08	0.78	10.8	7.6	0.96

چهار رژیم رطوبتی شامل عدم آبیاری (کشت دیم)، یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی، یک‌بار آبیاری در مرحله پر شدن دانه و دو بار آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه و اسید سالیسیلیک در سه سطح شامل عدم مصرف، پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک (غلظت ۰/۵ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی

www.SID.ir

Archive of SID

اسید سالیسیلیک (۰/۵ میلی‌مولار) مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور اعمال تیمارهای مربوط به پیش‌تیمار بذر پس از تهیه غلظت مورد نظر بذرها در محلول اسید سالیسیلیک به‌مدت ٦ ساعت در تاریکی غوطه‌ور شده (٣٦) و سپس بذور پس از شستشو توسط آب مقطر در دمای اتاق خشک و در مزرعه کشت شدند.

عملیات کاشت در بهمن سال ١٣٩٦ به روش جوی و پشته انجام شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها از هم ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کرت‌هایی با ابعاد ۱۲۰ سانتی‌متر در ۲۵۰ سانتی‌متر ایجاد و در داخل هر کرت ٤ ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد. در طول اجرای آزمایش هیچ نوع علف‌کش، آفت‌کش و یا قارچ‌کشی استفاده نشد. پس از سبز شدن بذور در مرحله ٤ تا ٦ برگی اقدام به تنک‌کاری در فاصله معین شد و وجین علف‌های هرز در شش مرحله صورت گرفت. به‌منظور اعمال تیمار محلول‌پاشی، پس از تهیه محلول اسید سالیسیلیک با غلظت مورد نظر محلول‌پاشی در سه نوبت شامل یک‌بار در مرحله قبل از گلدهی، گلدهی کامل (صد در صد گلدهی) و مرحله پر شدن دانه انجام شد.

پس از اعمال تیمارهای مورد نظر، به‌منظور ارزیابی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، نمونه‌های یک گرمی از برگ‌های جوان و بالغ هر بوته برداشت و بلافاصله بعد از قرار دادن در ورقه های آلومینیومی، در نیتروژن مایع منجمد شدند و تا زمان انجام آزمایشات مربوطه در فریزر (۸۰-) درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Biochrom libera- S22) اندازه‌گیری شد.

میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به روش ای‌بی (١٩٨٤) اندازه‌گیری شد (۲). فعالیت آنزیم پراکسیداز طبق روش چنس و مهلی (۱۹۵۵) و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به روش ناکانو و آسادا (۱۹۸۱) تعیین گردید (۹ و ٤٠). سنجش کلروفیل کل به روش آرنون (١٩٤٩) صورت گرفت (٦). جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)[1] از روش دیهوپتی و مانیل (۲۰۰۲) و طبق معادله (۱) استفاده گردید (۱۰). بدین منظور از هر کرت آزمایشی به‌صورت تصادفی نمونه برگ در ساعت ۱۱ صبح انتخاب شدند. نمونه‌ها در کیسه‌های نایلونی زیب‌دار قرار داده شدند و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از تعیین وزن برگ‌ها، نمونه‌ها به‌مدت ٢٤ ساعت در آب مقطر (دمای حدود ٤ درجه سانتی‌گراد) و تاریکی قرار گرفتند و پس از گذشت ٢٤ ساعت وزن آماس برگ‌ها ثبت شد. به‌منظور تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ٤٨ ساعت در آون در درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و در نهایت وزن خشک برگ‌ها اندازه‌گیری شد. کمبود آب اشباع برگ (WSD) بر اساس روش سپهری و گل‌پرور (۲۰۱۱) و طبق رابطه (۲) محاسبه شد (٤٦):

رابطه ۱: $RWC = (F_W-D_W / S_W-D_W)\times 100$

رابطه ۲: $WSD =(S_W-F_W)/(S_W-D_W)\times 100$

در روابط ۱ و ۲، F_W وزن‌تر برگ، D_W وزن خشک برگ، S_W وزن اشباع برگ می‌باشند. برای محاسبه عملکرد پس از رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌ها، دو ردیف کناری و نیم‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و مابقی بوته‌ها برداشت شد. با ترازوی دقیق وزن کل بوته‌ها هر کرت در مساحت برداشتی (معادل یک‌متر مربع) اندازه‌گیری و به‌عنوان عملکرد بیولوژیک در محاسبات منظور گردید. سپس کپسول‌های کلیه بوته‌ها در سطح برداشتی پس از شمارش دقیق کوبیده شدند و دانه‌های بدست آمده با ترازوی دقیق توزین و عملکرد

1. Relative Water Content

www.SID.ir

Archive of SID

دانه در واحد سطح ثبت گردید. پس از محاسبه عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت برای هر کرت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک بدست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. میانگین صفات مورد مطالعه نیز با استفاده از آزمون LSD سطح آماری ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. برای صفاتی که برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک معنی‌دار شد، برش‌دهی سطوح کاربردی اسید سالیسیلیک در سطوح مختلف عامل آبیاری به‌صورت جداگانه انجام شد.

نتایج و بحث

آنزیم کاتالاز: نتایج بیانگر تأثیر معنی‌دار آبیاری، اسید سالیسیلیک و برهمکنش آن‌ها بر فعالیت کاتالاز بود (P<۰/۰۱، جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک (جدول ٤)، بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط دیم بود که با تیمار محلول‌پاشی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان فعالیت آنزیم به پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری در مرحله پر شدن دانه تعلق داشت. بنابراین به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک خود عامل آنتی‌اکسیدانت بوده که افزودن آن سبب کاهش احتمالی تنش و در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شده است (۵۰). طبق یافته‌ها، اسید سالیسیلیک بازدارنده فعالیت آنزیم کاتالاز بوده و در نتیجه با کاهش فعالیت این آنزیم، پراکسیدهیدروژن در گیاه افزایش می‌یابد (١٤). کانگ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه گندم باعث کاهش در فعالیت آنزیم کاتالاز شد (۲۸).

آنزیم پراکسیداز: سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر فعالیت پراکسیداز برگ سیاهدانه داشت (P<۰/۰۱، جدول ۳). مقایسه میانگین‌های برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد که کاربرد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک هم در شرایط دیم و هم در شرایط آبیاری سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز شد (جدول ٤). بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمار محلول‌پاشی در شرایط دیم بود و کمترین میزان فعالیت آن به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط دو بار آبیاری تعلق داشت.

نتایج همچنین نشان داد کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی باعث افزایش ٣٤/١ درصدی فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط دیم شد (جدول ٤). تحت شرایط تنش ممکن است ظرفیت آنزیم پراکسیداز جهت از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال کافی نبوده و لذا از اثرات تخریبی تنش اکسیداتیو به خوبی ممانعت نشود. بنابراین ساخت مولکول‌های پیام‌رسان در گیاهان، مرحله مهمی در درک واکنش‌های گیاه به تنش‌های محیطی است. در چنین شرایطی کاربرد خارجی مولکول‌های پیام‌رسان تنش همچون اسید سالیسیلیک قابلیت‌های مهمی در بهبود تحمل گیاهان به تنش خواهد داشت (٤٥). گزارش شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک سبب افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده و با کاهش آسیب اکسیداتیو، موجب مقاومت گیاه به تنش خشکی می‌شود (٢٦). اثرات بهبود دهنده محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی بر افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در ذرت (۳۳) و گوجه فرنگی (٢٤) نیز مشاهده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات سیاهدانه در سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک

Table 3- Analysis of variance of some black cumin traits at different levels of irrigation and salicylic acid.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean square)									
		کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	پراکسیداز آسکوربات Ascorbate peroxidase	کلروفیل کل Total chloroph-yll	محتوای آب نسبی برگ Relative water content	کمبود آب اشباع برگ Water saturate deficit	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 seed weight	عملکرد بیولوژیک Biologica yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	0.00002 ns	0.003 ns	0.004 ns	2.25 ns	2.33 ns	2.33 ns	0.01 ns	16116 **	6.75 ns	3350 ns
آبیاری (I) Irrigation	3	0.002 **	1.02 **	1.63 **	228.3 **	714 **	714 **	1.96 **	585994 **	40.6 **	229451 **
اسید سالیسیلیک (SA) Salicylic acid	2	0.001 **	0.48 **	3.16 **	135.2 **	310 **	310 **	0.27 **	148869 **	30.9 **	74621 **
I×SA	6	0.0008 **	0.009 **	0.28 **	24.2 **	11.2 *	11.2 **	0.09 *	2686 ns	18.6 **	8876 **
خطا Error	22	0.0001	0.001	0.007	0.85	1.13	1.13	0.03	2513.7	2.35	995
CV (%)	.....	2.73	11.85	6.87	5.24	1.76	2.68	5.73	11.89	3.71	2.87

ns، **، * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد.

ns, * and ** not significant, significant at 0.01 and 0.05 probability level, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

آنزیم آسکوربات پراکسیداز: نتایج حاصل بیانگر تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و برهمکنش آن‌ها بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز بود (P<۰/۰۱، جدول ۳). محلول‌پاشی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را در تمام تیمارهای آبیاری افزایش داد (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز مربوط به تیمار محلول‌پاشی در شرایط دیم بود و کمترین میزان نیز در تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط دو بار آبیاری مشاهده شد (جدول ٤). در شرایط دیم کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی و پیش‌تیمار منجر به افزایش فعالیت این آنزیم آنتی‌اکسیدان به‌میزان به‌ترتیب ۱۵۸ و ٦۰ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف گردید (جدول ٤). به‌عبارتی، اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط دیم مشهودتر و بارزتر از شرایط مختلف دیگر آبیاری بود. بنابراین، می‌توان گفت کاربرد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با فعال کردن سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان آنزیمی موجب افزایش مقاومت سیاهدانه به تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی شده است. پیش از این نیز گزارش شده بود که اسید سالیسیلیک می‌تواند با افزایش توانایی آنتی‌اکسیدانی خسارت ناشی از تنش خشکی بر گیاه را کاهش دهد (٤). نتایج یافته‌های محققین بر آویشن (۷) و جو (۲۰) تأیید کننده نتایج حاصل از این بررسی بود.

کلروفیل کل: نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و برهمکنش آن‌ها بر محتوای کلروفیل کل معنی‌دار شد (P<۰/۰۱، جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار محلول‌پاشی (۲٦/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در شرایط دو بار آبیاری بود (جدول ٤). میزان کلروفیل در گیاهان یکی از شاخص‌های مهم می‌باشد زیرا تعیین‌کننده ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌باشد. در این پژوهش, کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی نسبت به پیش‌تیمار و عدم مصرف اسید سالیسیلیک باعث افزایش به‌ترتیب ۱۲ و ۳۸ درصدی کلروفیل کل در این شرایط آبیاری شد. کمترین میزان کلروفیل کل به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۹/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در شرایط دیم اختصاص داشت (جدول ٤).

به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک از طریق افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش کلروفیل، میزان فتوسنتز کل را افزایش می‌دهد (٤۹). بیدعشقی و آروین (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که تنش خشکی میزان کلروفیل برگ گیاه سیر را کاهش داد با این وجود کاربرد اسید سالیسیلیک موجب بهبود این صفت در شرایط آبی نرمال و خشکی گردید (۸).

محتوای آب نسبی برگ: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و برهمکنش آن‌ها بر محتوای نسبی آب برگ بود (P<۰/۰۱، جدول ۳). همان‌گونه که نتایج جدول ٤ نشان داد، گیاهانی که با اسید سالیسیلیک محلول‌پاشی شده بودند، محتوای آب نسبی برگ بالاتری تحت تمام تیمارهای آبیاری داشتند. مقایسه میانگین‌های اثرات برهمکنش بین تیمارها نشان داد که بیشترین میزان محتوای آب نسبی برگ متعلق به تیمار محلول‌پاشی (۷۲/٤٤ درصد) در شرایط دو بار آبیاری بود و کمترین میزان صفت مذکور به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (٤۲/۲٤ درصد) در شرایط دیم تعلق داشت (جدول ٤).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش بین رژیم‌های مختلف رطوبتی و اسید سالیسیلیک برای صفات کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، کلروفیل کل، محتوای آب نسبی برگ، کمبود آب اشباع برگ، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه سیاهدانه.

Table 4- Comparison of the average interactions between different humidity regimes and salicylic acid for catalase, peroxidase, ascorbate, total chlorophyll, leaf relative water content, leaf saturated water deficit, 1000 seed weight, Harvest index and Seed yield of black cumin.

تیمارها Treatments		کاتالاز (نانومول در دقیقه بر گرم وزن‌تر) Catalase (nMol/min/ g FW)	پراکسیداز (نانومول در دقیقه بر گرم وزن‌تر) Peroxidase (nMol /min/ g FW)	آسکوربات پراکسیداز (نانومول در دقیقه بر گرم وزن‌تر) Ascorbate peroxidase (nMol /min/ g FW)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) Total chlorophyll (mg/g FW)	محتوای آب نسبی برگ (درصد) Relative water content (%)	کمبود آب اشباع برگ (درصد) Water saturate deficit (%)	وزن هزار دانه (گرم) 1000 seed weight (g)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (Kg/ ha^{-1})
رژیم آبیاری Irrigation regime	اسید سالیسیلیک Salicylic acid									
دیم (Dry farming)	S_1	0.41^{a}	0.797^{b}	1.084^{c}	9.17^{a}	42.24^{c}	57.76^{a}	2.54^{a}	36.73^{b}	817^{c}
	S_2	0.36^{b}	0.737^{b}	1.691^{b}	10.66^{a}	48.29^{b}	51.71^{b}	2.77^{a}	40.87^{a}	935^{b}
	S_3	0.39^{a}	1.069^{a}	2.797^{a}	$11/99^{a}$	56.41^{a}	43.58^{c}	2.96^{a}	40.73^{a}	1006^{a}
LSD 5%		0.031	0.234	0.387	3.3	4.24	4.24	0.544	2.41	51.14
یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی (Once irrigation at flowering stage)	S_1	0.38^{a}	0.060^{b}	0.791^{b}	18.78^{a}	53.46^{b}	46.53^{a}	2.85^{a}	34.58^{b}	873^{b}
	S_2	0.36^{a}	0.085^{b}	0.893^{b}	19.79^{a}	57.69^{b}	42.31^{a}	2.75^{a}	41.71^{a}	1063^{a}
	S_3	0.36^{a}	0.550^{a}	1.756^{a}	21.70^{a}	63.30^{a}	36.70^{b}	2.62^{a}	43.43^{a}	1164^{a}
LSD 5%		0.058	0.102	0.182	4.5	4.28	4.28	1.22	6.29	156
یک‌بار آبیاری در مرحله پر شدن دانه (Once irrigation at grain filling stage)	S_1	0.36^{ab}	0.074^{b}	0.786^{b}	14.90^{b}	59.49^{c}	40.50^{a}	2.98^{c}	42.10^{a}	1092^{a}
	S_2	0.33^{b}	0.081^{b}	0.889^{b}	16.94^{b}	64.20^{b}	35.79^{b}	3.34^{b}	42.61^{a}	1151^{a}
	S_3	0.38^{a}	0.431^{a}	1.772^{a}	20.60^{a}	70.90^{a}	29.09^{c}	3.62^{a}	40.68^{a}	1171^{a}
LSD 5%		0.033	0.107	0.151	2.75	3.52	3.52	0.221	4.64	90.16
دو بار آبیاری به‌ترتیب در مرحله گلدهی و پر شدن دانه (Double irrigation at flowering and grain filling stages)	S_1	0.35^{a}	0.057^{b}	0.775^{b}	19.01^{b}	67.47^{a}	32.55^{a}	3.61^{b}	44.48^{a}	1265^{b}
	S_2	0.36^{a}	0.082^{b}	0.778^{b}	21.21^{b}	68.58^{a}	31.41^{a}	3.63^{b}	44.18^{a}	1290^{ab}
	S_3	0.35^{a}	0.335^{a}	1.009^{a}	26.32^{a}	72.44^{a}	27.55^{a}	3.88^{a}	43.73^{a}	1329^{a}
LSD 5%		0.027	0.089	0.198	3.23	5.24	5.24	0.158	1.94	41.22

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌داری نیستند. S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم مصرف اسید سالیسیلیک، پیش‌تیمار و محلول‌پاشی می‌باشد.

In each column, averages that have at least one common alphabet, do not differ significantly from the LSD test at 5% probability level. S1, S2 and S3, respectively, Non application of salicylic acid, Priming and foliar spraying treatments.

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین نتایج نشان داد کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار و محلول‌پاشی در شرایط دیم، میزان محتوای آب نسبی برگ را به‌ترتیب ۱٤/۳۲ و ۳۳/٥٤ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک افزایش داد (جدول ٤). کاربرد اسید سالیسیلیک، سبب افزایش میزان محتوای آب نسبی برگ شده و اثر تنش بر گیاه سیاهدانه را کاهش داد.

به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک به‌علت تأثیر مثبتی که روی رشد ریشه دارد (۱) باعث افزایش ذخیره آبی گیاه و همچنین از طریق افزایش اسیمیلات‌های محلول همچون پرولین در سلول باعث افزایش محتوای آب شده و با حفظ فشار اسمزی منجر به افزایش فتوسنتز و رشد گیاه می‌گردد (۲۱). محققین گزارش کردند محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی سبب افزایش محتوای آب نسبی برگ در ریحان (٤۳) و ذرت (۳٤) شده است.

کمبود اشباع آب برگ: سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و برهمکنش آن‌ها بر میزان کمبود اشباع آب برگ تأثیر معنی‌داری داشتند (P<۰/۰۱، جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد بیشترین میزان کمبود آب اشباع برگ متعلق به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۵۷/۷٦ درصد) در شرایط دیم بود و کمترین میزان کمبود آب اشباع برگ مربوط به تیمار محلول‌پاشی (۲۷/۵۵ درصد) در شرایط دو بار آبیاری مشاهده شد (جدول ٤). نتایج همچنین نشان داد کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار و محلول‌پاشی در شرایط دیم، توانست کمبود آب اشباع برگ را به‌ترتیب ۱۰/٤۷ و ۲٤/٥٦ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک کاهش دهد (جدول ٤)، به‌طوری که با مصرف اسید سالیسیلیک نیز کمبود آب اشباع برگ نسبت به زمانی که اسید سالیسیلیک استفاده شده است، کاهش می‌یابد. با مصرف اسید سالیسیلیک و توانایی این ماده در ایجاد سیگنال طی فرآیند ارسال سیگنال در تمام قسمت‌های گیاه و ایجاد حالت دفاعی در گیاه هنگام مواجهه با تنش‌های محیطی و در نهایت کاهش تعرق، مقدار آب مورد نیاز برگ حفظ می‌شود و تقسیم سلولی و رشد سلولی به‌صورت مطلوب‌تری نسبت به‌حالت عدم مصرف اسید سالیسیلیک صورت می‌گیرد (٤۷). سیبی و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که با مصرف اسید سالیسیلیک نیز کمبود آب اشباع برگ در گیاه آفتابگردان کاهش نشان داد، به‌طوری که بیشترین میزان کمبود آب اشباع برگ با میانگین ۱۱/۷٤ درصد متعلق به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک بود (٤۸).

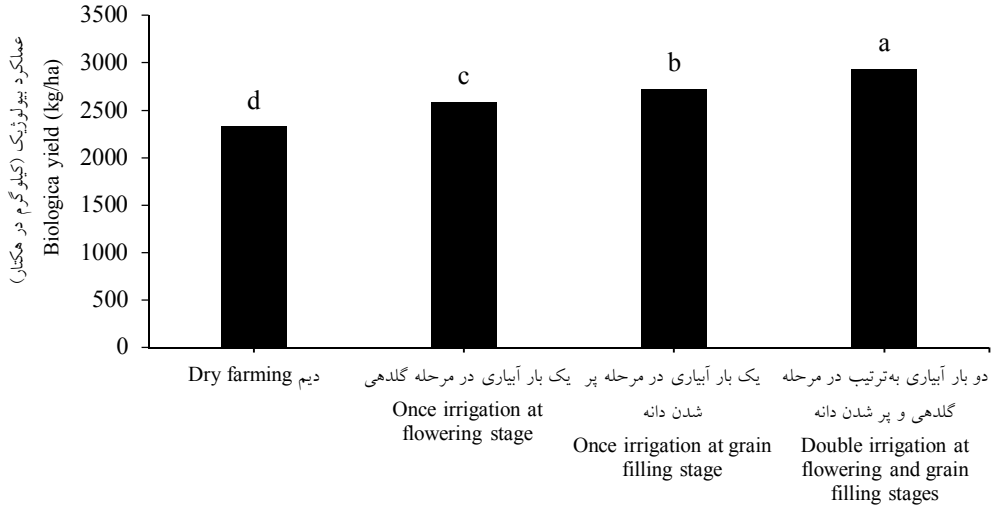
وزن هزار دانه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک (P<۰/۰۱) و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بر وزن هزار دانه بود (P<۰/۰٥، جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثرات برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد بیشترین وزن هزار دانه (۳/۸۸ گرم) از تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط دو بار آبیاری بدست آمد، و نسبت به پیش‌تیمار و عدم مصرف اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری در این شرایط آبیاری مشاهده شد (جدول ٤). آن‌چه که در اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک مشاهده می‌شود این است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط دو بار آبیاری توانست سهم بیش‌تری از مواد فتوسنتزی و ذخیره‌ای را برای هر دانه فراهم کند و از این رو توانست بیشترین وزن هزار دانه را به‌خود اختصاص دهد (جدول ٤). کمترین وزن هزار دانه از تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۲/٥٤ گرم) در شرایط دیم بدست آمد (جدول ٤). در این شرایط آبیاری با کاربرد اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری در وزن هزار دانه مشاهده نشد (جدول ٤). افزایش وزن هزار دانه در اثر

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از اسید سالیسیلیک با نتایج تحقیق مهرابیان‌مقدم و همکاران (۲۰۱۱) روی گیاه ذرت مطابقت داشت (۳۵). اسفینی‌فراهانی و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند که بیشترین وزن هزار دانه در گیاه دارویی زیره سبز تحت تیمار محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک حاصل گردید (۱۱).

عملکرد بیولوژیک: همان‌طور که جدول تجزیه واریانس نشان داد، عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر معنی دار سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک ($P<0/01$) قرار گرفت، ولی اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیکی (۲۹۳۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار دو بار آبیاری بدست آمد و کمترین عملکرد بیولوژیکی (۲۳۲۸ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار دیم بود (شکل ۱). نتایج همچنین نشان داد که تیمارهای دو بار آبیاری، آبیاری در مرحله پر شدن دانه و آبیاری در مرحله گلدهی نسبت به تیمار دیم به‌ترتیب ۲۶/۱۰، ۱۷/۱۰ و ۱۰/۹۹ درصد باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی شدند (شکل ۱). نتایج مطالعاتی کوچکی و همکاران (۱۳۹۰) در اسفرزه، موسوی‌نیک (۱۳۹۱) در اسفرزه و رضایی چیانه و همکاران (۱۳۹۱) در رازیانه مشابه نتایج حاصل از این آزمایش بوده و مؤید این واقعیت است که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد بیولوژیکی گیاهان مذکور گردید (۳۲، ۳۹ و ٤٤).



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر آبیاری

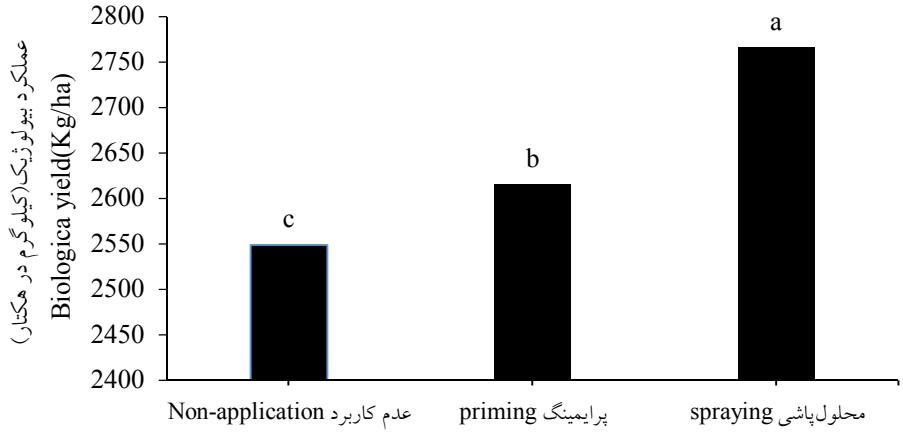
Figure 1- Mean comparison of biological yield affected by irrigation

نتایج اثرات ساده اسید سالیسیلیک بیانگر آن بود که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیکی (۲۷٦٦ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار محلول‌پاشی و کمترین میزان عملکرد بیولوژیکی (۲٥٤۸ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک بود (شکل ۲). همان‌طور که شکل ۲ نشان داد در تیمار محلول‌پاشی بیشترین عملکرد بیولوژیکی حاصل شد، که ۸/۵۲ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک افزایش نشان داد. لازم به ذکر است که پیش‌تیمار کردن بذور توانست عملکرد بیولوژیکی را ۲/٦ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک افزایش دهد. استفاده از اسید سالیسیلیک باعث گسترش سیستم ریشه‌ها، حفظ سلامت آن‌ها، جذب بیشتر آب و مواد غذایی شده و از طریق افزایش فتوسنتز در برگ‌ها (۲۲)، در افزایش عملکرد بیولوژیکی سیاهدانه نقش مثبتی ایفا کرده است. نتایج

www.SID.ir

Archive of SID

حاصل از آزمایش اثر اسید سالیسیلیک و تنش خشکی در گیاه سیر نشان داد که کاربرد خارجی ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با افزایش میزان کلروفیل و تجمع ماده خشک باعث افزایش زیست توده این گیاه نسبت به تیمار شاهد شد (۸).



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر اسید سالیسیلیک

Figure 2- Mean comparison of Biological yield affected by salicylic acid

شاخص برداشت: در تحقیق انجام شده نتایج تجزیه واریانس نشان داد که این صفت تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک قرار گرفت (P<۰/۰۱، جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین تیمارها مشخص گردید که در شرایط دیم بیشترین میزان شاخص برداشت (۴۰/۸۷ درصد) از پیش تیمار اسید سالیسیلیک بدست آمد (جدول ٤). همچنین در شرایط دیم کمترین میزان شاخص برداشت (۳٦/۷۳ درصد) متعلق به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک بود، که بین دو تیمار محلول پاشی (٤۰/۷۳ درصد) و پیش تیمار (٤۰/۸۷ درصد) در این شرایط آبیاری اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ٤). در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی کمترین میزان شاخص برداشت (۳٤/۵۸ درصد) متعلق به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک بود، و اختلاف معنی داری از نظر آماری بین دو تیمار محلول پاشی (٤۳/٤۳ درصد) و پیش تیمار (٤۱/۷۱ درصد) مشاهده نشد (جدول ٤). غریب (۲۰۰٦) اثر اسید سالیسیلیک را در دو گیاه دارویی ریحان و مرزنجوش مورد بررسی قرار داد و مشاهده نمود که عملکرد دانه و شاخص برداشت در این دو گیاه افزایش پیدا کرد (۱۸).

عملکرد دانه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد دانه سیاهدانه نیز حاکی از تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و برهمکنش آن‌ها بود (P<۰/۰۱، جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه از تیمار محلول‌پاشی (۱۳۲۹ کیلوگرم در هکتار) در شرایط دو بار آبیاری بدست آمد و کمترین میزان عملکرد دانه از تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۸۱۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط دیم حاصل شد (جدول ٤). اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش اثر مثبت دارد. در واقع، اسید سالیسیلیک از طریق توسعه واکنش‌های ضدتنشی، نظیر افزایش تجمع پرولین، باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع تنش می‌شود (۵۲). از طرفی به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک رطوبت مورد نیاز گیاه را تا حد قابل ملاحظه‌ای جبران کرده و از تبخیر و تعرق بیش از حد

www.SID.ir

Archive of SID

گیاه جلوگیری نموده و موجب افزایش عملکرد گیاه نسبت به حالت عدم مصرف اسید سالیسیلیک شده است. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک توانست تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه در شرایط دیم ایجاد کند، به‌طوری که استفاده از اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی و پیش‌تیمار، باعث افزایش ۲۳ و ۱٤/۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک شد (جدول ٤).

مطالعات انجام شده توسط گونز و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک در گیاه ذرت تحت تنش، رشد و میزان محصول را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (۱۹). نتایج مطالعه بیدعشقی و آروین (۲۰۱۰) نشان داد که کاربرد غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی با حذف رادیکال‌های آزاد شده عملکرد را به‌میزان ٤۹ درصد و در شرایط عدم تنش با بهبود فتوسنتز عملکرد سیر را ۲٤ درصد افزایش داد (۸).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد تنش خشکی با ایجاد تغییرات فیزیولوژیک نظیر کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ و کاهش محتوای کلروفیل موجب افت عملکرد دانه و اسانس گیاه دارویی سیاهدانه شد. کاربرد اسید سالیسیلیک به ویژه به‌صورت محلول‌پاشی اثرات سوء تنش خشکی بر گیاه را کاهش داده و از طریق بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی موجب بهبود عملکرد دانه و اسانس گردید. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، کاربرد اسید سالیسیلیک از طریق تعدیل اثر منفی تنش بر فیزیولوژی گیاه سیاهدانه باعث بهبود تحمل آن نسبت به کمبود رطوبت می‌شود. اسید سالیسیلیک ترکیبی ارزان و به سهولت قابل دسترس است. با توجه به وقوع تنش‌های خشکی در اغلب مناطق کشور و اهمیت متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی، کاربرد این ماده قابل توصیه می‌باشد.

References

1. Abdollahi, M., and Shekari, F. 2013. Effects of priming by salicylic acid on wheat yield at different sowing dates. Seed Res. 3: 1. 23-36. (In Persian)
2. Aebi, H.E. 1984. Catalase in vitro. Methods Enzymol. 105: 121-126.
3. Akbarinia, A., Khosravifard, M., Sharifi Ashoorabadi, E., and Babakhanlou, P. 2005. Effect of irrigation intervals on yield and agronomic characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iran J. Medic. Aroma. Plant. 21: 1. 65-73. (In Persian)
4. Amin, B., Mahleghah, G., Mahmood, H.M.R., and Hossein, M. 2009. Evaluation of interaction effect of drought stress with ascorbate and salicylic acid on some of physiological and biochemical parameters in okra (*Hibiscus esculentus* L.). Res. J. Biol. Sci. 4: 380-387.
5. Apel, K., and Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Plant Biol. 55: 373-399.
6. Arnon, D.T. 1949. Copper enzymes isolation chloroplasts phenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant physiol. Rockville. 24: 1-24.
7. Bahari, A.A., Sokhtesaraei, R., Chaghazardi, H.R., Masoudi, F., and Nazari, H. 2015. Effect of water deficit stress and foliar application of salicylic acid on antioxidants enzymes activity in leaves of *Thymus daenensis* subsp. *lancifolius*. Agron. Res. Moldova. 17: 1. 57-67.
8. Bideshki, A., and Arvin, M.J. 2010. Effect of salicylic acid and drought stress on growth, bulb yield and yield allicin content of garlic (*Allium sativum*) in field. Plant Ecophysiol. 2: 73-79.
9. Chance, B., and Maehly, A. 1955. Assay of catalase and peroxidase. Methods Enzymol. 2: 764-817.
10. Dhopte, A.M., and Manuel, L.M. 2002. Principals and Techniques for plant

www.SID.ir

Archive of SID

scientists. L[st] Edn. Updesh purohit for Agrobios (India). Odhpur. 373p.

11. Esfini Farahani, M., Paknejad, F., Bakhtiari Moghadam, M., and Rezaei, K. 2011. Effect of different rates and application methods of salicylic acid on apparent traits of cumin (*Cuminum cyminum* L.). J. Crop Ecophysiol. 3: 2. 189-195. (In Persian)
12. Esfini Farahani, M., Paknejad, F., Bakhtiari Moghadam, M., Alavi, S., and Hasibi, A.R. 2012. Effect of different application methods and rates of salicylic acid on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iran J. Agron. Plant Breed. 8: 3. 69-77. (In Persian)
13. Emam, Y., and Zavarehi, M. 2005. Drought tolerance in higher plants (Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis). University of Tehran Press. (In Persian)
14. Farhoudi, R. 2011. Evolution Effect of salt stress on growth, antioxidant enzymes activity and malondialdehyde concentrations of canola verities. Iran J. Field Crop Res. 9: 1. 123-130. (In Persian)
15. Fatma, A.E., and Gharib, L. 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. Int. J. Agric. Biol. 4: 485-492.

    Frary, A., Gol, D., Kele, D., Okmen, B., Pynar, H., Yova, O.H., Yemenicioolu, A., and Dooanlar, S. 2010. Salt tolerance in *Solanum pennellii*: antioxidant response and related QTL. Plant Biol. 6: 10-58.
16. Ghanati, F., Morita, A., and Yokota, H. 2002. Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cell. Soil Sci. Plant Nut. 48: 357-364.
17. Gharib, F.A.L. 2006. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activates and oil content of basil and marjoram. Int. J. Agri. Biol. 4: 485-492.
18. Gunes, Y.A., Inal, M., Alpaslan, F., Eraslan, E., Bagci, G., and Cicek, G.N. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. J. Plant Physiol. 164: 4. 728-736.

    Habibi, G. 2012. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. Acta. Biol. 56: 1. 57-63.
19. Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., and Bohnert, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bio. 51: 463-499.

    Hayat, Q., Hayata, S., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment. Environ. Exp. Bot. 68: 14-25.
20. Hayat, S., and Ahmad, A. 2007. Salicylic acid: Plant hormone. Springer Publishers, Dordrecht, the Netherlands. 97-99.
21. Hayat, S., Hasan, S.A., Fariduddin, Q., and Ahmad, A. 2008. Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. J. Plant Interact. 3: 297-304.
22. Hoyle, M.C. 1972. Indole acetic acid oxidase: a dual catalytic enzyme. Plant Physiol. 50: 15-18.
23. Kabiri, R., Farahbakhsh, H., and Nasibi, F. 2012. Salicylic acid ameliorates the effects of oxidative stress induced by water deficit in hydroponic culture of *Nigella sativa*. J. Stress Physiol. Biochem. 8: 3. 13-22.
24. Kabiri, R., Farahbakhsh, H., and Nasibi, F. 2014. Effect of drought stress and its interaction with salicylic acid on black cumin (*Nigella sativa*) germination and seedling growth. World App. Sci. J. 18: 4. 520-527.
25. Kang, G., Wang, C., Sun, G., and Wang, Z. 2003. Salicylic acid changes activities of H_2O_2-metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings. Environ. Exp. Bot. 50: 9-15.
26. Khalil, S.E., Nahed, J., Azizi, A., and Bedour, L.A. H. 2010. Effect of water stress, ascorbic acid and spraying time on some morphological and biochemical composition of *Ocimum basilicum* plant. J. American Sci. 6: 12. 33-44.

www.SID.ir

Archive of SID

27. Khoshbin, S. 2001. One hundred miraculous plants. Publishing House New World. 424p. (In Persian)
28. Koocheki, A., and Nasiri Mahallati, M. 1994. Ecology of crops. Second Edition. University of Mashhad Press. 291p. (In Persian)
29. Koocheki, A., Mokhtari, V., Taherabadi, Sh. B., and Kalantari, S. 2011. Performance evaluation of yield components quality properties of psyllium and psilium in wet conditions. J. Water Soil. 25: 3. 656-664. (In Persian)
30. Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G., and Popova, L. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. J. Plant Physiol. 165: 9. 920–931.
31. Levent Tuna, A., Kaya, C., Dikilitas, M., Yokas, I.B., Burun, B., and Altunlu, H. 2007. Comparative effects of various salicylic acid derivatives on key growth parameters and some enzyme activities in salinity stressed maize (*Zea mays* L.) plants. Pakistan J. Bot. 39: 3. 787-798.
32. Mehrabian Moghaddam, N., Arvin, M.J., Khajavi Nejad, G.R., and Maghsoudi, K. 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. J. Seed Plant Prod. 27: 1. 41-55. (In Persian)
33. Metwally A., Finkemeier, I., Georgi, M., and Dietz, K.J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiol. 132: 272-281.
34. Moradi Marjane, E., and Goldani, M. 2011. Evaluation of different salicylic acid levels on some growth characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under limited irrigation. Environ. Stress Crop Sci. 4: 1. 33-45. (In Persian)
35. Mozaffarian, V. 2006. Dictionary of Iranian plant names, Farhang Moaser Publishers. Tehran, 365P. (In Persian)
36. Muosavinik, M. 2012. Effect drought stress and sulphur fertilizer on quantity and quality yield of psyllium (*Plantago ovate* L.) in Balochistan. J. Agroecol. 4: 2. 170-182. (In Persian)
37. Nakano, Y., and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiol. 22: 867–880.
38. Noorooz Poor, Gh., and Rezvani Moghadam, P. 2005. Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iran J. Field Crop Res. 3: 2. 305-314. (In Persian)
39. Rahbarian, P., Afsharmanesh, G., and Shirzadi, M. H. 2010. Effects of drought stress and manure on relative water content and cell membrane stability in dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). J. Plant Ecol. 2: 1. 13-19. (In Persian)
40. Ramroudi, M., and Khamar, A.R. 2013. Interaction effects of salicylic acid spraying and different irrigation levels on some quantity and quality traits, and osmoticregulators in basil (*Ocimum basilicum* L.). J. Appl. Res. plant Ecophysiol. 1: 1. 19-26. (In Persian)
41. Rezaei Chiyaneh, E., Zehtab Salmasi, S., Ghassemi Golezani, K., and delazar, A. 2012. Physiological responces of fennel (*Foenicolum vulgare* L.) to water limitation. J. Agroecol. 4: 4. 355-374. (In Persian)
42. Saruhan, N., Saglam, A., and Kadioglu, A. 2011. Salicylic acid pre-treatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. Acta Physiol. Plant. 34: 1. 97-106.
43. Sepehri, A., and Golparvar, A.H. 2011. The effect of drought stress on water relations, chlorophyll content and leaf area in canola cultivars (*Brassica napus* L.). J. Biol. 7: 49-53. (In Persian)
44. Sibi, M. 2011. Effect of water stress, zeolite and foliar application of salicylic acid on some of agronomical and physiological traits in spring safflower. M.Sc thesis in Agronomy. Islamic Azad University, Arak. 215p. (In Persian)
45. Sibi, M., Mirzakhani, M., Gamarian, M., and Yaqobi, H. 2014. Effects of water stress and salicylic acid application on oil yield and some physiological characteristics of sunflower cultivars

www.SID.ir

Archive of SID

(*Helianthus annuus* L.). Iran J. Field Crop Sci. 45: 1. 1-14. (In Persian)
46. Singh, B., and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regul. 39: 137-141.
47. Tabatabaei, A.S. 2014. Effect of salicylic acid pretreatment of barley seed on seedling growth, proline content and antioxidant enzymes activity under drought stress. J. Plant Improv. 16: 2. 475-486. (In Persian)
48. Wen, P.F., Chen, J.Y., Wan, S.B., Kong, W.F., Zhang, P., Wang, W., Zhan, J., Pan, Q.H., and Hung, W.D. 2005. Salicylic acid activates phenylalanine ammonia-lyase in grape berry in response to high temperature stress. Agric. 55: 1. 1-10.
49. Zargari, A. 2009. Medicinal plants. Tehran University. p: 23-25. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir