Archive of SID

به‌زراعی کشاورزی
دوره ۱۷ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۴
صفحه‌های ۸۶۶-۸۵۵

اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات بیوشیمیایی گیاه دارویی زیرهٔ سبز

مهدیه امیری‌نژاد[۱]*، غلامعلی اکبری[۲]، امین باقی‌زاده[۳]، ایرج الهدادی[۲]، مریم شهبازی[۴] و معصومه نعیمی[۵]

۱. استادیار گروه علوم گیاهی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
۲. استاد گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
۳. دانشیار گروه بیوتکنولوژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
۴. استادیار گروه فیزیولوژی، پژوهشکدهٔ بیوتکنولوژی کشاورزی، کرج، ایران
۵. استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۶/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۹/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات بیوشیمیایی گیاه دارویی زیرهٔ سبز، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در گلخانهٔ پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. در این آزمایش، عامل تنش در سه سطح ۷۰ درصد (شاهد)، ۵۰ درصد (ملایم) و ۳۰ درصد (شدید) ظرفیت زراعی و عامل محلول‌پاشی در چهار سطح آب (شاهد)، آهن، روی و مخلوط آهن و روی با غلظت ۵ در ۱۰۰۰ بودند. محلول‌پاشی آهن و روی در شرایط تنش خشکی تأثیر معناداری بر برخی صفات داشت، به‌طوری که بیشترین مقدار پروتئین‌های محلول و پرولین به‌ترتیب ۴/۱۲ و ۳۶۴/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و بیشترین مقدار قندهای محلول ۵/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ، از کاربرد همزمان این دو عنصر تحت شرایط تنش شدید به‌دست آمد. همچنین محلول‌پاشی در شرایط تنش‌ملایم و شدید به کاهش معنادار مقدار مالون‌دی‌آلدئید به‌ترتیب ۱۶/۹ و ۰۶/۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ نسبت به تیمار شاهد منجر شد. تنش خشکی و محلول‌پاشی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داد، به‌طوری که بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول‌پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز از تیمار تنش شدید و محلول‌پاشی مخلوط عناصر آهن و روی به‌ترتیب ۲۸/۵۱، ۲۸۴/۷۵ و ۵۰/۹۹ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد، افزایش چشمگیری داشت. ازاین‌رو، محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف آهن و روی در مناطق در معرض تنش کم‌آبی، تأثیر مفیدی در افزایش صفات بیوشیمیایی و مقاومت به تنش خشکی در زیرهٔ سبز دارد.

کلیدواژه‌ها: آهن، تنش خشکی، روی، زیرهٔ سبز، صفات بیوشیمیایی، محلول‌پاشی.

* نویسنده مسئول Email: mamiri@ujiroft.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

گیاهان دارویی ذخایر ژنتیکی هر کشورند و به‌همراه داروها و مواد مشتق از آنها بخش مهمی از اقتصاد کشورها را به‌خود اختصاص داده‌اند. زیرهٔ سبز[1] از خانوادهٔ چتریان[2] از گیاهان مهم دارویی و صادراتی کشور است [۷]. این گیاه علاوه‌بر مصارف دارویی و غذایی، در صنایع آرایشی و بهداشتی نیز کاربرد فراوان دارد [۲۰ ، ۶].

الگوی بارش نامنظم در نواحی مختلف کشور، محصولات مختلف را در معرض شدت‌های مختلف تنش خشکی قرار می‌دهد. بیشتر اوقات دمای زیاد و وضعیت تغذیه‌ای نامناسب، اثرهای تنش خشکی را پیچیده‌تر می‌کند. گیاهی که خوب تغذیه شده و به‌مقدار کافی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف را دریافت کرده باشد، مقاومت بهتری به خشکی خواهد داشت [۳۰ ، ۲]. در این میان دو عنصر آهن و روی از عناصر کم‌مصرف ولی ضروری برای رشد گیاه‌اند که اهمیت اساسی و حیاتی در متابولیسم سلولی و فعالیت آنزیمی در گیاهان دارند [۲۵ ، ۱۲]. روی در ساخته شدن برخی اسیدهای آمینه، فرایند فتوسنتز و همانندسازی و بیان ژن‌ها شرکت دارد [۱۵، ۱۰]. آهن در ساختار دو گروه عمدهٔ پروتئین‌ها به‌عنوان گروه دهنده – گیرندهٔ الکترون در واکنش تنفس، در ساختمان پروتئین‌هایی نظیر لگ‌هموگلوبین[3] و آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و همچنین در فرایندهای وابسته به نور در فتوسنتز تأثیر اساسی دارد [۲۹ ، ۲۵]. دامنهٔ وسیعی از اختلالات مولکولی را که به آسیب‌های فیزیولوژیکی در گیاهان تحت تنش خشکی منجر می‌شوند، می‌توان ناشی از تولید رادیکال‌های فعال و مخرب اکسیژن دانست که سبب نابودی DNA، پراکسیداسیون چربی‌ها، تخریب پروتئین‌های غشایی و مولکول‌هایی نظیر کلروفیل و آنزیم‌ها در سلول می‌شوند [۹ ، ۲].

اسیدیتهٔ بالا، آهکی بودن و کمبود مادهٔ آلی خاک، مشکل اساسی کشاورزی مناطق مدیترانه‌ای است. به کمبود شدید دو عنصر ریزمغذی روی و آهن در گیاهان زراعی و درختان میوه اشاره شده است [۱۲ ، ۱۱]. در گندم اثر عناصر کم‌مصرف روی و منگنز بر عملکرد و برخی صفات زراعی معنادار گزارش شده است [۱۴ ، ۵]. محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد دانه و کارایی جذب آب در گیاه زنیان[4] در شرایط تنش شوری بی‌تأثیر مشاهده شد [۲۲]؛ اما اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در گیاه زنیان بر صفات رویشی نظیر ارتفاع گیاه، تعداد شاخهٔ فرعی و سطح برگ مثبت گزارش شد. محلول‌پاشی جیبرلین و نفتالین موجب افزایش معنادار رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات کل، درصد روغن و مقدار تیمول شد [۲۴]. اثر محلول‌پاشی سلنیوم در شرایط تنش کم‌آبی، بر روابط آبی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی کدوی پوست‌کاغذی مثبت بود [۸]. در تحقیقی اثر محلول‌پاشی برخی ویتامین‌ها و آمینواسیدها در رازیانه[5]، موجب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد چتر شد و به‌جز فنیل‌آلانین، سایر ترکیبات تأثیر معناداری بر مقدار روغن دانه نداشتند [۱۶]. اثر فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد زیرهٔ سبز معنادار گزارش شد [۲۹ ، ۱۷]. مصرف آهن به‌صورت خاکی و برگی در گلرنگ، موجب بهبود مقدار پروتئین‌های محلول برگ، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، کربوهیدرات‌های محلول (گلوکز، زایلوز و مانوز) و محتوای آب نسبی برگ تحت شرایط تنش رطوبتی شد [۴].

در شرایط کم‌آبی و تنش خشکی، تغییر الگوی کشاورزی به‌سمت کاشت گیاهان سازگار به خشکی و راهکارهای افزایش عملکرد در واحد سطح، ضروری

1 . *Cuminum Cyminum* L.
2. Apeaceae
3. Leghemogelobin
4. *Carum copticum* L. or *Trachyspermum ammi* L. (Apiaceae)
5. *Foeniculum vulgare* L. (Apiaceae)

www.SID.ir

Archive of SID

است. با توجه به خشکسالی و بحران کم‌آبی، فقر غذایی خاک‌های استان به‌ویژه از نظر عناصر کم‌مصرف روی و آهن، و قابلیت‌های استان کرمان در زمینهٔ تولید گیاهان دارویی به‌ویژه زیرهٔ سبز، ضرورت این تحقیق احساس می‌شد. هدف پژوهش حاضر، بررسی واکنش‌ها و آستانهٔ تحمل گیاه زیرهٔ سبز در شرایط تنش خشکی و امکان افزایش تحمل زیرهٔ سبز به تنش خشکی از طریق محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف است.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر روی و آهن بر برخی صفات بیوشیمیایی گیاه دارویی زیرهٔ سبز در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در گلخانهٔ پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. به‌دلیل غیریکنواختی در محیط گلخانه و زیاد بودن گلدان‌ها، طرح پایه به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی انتخاب شد. در این پژوهش، با توجه به بررسی‌های مقدماتی و زیاد بودن مقاومت نسبی گیاه زیرهٔ سبز به کم‌آبی، عامل تنش در سه سطح ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و ۳۰ درصد (تنش شدید) ظرفیت زراعی و عامل محلول‌پاشی با استفاده از کود محلول کلات آهن و روی در چهار سطح شامل محلول‌پاشی آهن، روی، مخلوط آهن و روی با غلظت ۵ در ۱۰۰۰ (براساس آزمایش‌های مشابه و توصیهٔ شرکت سازنده برای گیاهان زراعی) و شاهد (آب معمولی) بود [۱۱، ۱۷]. در این تحقیق، از بذر گیاه زیرهٔ سبز گونهٔ محلی ماهان کرمان و خاک مزرعهٔ نمونهٔ زیرهٔ سبز با مشخصات زیر از همان مکان استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش‌شده[1]

عمق خاک ۰-۳۰ سانتی‌متر	نقطهٔ پژمردگی دائم (٪)	ظرفیت مزرعه (٪)	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته	کربن آلی (٪)	شن (٪)	لای (٪)	رس (٪)
نتیجهٔ گزارش	۱۰/۰۳	۲۷/۳	۴/۴	۷/۸	۰/۲	۳۳	۵۶	۱۱
حدود مناسب			۳<	۶/۵-۷/۵	۱	بافت خاک: سیلتی لوم		

عمق خاک ۰-۳۰ سانتی‌متر	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن (mg/kg)	منگنز	روی	مس
نتیجهٔ گزارش	۰/۰۹۰	۲۳/۴۰	۲۷۲	۳/۲	۸/۶	۰/۵	۰/۹
حدود مناسب	۰/۱	۱۵	۳۰۰	۱۱-۱۶	۱۲- ۹	۳/۰- ۱/۱	۱/۲- ۰/۹

1. AGRI Nova fertilizer- Spain

www.SID.ir

Archive of SID

این آزمایش در شرایط گلخانه با ۱۴ ساعت دورهٔ نوری[1] و میانگین حرارت و رطوبت به‌ترتیب ۵±۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد و ۵±۵۵ درصد در روز و ۲±۱۶ درجهٔ سانتی‌گراد و ۵±۹۰ درصد در شب انجام گرفت [۲۳]. شش بذر پس از آماده‌سازی و ضدعفونی در گلدان‌های ۴ کیلوگرمی، با قطر دهانهٔ ۲۰ سانتی‌متر در عمق ۵ سانتی‌متر کشت شدند. در هفتهٔ سوم تنک کردن بوته‌ها صورت گرفت و در هر گلدان سه بوته نگهداری شد. از زمان کاشت تا پایان هفتهٔ چهارم، گلدان‌ها به‌طور مرتب سه‌روز یک‌بار آبیاری شدند. ۴۰ روز بعد از جوانه زدن (مرحلهٔ دو تا سه‌برگی گیاه) آبیاری کاهش یافت و تیمارهای تنش اعمال شد. بدین منظور، همهٔ گلدان‌ها در هر روز سه نوبت و در ساعات به‌خصوص، با ترازوی مناسب توزین شدند و در صورت نیاز به آبیاری براساس تنش درنظر گرفته‌شده (با استفاده از ظرفیت خاک زراعی و به‌روش وزنی)، مقدار آب لازم که پیشتر محاسبه شده بود به گلدان‌ها اضافه شد [۱، ۳]. محلول‌پاشی با غلظت ۵ در ۱۰۰۰ عناصر روی و آهن، ۴۰ روز بعد از جوانه‌زنی (مرحلهٔ دو تا سه‌برگی گیاه) و ۵۰ روز بعد از جوانه‌زنی (مرحلهٔ چهار تا پنج‌برگی گیاه) به‌صورت اسپری دست‌پاش انجام گرفت و برای افزایش جذب از محلول مویان[2] استفاده شد. به‌منظور ارزیابی صفات بیوشیمیایی، در ابتدای مرحلهٔ گلدهی، نمونه‌های ۵ گرمی از برگ‌های سالم هر گیاه برداشت و بلافاصله بعد از قرار دادن در ورقه‌های آلومینیومی، در نیتروژن مایع منجمد شده و تا زمان اجرای آزمایش‌های مربوط در فریزر ۸۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند.

برای اندازه‌گیری پرولین از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. مقدار مالون‌دی‌آلدئید[3] براساس روش هث و پارکر (۱۹۶۹) به‌عنوان فراوردهٔ نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و محتوای قندهای محلول کل براساس روش دوبویس و همکاران (۱۹۵۶) تعیین شد [۴]. مقدار پروتئین محلول کل براساس روش برادفورد (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از محاسبهٔ کاهش جذب پراکسیدهیدروژن در ۲۴۰ نانومتر و با روش دهیندیسا و همکاران (۱۹۸۱) انجام گرفت [۱۷]. فعالیت آنزیم به‌صورت واحد آنزیمی برحسب مقدار پروتئین کل (میلی‌گرم) موجود در ۱۰۰ میکرولیتر عصاره (به‌دست‌آمده از روش برادفورد) در ۱ دقیقه محاسبه شد. یک واحد آنزیمی کاتالاز مقدار آنزیمی است که ۱ میلی‌مول آب‌اکسیژنه را در ۱ دقیقه تجزیه می‌کند. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از گایاکول و اندازه‌گیری مقدار جذب تتراگایاکول تشکیل‌شده درنتیجهٔ فعالیت پراکسیداز، در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر[4] انجام گرفت [۴]. برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز از روش جیانوپولیتیس و رایس (۱۹۷۷) استفاده شد [۱۷]. همهٔ داده‌ها پس از اطمینان از یکنواختی، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخهٔ ۹) تجزیهٔ واریانس شدند و میانگین داده‌ها به‌روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر مقدار پروتئین‌های محلول برگ

سطوح مختلف تیمارهای تنش و محلول‌پاشی عناصر آهن و روی و اثر متقابل بین آنها بر مقدار پروتئین‌های محلول برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (جدول ۲).

1 . PPFD: 400 mol m-2s-1
2 .Hydro-Max Surfactant
3 . MDA
4 . Spectrophotometer Cary 50-Varian, Switzerland

www.SID.ir

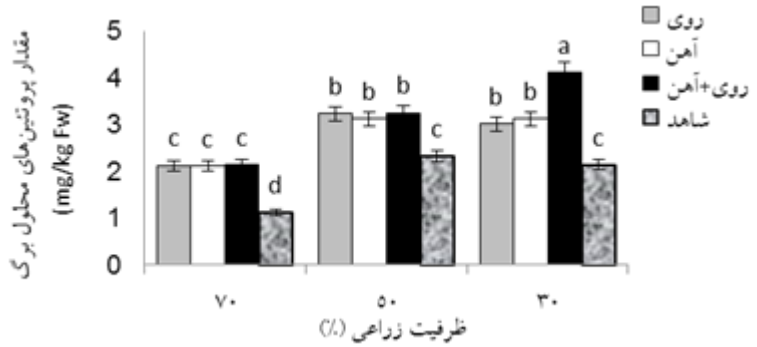
Archive of SID

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس برخی صفات بیوشیمیایی زیرهٔ سبز تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات						
		پروتئین کل	پرولین	قندهای محلول	مالون‌دی‌آلدئید	کاتالاز	گایاکول‌پراکسیداز	سوپراکسیددیسموتاز
بلوک	۲	۳۱۲/۰	۷۸۹/۰	۷۲۵/۰	۷۶۱/۵	۳۶۱/۸	۲۱/۱۶	۱/۳۱۵۳۴
تنش خشکی	۲	۱۲/۱۸**	۲۳/۶۲**	۳۲/۲۵**	۱۲/۳۴**	۴/۱۸۵۴۴*	۸/۸۸۹*	۲/۱۷۱۲۶۷۳۵**
محلول‌پاشی	۳	۲۳/۲۶*	۳۸/۴۱**	۲۵/۴۱**	۸۰/۶۶**	۴/۲۱۱۸۳**	۹/۴۱۲*	۱/۹۲۱۶۵۰۸**
تنش × محلول‌پاشی	۶	۲۲/۲۲**	۸۷/۴۲**	۲۷/۲۰**	۸۹/۵۹**	۷/۸۱۹۸**	۳/۱۱۷*	۱/۲۹۵۲۸۹۸**
خطای آزمایشی	۲۴	۳۱۲/۰	۷۸۹/۰	۷۲۵/۰	۵۵/۲	۸۷/۶۱	۳۳/۵	۰/۴۶۷۱۵
ضریب تغییرات (٪)	–	۹/۱۸	۱/۲۰	۱/۲۱	۸/۱۸	۱/۲۲	۲/۱۷	۹/۱۹

**، * و ns : به‌ترتیب اختلاف معنادار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد، و نبود اختلاف معنادار.

بیشترین پروتئین محلول برگ از تیمار تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی توأم آهن و روی به‌مقدار ۱۲/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین آن از تیمار تنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی به‌مقدار ۱۲/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد (شکل ۱). در آزمایشی دربارهٔ کاربرد خاکی و برگی کلات آهن در شرایط تنش رطوبتی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، پروتئین محلول برگ گلرنگ ۶۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین عدم محلول‌پاشی، محتوای پروتئین کل را در شرایط تنش رطوبتی در گیاه دارویی کدو پوست‌کاغذی کاهش داد [۸ ، ۴]. به‌نظر می‌رسد کاهش محتوای پروتئین کل تحت شرایط تنش کم‌آبی به دلیل واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ پروتئین و کاهش سنتز پروتئین است [۲۲].



شکل ۱. تأثیرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر مقدار پروتئین‌های محلول برگ

www.SID.ir

Archive of SID

محلول‌پاشی عناصر آهن و روی، تأثیر مثبت و فزاینده‌ای بر صفت مذکور داشت و بیشترین مقدار پروتئین‌های محلول برگ از کاربرد همزمان این دو عنصر به‌دست آمد (جدول ۲). تغییر محتوای پروتئین‌های برگ در نتیجهٔ تنش خشکی بسیار حائز اهمیت است. دهیدرین‌ها پروتئین‌هایی‌اند که در پاسخ به تنش خشکی سنتز می‌شوند و با افزایش تنظیم اسمزی، سلول‌ها را از پسابیدگی اضافی در طی تنش محافظت می‌کنند. محلول‌پاشی عناصر آهن، روی و مس، علاوه‌بر افزایش شاخص‌های کمّی، سبب افزایش درصد مواد جامد محلول، اسید اسکوربیک و مقدار پروتئین در پیاز شد [۲۲، ۱۱]. همچنین کاربرد خاکی و برگی عنصر آهن، تأثیر مثبتی بر افزایش مقدار پروتئین‌های محلول برگ گلرنگ در سطوح مختلف تنش خشکی داشت [۶].

روی در ساختار اسیدهای آمینهٔ هیستیدین، گلوتامین، آسپاراژین و تریپتوفان شرکت داشته و در بیان ژن‌های سنتزکنندهٔ پروتئین تأثیر مستقیم دارد [۱۵ ، ۱۰]. آهن نیز در سنتز دو گروه اصلی پروتئین‌ها به‌عنوان دهنده و گیرندهٔ الکترون در واکنش تنفس، در ساختار پروتئین‌هایی نظیر لگ‌هموگلوبین[1] و همچنین در فرایندهای وابسته به نور در فتوسنتز تأثیر اساسی دارد. آهن برای ساخت پروتئین نیز ضروری است؛ به‌طوری که تعداد ریبوزوم سلول‌های برگ با کمبود این عنصر کاهش می‌یابد [۲]. ترکیب عناصر روی و آهن با افزایش سنتز پروتئین‌های محلول و افزایش فتوسنتز در تغییر و تبدیل کربن فتوسنتزی مؤثر است [۲۹ ، ۲۵]. در پژوهش حاضر نیز به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی عناصر آهن و روی در شرایط تنش خشکی، از طریق افزایش فتوسنتز و تحریک رشد، به افزایش محتوای پروتئین‌های محلول برگ منجر شد.

۲.۳. تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر مقدار پرولین

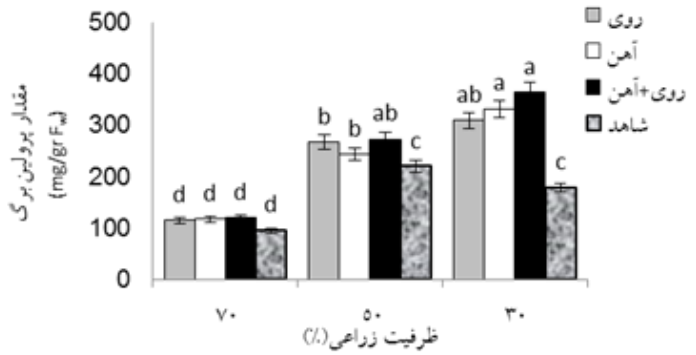
نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها مشخص کرد که تنش خشکی اثر معناداری در سطح آماری ۱ درصد بر مقدار تجمع پرولین برگ زیرهٔ سبز داشت (جدول ۲). اثر متقابل محلول‌پاشی و تنش خشکی نیز بر مقدار تجمع پرولین در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (شکل ۲). با افزایش شدت تنش خشکی، مقدار اسید آمینهٔ پرولین افزایش یافت و محلول‌پاشی عناصر روی و آهن نیز به افزایش معنادار اسید آمینهٔ مذکور در مقایسه با شاهد منجر شد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار پرولین برگ از تیمار تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی توأم آهن و روی به‌مقدار ۵۲/۳۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، و کمترین مقدار آن از تیمار تنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی به‌مقدار ۱۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد (شکل ۲).

تأثیر کاربرد خاکی و برگی عنصر آهن بر افزایش مقدار اسید آمینهٔ پرولین در برگ گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی مثبت و معنادار گزارش شد [۴]. در شرایط تنش خشکی، تجمع پرولین، به ایجاد تنظیم اسمزی در سلول‌های گیاه کمک می‌کند [۲۹]. تجمع پرولین در بافت گیاهان تنش‌دیده، به‌علت افزایش سنتز آن به‌وسیلهٔ پیرولین-۵-کربوکسیلازسنتتاز و کاهش تجزیهٔ آنزیم پرولین‌اکسیداز است [۱۳]. آهن و روی به‌عنوان کوفاکتور، تأثیر مهمی در فعالیت آنزیم‌های برگ به‌ویژه در شرایط تنش دارند، به‌طوری که بر فعالیت آنزیم‌های یادشده به‌شدت اثر می‌گذارند [۱۰].

1. Leghemoglobin

www.SID.ir

Archive of SID

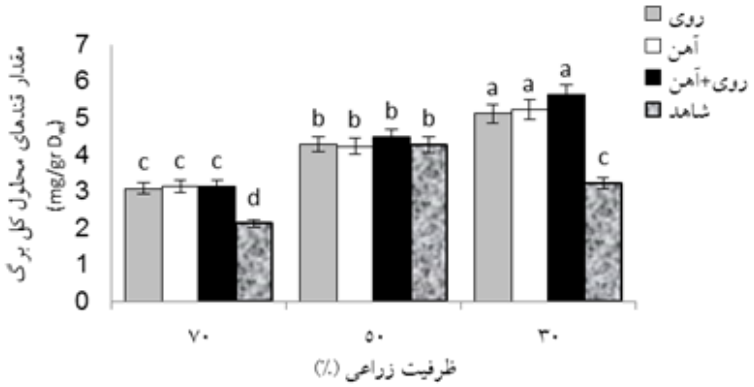


شکل ۲. تأثیرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر مقدار پرولین برگ

۳.۳. تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر مقدار قندهای محلول کل

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های این پژوهش نشان داد که تنش خشکی اثر معناداری در سطح ۱ درصد بر مقدار قندهای محلول برگ زیرهٔ سبز داشت و اثر متقابل محلول‌پاشی و تنش خشکی نیز بر مقدار قندهای محلول در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (جدول ۲). بیشترین قندهای محلول برگ از تیمار تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی آهن و روی به‌مقدار ۶۲/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ و کمترینِ آن از تیمار تنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی به‌مقدار ۱۲/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ به‌دست آمد (شکل ۳).

افزایش مقدار قندهای محلول برگ تحت شرایط تنش خشکی در گیاهان مختلف مشاهده شد و مصرف کلات آهن در خاک در شرایط آبیاری مطلوب تأثیر مثبتی بر افزایش قندهای محلول (گلوکز، زایلوز و مانوز) داشت [۴]. به‌طور کلی، در شرایط تنش خشکی با وجود کاهش نرخ آسیمیلاسیون کربن، محتوای قند افزایش می‌یابد. تیمار عناصر غذایی در چغندرقند، سبب تجمع قندهای محلول مانیتول و سوربیتول در شرایط تنش خشکی تا ۸۰ درصد شد [۲۸]. همچنین در ذرت، تنش خشکی و تیمار کمبود عنصر آهن، به کاهش شدید مقدار قندهای محلول انجامید [۲۹]. تجمع قندهای محلول می‌تواند به حفظ تورژسانس در بافت‌های تنش‌دیده به‌واسطهٔ تنظیم اسمزی کمک کند و عناصر ریزمغذی با شرکت در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و نیتروژن به افزایش قندهای محلول در گیاه در شرایط تنش کمک می‌کنند [۱۹].



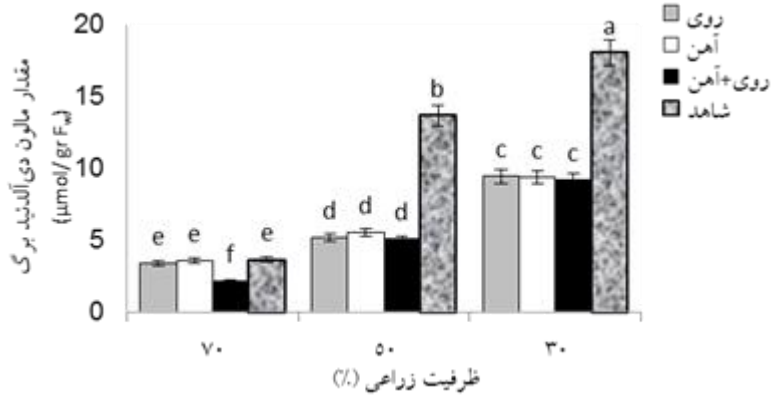
شکل ۳. تأثیرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر مقدار قندهای محلول کل

www.SID.ir

Archive of SID

۴.۳. تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر مقدار مالون‌دی‌آلدئید برگ

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر آهن و روی اثر معناداری در سطح ۱ درصد بر مقدار مالون‌دی‌آلدئید داشت. همچنین تأثیرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی نیز بر میزان صفت مذکور در سطح آماری ۱ درصد معنادار بود (جدول ۲). با افزایش سطح تنش خشکی مقدار مالون‌دی‌آلدئید افزایش یافت، ولی تیمار محلول‌پاشی سبب کاهش معنادار صفت مذکور شد. نتایج اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین مالون‌دی‌آلدئید از تیمار تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون محلول‌پاشی آهن و روی به‌مقدار ۰۴/۱۸ میکرومول بر گرم وزن تر برگ و کمترینِ آن از تیمار تنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی آهن و روی به‌مقدار ۲/۱۶ میکرومول بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد (شکل ۴).



شکل ۴. تأثیرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر مقدار مالون‌دی‌آلدئید برگ

محلول‌پاشی آهن و روی در شرایط تنش‌های ملایم و شدید به‌ترتیب سبب کاهش ۴۹ و ۶۳ درصدی مقدار مالون‌دی‌آلدئید برگ زیرهٔ سبز شد. افزایش مقدار مالون‌دی‌آلدئید در برگ گیاه تحت شرایط تنش خشکی و کمبود عنصر روی در ذرت نیز مشاهده شد [۱۷]. مقدار مالون‌دی‌آلدئید در تیمار کمبود آهن افزایش می‌یابد که افزایش تأثیرات تنش اکسیداتیو را در پی دارد [۲۹]. همچنین، سطوح مختلف محلول‌پاشی و کاربرد خاکی کلات آهن در شرایط تنش رطوبتی، موجب کاهش ۲۴ درصدی مالون‌دی‌آلدئید در گلرنگ شد و توانست تأثیرات تنش رطوبتی را جبران کند [۴].

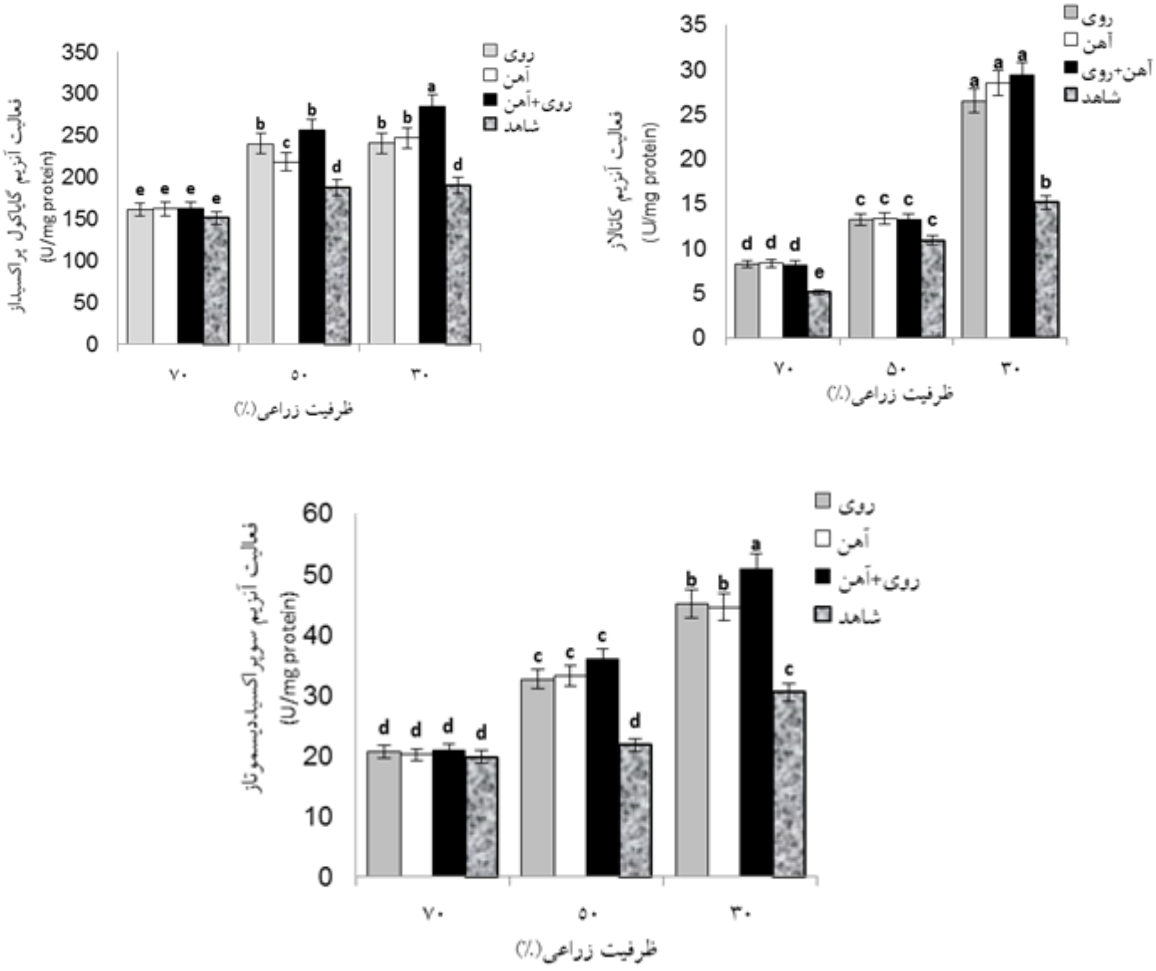
مالون‌دی‌آلدئید محصول تجزیهٔ هیدروپراکسیدهای اسیدهای چرب غیراشباع است و اغلب نوعی نشانگر زیستی برای پراکسیداسیون لیپیدهای غشا که در اثر تنش اکسیداتیو پدید می‌آید، محسوب می‌شود [۱۹، ۴]. محتوای افزایش‌یافتهٔ مالون‌دی‌آلدئید ممکن است به‌علت تخریب غشا در نتیجهٔ تنش اکسیداتیو القاشده به‌وسیلهٔ انواع اکسیژن فعال باشد. به‌نظر می‌رسد عناصر آهن و روی با فعال کردن ترکیبات آنتی‌اکسیدان و حفظ اسیدهای‌چرب غیراشباع از تأثیر منفی رادیکال‌های آزاد می‌کاهند [۱۷]. تیمار محلول‌پاشی آهن و روی سبب کاهش مقدار مالون‌دی‌آلدئید در شرایط تنش خشکی شد.

www.SID.ir

Archive of SID

۵.۳. تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر شدت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ

در پژوهش حاضر، تنش کم‌آبی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش‌داد و محلول‌پاشی عناصر روی و آهن موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز[1]، گایاکول‌پراکسیداز[2] و سوپراکسیددیسموتاز[3] شد (شکل ۵). بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول‌پراکسیداز و آنزیم سوپراکسیددیسموتاز از تیمار تنش شدید و همراه با محلول‌پاشی توأم آهن و روی به‌ترتیب ۵۱/۲۸، ۷۵/۲۸۴ و ۹۹/۵۰ براساس تغییرات جذب به‌میلی‌گرم پروتئین دردقیقه به‌دست آمد. این نتایج تفاوت بسیار معناداری با عدم محلول‌پاشی در شرایط بدون تنش نشان داد، درحالی‌که کمترین مقدار آن از تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون محلول‌پاشی آهن و روی به‌ترتیب ۱۲/۵، ۹۱/۱۵۰ و ۸۲/۱۹ براساس تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه به‌دست آمد (شکل ۱).



شکل ۵. تأثیرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاه زیرهٔ سبز
الف) کاتالاز، ب) گایاکول‌پراکسیداز، ج) سوپراکسیددیسموتاز

1. Catalase (CAT)
2. Gayacol peroxidase (GOX)
3. Super oxid dismutase (SOD)

www.SID.ir

Archive of SID

آنزیم کاتالاز از دستهٔ پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و هنگامی در سلول‌های گیاهی و جانوری وارد عمل می‌شود که مقدار مادهٔ پراکسیدهیدروژن در محیط زیاد باشد. کاتالاز سلول‌ها را از تأثیرات پراکسیدهیدروژن محافظت می‌کند. در شرایط عادی حضور کاتالاز در سلول‌ها، می‌تواند تأثیر مهمی در افزایش مقاومت به تنش اکسیداتیو داشته باشد. مشخص شده که آنزیم کاتالاز، پراکسیدهیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل می‌کند [۲۶ ، ۲۱]. تولید گونه‌های فعال اکسیژن از مهم‌ترین عوامل آسیب‌رسان به سیستم فتوسنتزی در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی است. یکی از راه‌های مقابلهٔ گیاهان به‌منظور کاهش آثار مخرب گونه‌های اکسیژن فعال، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است که در این میان کاتالاز، گایاکول‌پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز از مهم‌ترین آنزیم‌های زدایندهٔ پراکسیدهیدروژن به‌شمار می‌آیند [۲۶ ،۱۷]. با افزایش تنش خشکی پس از ۲۴ ساعت، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در گیاه افزایش می‌یابد. افزایش فعالیت این آنزیم در تیمار تنش به‌دلیل تأثیر مهم این آنزیم در مقابله با رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجادشده در اثر تنش خشکی است. بنابراین سوپراکسیددیسموتاز یکی از اجزای مهم سازوکار دفاعی گیاه درنظر گرفته می‌شود [۲۱]. عنصر روی در بیان ژن‌های سنتزکنندهٔ پروتئین‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مؤثر است و کوفاکتور افزایش فعالیت این آنزیم‌ها نیز محسوب می‌شود [۱۵ ،۱۰].

نتیجه‌گیری

براساس نتایج تحقیق حاضر، به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی آهن و روی از راه تخفیف آثار مخرب تنش و حفاظت گیاه در برابر رادیکال‌های اکسیژن فعال، با افزایش محتوای اسید آمینهٔ پرولین، پروتئین‌ها و قندهای محلول و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، سبب افزایش تحمل به خشکی در گیاه زیرهٔ سبز می‌شود. با توجه به خشکسالی و بحران کم‌آبی در استان کرمان، فقر غذایی خاک‌های استان به‌ویژه از نظر عناصر کم‌مصرف روی و آهن، قابلیت‌های استان کرمان در زمینهٔ تولید گیاهان دارویی به‌ویژه زیرهٔ سبز در شرایط تنش خشکی، اجرای این آزمایش در چندین سال و با غلظت‌های مختلف عناصر کم‌مصرف در شرایط مختلف تنش خشکی و در شرایط مزرعه نیز توصیه می‌شود.

منابع

۱. پازوکی ع ر، رضایی ح، حبیبی د و پاک‌نژاد ف (۱۳۹۱) اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی آسکوربات و جیبرلین بر روی برخی صفات مورفولوژیکی، محتوی نسبی آب برگ و پایداری غشای سیتوپلاسمی گیاه آویشن (*Thymus vulgaris L.*). زراعت و اصلاح نباتات. 8(۱): 13–1.

۲. رشنو م ح، طهماسبی‌سروستانی ز ا، حیدری‌شریف‌آباد ح، مدرس‌ثانوی س ع م و توکل افشاری ر (۱۳۹۲) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی دوگونه یونجG یکساله. تولید گیاهان زراعی. ۶(۱): 148–125.

۳. صفی‌خانی ف ا، حیدری‌شریف‌آباد ح، سیادت س ع ا، شریفی‌شورآبادی ا، سیدنژاد س م و عباس‌زاده ب (۱۳۸۶) تأثیر تنش خشکی بر درصد و عملکرد اسانس و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavcia L.*). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۳(۱): 99–86.

۴. فتحی‌امیرخیز ک، امینی دهقی م، مدرس ثانوی س ع م و حشمتی س (۱۳۹۰) اثر کاربرد خاکی و برگی عنصر آهن (Fe) بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی گلرنگ

www.SID.ir

Archive of SID

(*Caethamus tinctorius L.*) تحت دو رژیم رطوبتی. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۳): 518–509.

۵. مصطفوی‌راد م، طهماسبی‌لرستانی زا و محمودی ر (۱۳۸۷) اثر عناصر کم‌مصرف روی و منگنز بر عملکرد و برخی صفات زراعی سه رقم گندم. زراعت و باغبانی. ۸۰: 8–1.

۶. میرشکاری ب (۱۳۸۳) اثرات تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و اسانس دانه زیرهٔ سبز (*Cuminum cyminum L.*) در شرایط آب‌وهوایی تبریز. علوم کشاورزی. ۱۰(۲): 157–145.

۷. نبی‌زاده م ر، کافی م و راشدمحصل م ح (۱۳۸۲) اثرات شوری بر رشد، عملکرد، تجمع املاح و درصد اسانس زیرهٔ سبز. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱(۱): 60–53.

۸. نعیمی م، اکبری غ ع، شیرانی‌راد اح، حسن‌لو ط و اکبری غ ع (۱۳۹۱) اثر کاربرد زئولیت و محلول‌پاشی سلنیوم در شرایط تنش کم‌آبی بر روابط آبی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی کدو پوست‌کاغذی. به‌زراعی کشاورزی. ۱۴(۱): 81–67.

۹. همراهی س، حبیبی د، مدنی ح و مشهدی اکبربوجار م (۱۳۸۷) اثر سایکوسل و عناصر ریزمغذی بر میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌عنوان شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی در کلزا. یافته‌های نوین کشاورزی. ۲(۳): 329– 316.

10. Bagci SA, Ekiz H, Yilmaz A and Cakmak I (2007) Effects of zinc deficiency and water stress on grain yield of field-grown Wheat cultivars in central Anatolia. Agronomy and Crop Science. 193: 198-206.

11. Cakmak I (2000) Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen specious. New Phytologist. 146: 185-205.

12. Cakmak I, Kalayci M, Ekis H, Brauni J, Kilinc Y and Yilmaz A (1999) Zn deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO – science for stability project. Field Crop Research. 60: 175-188.

13. Chaves MM, Pereira JS, Maroco JP, Rodrigues ML, Riccardo CPP, Osorio ML, Carvalho T, Faria T and Pincheiro C (2002) How plants cope with water stress in the field Photosynthesis and growth. Annuals of Botany. 89: 907-916.

14. Dewal GS and Pareek RG (2004) Effect of phosphorus, sulphur and zinc on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agronomy. 49: 160-162.

15. Grewal HS and Wiliams R (2000) Zinc nutrition affects alfalfa response to water stress and excessive moisture. Plant Nutrition. 23: 942-962.

16. Hendawy SF and Ezz El-Din AA (2010) Growth and yield of *Foeniculum vulgare* var.azoricum as influenced by some vitamins and amino acids. Ozean Journal of Applied Sciences. 3(1): 113-123.

17. Hong W and Ji-Yan J (2007) Effects of zinc deficiency and drought stress on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays L.*). Agricultural Science in China. 6(8): 988-995.

18. Jangir RP and Singh R (1996) Effect of irrigation and nitrogen on seed yield of cumin (*Cuminum cyminum L.*). Indian Journal Agronomy. 41: 140-143.

19. Lascano HR, Antonicelli GE, Luna CM, Melchiorre MN, Gomez LD, Racca RW, Trippi VS and Casano LM (2005) Antioxidant system response of different wheat cultivars under drought: field and *in vitro* studies. Austrian Journal Plant Physiology. 28: 1095-1102.

www.SID.ir

Archive of SID

20. Li R and Jiang Z (2004) Chemical composition of the essential oil of cumin (Cuminum cyminum L.) from China. Department of Food Science and Environment. Tianjin. 19 (4): 311-313.

21. Nayyar H and Gupta D (2006) Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. Environmental and Experimental Botany. 58: 106-113.

22. Ramezani M, Seghatoleslami M, Mousavi G and Sayyari-Zahan MH (2013) Effect of salinity and foliar application of iron and zinc on yield and water use efficiency of ajowan (Carum copticum). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 7: 421-426.

23. Rebey IB, 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 Crop and Products. 36: 238-245.

24. Rohamare Y, Nikam TD and Dhumal KN (2013) Effect of foliar application of plant growth regulators on growth, yield and essential oil components of ajwain (Trachyspermum ammi L.). International Journal of Seed Spices. 3(2): 34-41.

25. Ruiz JM, Baghour M and Romers L (2000) Efficiency of the different genotypes of tomato in relation to foliar content of fe and the response of some bioindicators. Plant Nutrition. 23: 1777-1786.

26. Sairam RK and Saxena GC (2000) Oxidative stress and antioxidant in wheat genotype: Possible mechanism of water stress tolerance. Agronomy and Crop Sciences. 184: 55-61.

27. Shaw B, Thomas TH and Cooke DT (2002) Responses of sugar beet (Beta vulgaris L.) to drought and nutrient deficiency stress. Plant Growth Regulation. 37: 77-83.

28. Sun B, Jing Y, Chen K, Song L, Chen F and Zhang L (2007) Protective effect of nitric oxide on iron deficiency induced oxidative stress in maize (Zea mays L.). Plant Physiology. 164: 536-543.

29. Trunctunk R and Trunkturk M (2006) Effects of different phosphorous levels on the yield and quality components of cumin (Cuminum cyminum L.). Agriculture Biological Science. 2(6): 336-340.

30. Yeritsyan N and Economakis C (2002) Effect of nutrient solution's iron concentration on growth and essential oil content of oregano plants growth in solution culture. Acta Horticulture. 576: 277-283.

www.SID.ir