"مجله علوم زراعی ایران"
جلد سیزدهم، شماره ۳ پاییز ۱۳۹۰

اثر مصرف آهن بر فعالیت آنزیمی، عملکرد دانه و میزان روغن دانه گلرنگ در شرایط کمبود آب
Effect of iron application on enzymatic activity, grain yield and oil content of safflower under water deficit conditions

کیوان فتحی امیر خیز[۱]، مجید امینی دهقی[۲]، سید علی محمد مدرس ثانوی[۳]، علیرضا رضازاده[۴] و سیاوش حشمتی[۵]

چکیده

فتحی امیر خیزِ، ک.، م. امینی دهقی، س. ع. م. مدرس ثانوی، ع. ر. رضا زاده و س. حشمتی. ۱۳۹۰. اثر مصر ف آهن بر فعالیت آنزیمی، عملکرد دانه و میزان روغن دانه گلرنگ در شرایط کمبود آب. **مجله علوم زراعی ایران. ۱۳(۳): ٤٦٥-٤٥٢.**

به منظور بررسی تأثیر روش مصرف کلات آهن بر میزان فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی اکسیدان، عملکرد دانه و روغن دانه، در شرایط کمبود آب در گلرنگ، آزمایشی به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعهٔ پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، در سال ۱۳۸۷ اجرا گردید. کرت‌های اصلی شامل دو سطح آبیاری ۱- بدون قطع آبیاری (آبیاری بر اساس تخلیهٔ ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) ۲- قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی (آبیاری بر اساس تخلیهٔ ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و کرت‌های فرعی شامل هشت سطح کلات آهن (از منبع سکوسترین ۱۳۸) که چهار سطح آن با مقادیر (صفر، ۵۰ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت کاربرد خاکی و چهار سطح با غلظت‌های (صفر، ۱ ، ۲ و ۳ در هزار)، به صورت محلول پاشی بر روی گلرنگ بهاره (رقم IL 111) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مصرف خاکی کلات آهن در شرایط تنش خشکی، میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را به طور معنی داری افزایش داد، در حالیکه میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز با تیمار محلول پاشی کلات آهن افزایش یافت. در شرایط بدون تنش نیز بیشترین سطح فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز، با مصرف خاکی کلات آهن حاصل گردید، ولی سطح فعالیت آنزیم‌های پلی فنل اکسیداز و کاتالاز با تیمارهای محلول پاشی کلات آهن، افزایش معنی‌داری نشان دادند. اثر تنش خشکی و کلات آهن بر شاخص برداشت، عملکرد دانه و روغن دانهٔ گلرنگ معنی‌دار بود، به نحوی که تیمارهای ۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار و محلول پاشی ۱ در هزار در شرایط تنش خشکی به ترتیب با ۳۱۷٦/۵ و ۳۱۳۳/٦ کیلوگرم در هکتار و تیمارهای محلول پاشی ۲ در هزار و ۱۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار، در شرایط بدون قطع آبیاری به ترتیب با ۳۷٦۵/۷ و ۳۷۳۱/۳ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را داشتند. بالاترین عملکرد روغن با ۱٤٤۰/۲ کیلوگرم در هکتار، در شرایط تنش خشکی با مصرف ۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار به دست آمد، درحالیکه بیشترین عملکرد روغن در شرایط بدون تنش با ۱٦۹۹/٦ کیلوگرم در هکتار با محلول پاشی ۲ در هزار کلات آهن حاصل گردید. نتایج این آزمایش نشان داد که مصرف کلات آهن در شرایط تنش خشکی می‌تواند با افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، باعث بهبود عملکرد دانه و عملکرد روغن دانهٔ گلرنگ شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی اکسیدان، آهن، تنش کمبود آب، عملکرد دانه و گلرنگ.

تاریخ دریافت : ۱۳۸۹/۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۲۰

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: fathikeivan@gmail.com)
۲- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد
۳- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۴- مربی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد
۵- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

مقدمه

کمبود آب اغلب اولین عامل محدود کننده برای تولید گیاهان زراعی در شرایط خشک و نیمه خشک است (Hussain *et al*., 2004). واکنش گیاهان به سطوح مختلف تنش آب متفاوت بوده و به شدت و مدت تنش، گونهٔ گیاهی و مرحلهٔ رشد و نمو آن بستگی دارد (Chaves *et al*., 2003). هنگامی که تنش آب طی مرحلهٔ زایشی رخ دهد، کاهش تولید محصول بیشتر خواهد بود (Selote and Khana-Chopra , 2004). یکی از تغییرات بیوشیمیایی در گیاهانی که در شرایط تنش‌های محیطی قرار دارند رخ می‌دهد، تولیدگونه‌های اکسیژن فعال است (Dat *et al*., 2000). در شرایط تنش آب، بسته شدن روزنه‌ها، باعث محدود شدن اتلاف آب و نفوذ دی اکسید کربن می‌گردد. کاهش نفوذ دی اکسید کربن، تثبیت آن و اکسیده شدن مجدد $NADP^+$ توسط چرخهٔ کالوین را کاهش می‌دهد (Scandalios, 1993). تنش خشکی، با افزایش انتقال الکترون به مولکول اکسیژن، موجب تولید گونه‌های اکسیژن فعال مانند رادیکال سوپراکسید ($O^{\bullet-}_2$)، رادیکال هیدروکسیل ($OH^{\bullet}$)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اکسیژن منفرد (o^1_2) می‌شود (Asada, 1999)، بنابراین یکی از پیامدهای اجتناب ناپذیر تنش خشکی، افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال در اجزای مختلف سلولی مانند کلروپلاست‌ها، پراکسی زوم‌ها و میتوکندری‌ها است (De Carvalho, 2008). گیاهان برای کاستن از آسیب‌های ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال دارای سازوکارهای آنتی اکسیدانی هستند که شامل اجزای غیر آنزیمی مانند آسکوربات، گلوتاتیون، توکوفرول‌ها، کاروتنوئیدها و فلاوونوئیدها و آنزیم هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POX)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، گلوتاتیون ردوکتاز (GR) و پلی فنل اکسیداز (PPO) هستند (Agarwal and Pandey, 2004). فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان نقش مهمی را در پاکسازی گونه‌های اکسیژن فعال ایفا می‌کنند. این آنزیم‌ها توانایی تحمل به تنش در گیاه را افزایش داده و پیری را به تأخیر می‌اندازند (Alscher *et al*., 2002). آنزیم‌های SOD، APX و CAT از سیستم‌های فتوسنتزی گیاهانی که در معرض تنش‌های محیطی قرار گرفته‌اند، حفاظت می‌کنند (Cavalcanti *et al*., 2004). آنزیم SOD، رادیکال سوپراکسید ($O^{\bullet-}$) تولید شده به وسیله زنجیره انتقال الکترون در کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها را با تولید پراکسید هیدروژن (H_2O_2) از بین می‌برد. پراکسید هیدروژن نیز به وسیله آنزیم APX در بخش‌های مختلف سلولی از بین برده می‌شود (Shigeoka *et al*., 2002). آنزیم کاتالاز نیز پراکسید هیدروژن تولید شده در مسیرهای تنفس نوری داخل پراکسی زوم‌ها را از بین می‌برد (Mittler, 2002). یکی از اثرات تنش آب، تغییر در میزان در دسترس بودن عناصر غذایی و جذب و انتقال آن‌ها در گیاه است (Schulze, 1991). آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، از مهم‌ترین آنزیم‌های خنثی کنندهٔ پراکسیدهیدروژن در گیاهان هستند، زیرا آن‌ها حاوی آهن هستند و فعالیت آن‌ها احتمالاً تحت تأثیر کمبود آهن قرار می‌گیرد (Shigeoka *et al*., 2002). گزارش شده است که فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز، در شرایط کمبود آهن کاهش می‌یابد (Sun *et al*., 2007). ویرسما (Wiersma, 2005) تأکید کرد که مصرف کافی Fe-EDDHA می تواند به طور مؤثری کلروز را کاهش و عملکرد را در سویا افزایش دهد.

گلرنگ یک گیاه زراعی است که سازگاری خوبی به مناطق نیمه خشک دارد و در دامنهٔ وسیعی از جهان کشت می‌شود (Nasr *et al*., 1978). با توجه به اینکه تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کنندهٔ کشت گیاهان است، بنابراین هدف از این تحقیق، مطالعهٔ فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، عملکرد دانه و روغن دانهٔ گلرنگ در پاسخ به مصرف خاکی و برگی

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

عنصر آهن در شرایط تنش خشکی بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۷ در مزرعهٔ پژوهشی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شاهد در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقهٔ شمالی و ۵۱ درجهٔ شرقی واقع در ابتدای آزاد راه تهران- قم انجام گرفت. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه، ۲۳۸/۹ میلی‌متر، با میانگین درجه حرارت سالانه ۱۷/۷ درجهٔ سانتیگراد است. مشخصات شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار اجرا شد. تیمار آبیاری در دو سطح شامل ۱- بدون قطع آبیاری (آبیاری بر اساس تخلیهٔ ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) ۲- قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی و گرده افشانی (آبیاری بر اساس تخلیهٔ ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی)، به عنوان فاکتور اصلی و ۸ سطح کلات آهن از منبع سکوسترین ۱۳۸ (Fe-EDDHA) که ۴ سطح آن به صورت مصرف خاکی با مقادیر (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و ۴ سطح به صورت مصرف برگی با غلظت‌های (محلول پاشی با آب، محلول پاشی ۱ ، ۲ و ۳ در هزار)، به عنوان فاکتور فرعی بر روی گلرنگ بهاره (رقم IL 111) در نظر گرفته شد. عملیات تهیهٔ زمین شامل شخم، دو دیسک عمود برهم در هنگام کاشت و تسطیح زمین بود. کود پاشی مطابق روال منطقه انجام گرفت. میزان کود مصرف شده معادل ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (از منبع اوره) در ابتدای کاشت بود. هر کرت دارای ابعاد ۲×۴ متر، شامل ۴ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتیمتر بود. طول هر ردیف ۴ متر و بین هر کرت نیز یک ردیف نکاشت، در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف‌های کشت، ۵ سانتیمتر و تراکم نهایی معادل ۴۰۰ هزار بوته در هکتار بود.

مصرف خاکی و برگی عنصر آهن، در مرحلهٔ گلدهی و در هنگام اعمال تنش خشکی انجام شد. برای مصرف خاکی، کود کلات آهن در پای بوته‌ها با خاک مخلوط گردید. برای تعیین مراحل رشد (از نظر زمان اعمال تیمارهای آبیاری)، طبق روش آلن و همکاران (Allen *et al.*, 1998) استفاده شد. بر این اساس، تا انتهای مرحلهٔ رویشی تأخیری (مرحلهٔ طبق دهی)، ۷۰ تا ۸۰ روز از زمان کاشت (Vb) ، آبیاری تمامی کرت‌ها بر اساس تخلیهٔ ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک انجام گرفت و از آن به بعد، با شروع مرحلهٔ گلدهی تقریباً به میزان ۵۰ درصد (F) تا مرحلهٔ تشکیل عملکرد و پر شدن دانه (Y) آبیاری در کرت‌های تنش خشکی، پس از **اندازهگیری** میزان رطوبت خاک و رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد تخلیهٔ رطوبت ظرفیت زراعی انجام گرفت. اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی انجام شد. برای این منظور، ۴۸ ساعت بعد از آبیاری، اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه (صفر تا ۳۰ سانتیمتر) گردید. نمونه‌های برداشت شده بلافاصله توزین و جهت تعیین میزان رطوبت، در آون در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد خشکانده شدند. قبل از آبیاری مجدد، اجازه داده شد تا رطوبت خاک درعمق ریشه به ۷۵ درصد تخلیهٔ رطوبت ظرفیت زراعی برسد. برای تعیین عملکرد گلرنگ، از هر کرت آزمایشی، محصول از مساحتی برابر با ۱/۵ متر مربع، برداشت شد. پس از خرمنکوبی و غربال دانه‌ها، عملکرد دانه اندازه گیری شد. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. جهت تعیین عملکرد روغن دانهٔ گلرنگ، از روش استاندارد سوکسله استفاده شد (AOAC, 1995).

جهت سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، در مرحله گلدهی کامل، نمونه‌هایی از برگ های تازهٔ انتهایی گیاه تهیه و در نیتروژن مایع منجمد شد و تا زمان انجام آنالیزهای بیوشیمیایی در دمای ۸۰- درجهٔ سانتیگراد نگهداری شدند.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of soil in experiment site

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	نیتروژن کل N (%)	منگنز Mn	مس Cu	روی Zn	آهن Fe	پتاسیم قابل جذب K (Ava.)	فسفر قابل جذب P (Ava.)
				mg.kg^{-1}					
0-30	لومی Loam	7.7	0.089	14	2.6	2.4	2.8	320	16
30-60	لومی- رسی Loam-clay	7.7	0.062	7.8	1.4	0.5	2.4	260	5

سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به روش کاکمک و هورست (Cakmak and Horst, 1991) انجام شد. تجزیه آب اکسیژنه با کاهش جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-1601PC-Shimadzu-Japan) انجام شده و به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصارهٔ آنزیمی بیان گردید. واحد فعالیت به صورت تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در وزن تر بیان شد. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از روش ناکانو و آسادا (Nakano and Asada, 1981)، از طریق اکسیداسیون آسکوربات، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۹۰ نانومتر اندازه گیری شد که با کاهش جذب در طی ۵ دقیقه همراه بود. فعالیت آنزیم پراکسیداز برطبق روش قناتی و همکاران (Ghanati *et al*., 2002) انجام گرفت. فعالیت آنزیمی در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد و به صورت تغییرات جذب نسبت به میلی گرم پروتئین در دقیقه بیان شد. فعالیت پلی فنل اکسیداز بر اساس میزان اکسیداسیون کاتگول در حضور آب اکسیژنه تعیین شد. افزایش در جذب ۴۱۰ نانومتر به عنوان فعالیت این آنزیم تعیین شد و نسبت به میلی گرم پروتئین بیان گردید (Ghanati *et al*., 2002). فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز طبق روش جیانوپولیتیس و ریس (Giannopolitis and Ries, 1977) و براساس جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. واحد فعالیت به صورت تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در وزن تر بیان شد. به منظور انجام محاسبات آماری از نرم افزار آماری SAS استفاده شد. مقایسهٔ میانگین‌ها نیز با استفاده از روش LSMEANS توسط دستور PDIFF انجام شد.

نتایج و بحث

کاتالاز: اثر تنش کمبود آب بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز معنی دار بود. همچنین اثر مصرف خاکی و برگی کلات آهن و اثر متقابل آنها نیز معنی دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج این آزمایش، نحوهٔ مصرف کلات آهن، تأثیر معنی داری در میزان آنزیم کاتالاز در شرایط تنش خشکی داشت (جدول ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش خشکی در تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کلات آهن به دست آمد و مصرف سطوح بیشتر خاکی عنصر آهن باعث کاهش در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گردید. مقایسهٔ میانگین اثرات متقابل نشان داد که پایین‌ترین سطح میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش خشکی، به تیمار محلول پاشی آب تعلق داشته است (جدول ۳). گزارش شده است که سنتز آنزیم‌هایی مانند کاتالاز، یک پاسخ سازگار یافته در برابر تنش اکسیداتیو می‌باشد (Mittler, 2002). کمبود آهن در گیاهان نه تنها موجب کلروز می‌شود، بلکه فعالیت آنزیم های مشخصی مانند کاتالاز و پراکسیداز را نیز کاهش می‌دهد. زیرا این آنزیم‌ها دارای آهن پورفیرین هستند و به عنوان گروه‌های پروستتیک، نقش ویژه‌ای را در متابولیسم گیاهی ایفا می‌کنند (Bannister *et al*., 1987). بنابراین چنین به نظر می‌رسد که مصرف ۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار، باعث کاهش اثر سوء و مخرب تنش خشکی شده باشد.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

آسکوربات پراکسیداز: تأثیر تنش کمبود آب، اثر کاربرد خاکی و برگی عنصر آهن واثر متقابل تنش کمبود آب و کلات آهن، بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی دار بود (جدول ۲). مصرف کلات آهن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط بدون تنش خشکی، تأثیر مثبتی بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز داشت. میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار، در شرایط بدون تنش خشکی، نسبت به تیمارهای عدم مصرف کلات آهن و محلول پاشی با آب ، به ترتیب ۲۵ و ۱۰۶ درصد بود. با عدم مصرف کلات آهن، مصرف ۱۵۰ کلات آهن کیلوگرم در هکتار ، محلول پاشی با آب و مصرف ۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار در شرایط تنش خشکی نیز به ترتیب بیشترین سطح فعالیت این آنزیم مشاهده گردید (جدول ۳). ایشی کاوا و همکاران (Ishikawa *et al.*, 1993) گزارش کرده‌اند که کمبود آهن منجر به کاهش کلی فعالیت آسکوربات پراکسیداز سیتوزولی، در جلبک اوگلنا می‌شود. رادتکه و همکاران (Radtke *et al.*, 1992) نیز گزارش دادند که سلول‌های اوگلنا که کمبود آهن دارند، نمی توانند در حضور ۱۰۰ میلی مولار پراکسید هیدروژن نمو یابند، درحالیکه سلول‌های دارای مقدار کافی آهن، نسبت به پراکسید هیدروژن، از خود تحمل نشان دادند. بنابراین به نظر می‌رسد که فراوانی آهن در سلول، میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز را در اوگلنا کنترل می کند. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش حاضر، به نظر می‌رسد که مصرف خاکی کلات آهن، در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش میزان فعالیت این آنزیم می‌شود.

آنزیم پلی فنل اکسیداز: اثر تنش کمبود آب و کلات آهن و اثر متقابل بین آنها بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز معنی‌دار بوده (جدول ۲). نتایج نشان داد که با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار در شرایط تنش کمبود آب، میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز افزایش می‌یابدکه نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کلات آهن) حدود ۱۰۷ درصد افزایش داشت. در شرایط بدون قطع آبیاری نیز بالاترین سطح فعالیت این آنزیم در تیمار محلول پاشی ۲ در هزار کلات آهن بدست آمد و پس از آن با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار، بیشترین سطح فعالیت را داشت (جدول ۳). فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز، از تولید بیش از حد اجزای خطی انتقال الکترون در شرایط تنش آب در واکنش مهلر جلوگیری می کند (Thipyapong *et al.*, 2004)، زیرا آنزیم پلی فنل اکسیداز در واکنش مهلر دخیل بوده و در مزوفیل کلروپلاست موجب کاهش اکسیژن مولکولی، فتوسیستم نوری I و تنظیم سطح اکسیژن پلاستیدی می‌شود (Trebst and Depka, 1995). بر اساس نتایج آزمایش حاضر، به نظر می‌رسد که مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار، یک نقش حفاظتی برای گیاه گلرنگ داشته باشد و حداقل باعث بهبود مقاومت گیاه به شرایط تنش کمبود آب شده باشد.

پراکسیداز: تنش کمبود آب، کلات آهن و اثر متقابل تنش کمبود آب در کلات آهن، بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). ارزیابی اثر متقابل تنش خشکی و کلات آهن نشان داد که تیمار محلول پاشی ۱ در هزار کلات آهن در شرایط تنش کمبود آب، باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز شد. به طوری که این تیمار در مقایسه با تیمار محلول پاشی با آب و عدم مصرف کلات آهن، به ترتیب حدود ۱/۵ و ۳ برابر، افزایش داشته است (جدول ۳). رانیری و همکاران (Ranieri *et al.*, 2001) گزارش کردندکه میزان فعالیت ایزوآنزیم‌های پراکسیداز در برگ‌های سویا و آفتابگردان در محلول غذایی فاقد آهن در فرآیند خنثی سازی پراکسید هیدروژن کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان بیان نمود که در گیاهان، مهم‌ترین آنزیم‌های

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

خنثی کنندهٔ پراکسید هیدروژن، یعنی کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، آنزیم‌های حاوی عنصر آهن هستند.

سوپراکسید دیسموتاز: میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطوح تنش خشکی تفاوت معنی‌داری داشت. اثر کلات آهن و اثر متقابل تنش کمبود آب در کلات آهن نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین فعالیت این آنزیم، در شرایط تنش کمبود آب، با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار، مشاهده شد، به طوری که نسبت به تیمارهای شاهد (عدم مصرف کلات آهن و محلول پاشی با آب) ، به ترتیب ۳۲ و ۴۹ درصد افزایش داشت (جدول ۳) و پس از آن، بیشترین سطح فعالیت این آنزیم در شرایط بدون قطع آبیاری با تیمار محلول پاشی ۲ در هزار کلات آهن بود. سوپراکسید دیسموتاز، برای تحمل گیاهان به کمبود آب در طی تنش اکسیداتیو، بسیار مهم است که این موضوع توسط محققان زیادی گزارش شده است (McKersie *et al*., 2000). در آزمایشی مشاهده شد که با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آهن، ۷۰ کیلوگرم سولفات روی، ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات مس، ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منگنز، در گیاه‌آفتابگردان، میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)،کاتالاز (CAT) وگلوتاتیون پراکسیداز (GPX)، به ترتیب ۸۹، ۶۹ و ۴۸ درصد، افزایش یافت. کمترین میزان فعالیت این آنزیم‌ها نیز در تیمار شاهد (بدون مصرف تیمارهای کودی)، بدست آمد (Rahimizadeh *et al*., 2007). به نظر می‌رسد که مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار در این تحقیق، باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز طی تنش خشکی شده باشد، زیرا افزایش میزان فعالیت این آنزیم در برگ گلرنگ، می‌تواند موجب کاهش خسارت تنش اکسیداتیو شود.

عملکرد دانه و روغن: تنش خشکی، کلات آهن و اثر متقابل آنها اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه داشتند. در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش خشکی، مصرف کلات آهن به دو روش خاکی و برگی موجب افزایش عملکرد دانه و روغن دانه گردید، بنحوی که تیمارهای ۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار و محلول پاشی ۱ در هزار آن، عملکرد دانه گلرنگ را در شرایط تنش خشکی به ترتیب به مقدار ۵۴۴/۹ و ۵۰۲ کیلو گرم در هکتار در مقایسه با تیمار عدم مصرف آهن، افزایش دادند. هر چند در این شرایط میان دو تیمار از لحاظ عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. محلول پاشی ۲ در هزار و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار نیز به ترتیب باعث افزایش ۲۱/۴ و ۲۰/۳ درصدی عملکرد دانه در تیمار بدون تنش گردیدند. مصرف کودهای کم‌مصرف در خاک‌های دارای کمبود عناصر کم‌مصرف با بهبود عملکرد محصول در گیاهانی مانند غلات، ذرت، لوبیا، گیاهان علوفه‌ای و دانه های روغنی همراه بوده است (Malakouti, 2007). ویرسما (Wiersma, 2005) گزارش داد که مصرف خاکی Fe-EDDHA (سکوسترین ۱۳۸)، به مقدار زیاد می‌تواند کلروز را رفع و عملکرد دانه را در سویا افزایش دهد. ضیائیان و ملکوتی (Ziaeian and Malakoti, 1998) نیز گزارش کرده‌اند که مصرف خاکی و برگی عناصر ریز مغذی آهن ، روی، منگنز و مس در تغذیهٔ ذرت باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود و در این بین نقش مثبت آهن و روی در افزایش عملکرد، بیش از نقش منگنز و مس بوده است. در آزمایش حاضر در شرایط تنش خشکی، مصرف ۵۰ کیلو گرم کلات آهن در هکتار عملکرد روغن دانه را به مقدار ۳۰۷ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار عدم مصرف آهن افزایش داد در حالیکه محلول پاشی ۲ در هزار آهن، عملکرد روغن را در شرایط بدون قطع آبیاری به مقدار ۸۰۸/۸ و ۷۲۹ کیلو گرم در هکتار در مقایسه با تیمارهای محلول پاشی آب و عدم مصرف آهن، افزایش داد. با توجه به نتایج این تحقیق می توان اظهار داشت که مصرف کلات آهن در

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

جدول۲- تجزیه واریانس فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، شاخص برداشت ،عملکرد دانه و روغن دانهٔ گلرنگ در تیمارهای مصرف خاکی و برگی کلات آهن و تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance for antioxidant enzymes activity, harvest index, grain and oil yield of safflower in soil and foliar application of Fe and drought stress treatments

			میانگین مربعات (MS)							
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	کاتالاز CAT	آسکوربات پراکسیداز APX	پلی فنل اکسیداز PPO	پراکسیداز POX	سوپراکسید دیسموتاز SOD	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد روغن Oil yield	شاخص برداشت Harvest index
Replication (R)	بلوک	3	2.67	13.271	0.119	0.195	1967.763	7492.244	414.949	2.607
Drought Stress (A)	تنش خشکی	1	4.584*	1573.312**	0.349**	18.329**	58159*	6221688**	76688**	12.870^{ns}
Error a	خطا (الف)	3	0.278	13.075	0.0049	0.168	1757.337	7498.1	485.083	1.819
Fe (B)	کلات آهن	7	84.764**	285.717**	7.398**	18.982**	27090**	253791**	142218**	9.083**
A×B	تنش × کلات آهن	7	211.633**	752.529**	5.255**	62.702**	3335**	622949**	740302**	7.915**
Error b	خطا (ب)	42	0.999	18.837	0.042	0.155	3043.22	19063.16	2151.902	1.4007
C.V(%)	ضریب تغییرات	-	6.844	9.532	7.154	5.982	14.941	4.556	4.596	5.252

ns : Not significant

ns : غیر معنی دار

* and ** : Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

* و ** : به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

جدول ۳- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، شاخص برداشت، عملکرد دانه و روغن دانهٔ گلرنگ و اثر متقابل تیمارهای مصرف خاکی و برگی کلات آهن×تنش خشکی

Table 3. Mean comparison of antioxidant enzymes activity, harvest index, grain and oil yield of safflower and interaction effect of soil and foliar application of Fe×drought stress treatments

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	تیمارهای آهن Fe treatments	کاتالاز CAT ($\Delta A.\ mg^{-1}protein.\ min^{-1}$)	آسکوربات پراکسیداز APX ($\Delta A.\ mg^{-1}protein.\ min^{-1}$)	پلی فنل اکسیداز PPO ($\Delta A.\ mg^{-1}protein\ .min^{-1}$)	پراکسیداز POX ($\Delta A.\ mg^{-1}protein\ .min^{-1}$)
بدون قطع آبیاری Without irrigation withholding	مصرف خاکی Soil application ($kg.ha^{-1}$)				
	0	16.67b	45.78b	3.65b	10.60a
	50	16.98b	42.70bc	2.95c	10.36a
	100	5.50d	57.20a	3.44b	9.312b
	150	16.26b	28.57d	1.26e	3.05e
	مصرف برگی Foliar application ($mg.\ l^{-1}$)				
	0	26.86a	27.76d	1.41e	2.52e
	1	16.46b	43.06bc	2.14d	5.72d
	2	5.74d	38.98c	5.37a	7.65c
	3	10.23c	40.50bc	2.08d	7.71c
قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی Irrigation withholding at flowering stage	مصرف خاکی Soil application ($kg.ha^{-1}$)				
	0	19.50ab	62.89a	2.37e	4.28e
	50	21.18a	55.52ab	2.71cd	2.91f
	100	13.80c	35.68c	4.91a	5.82d
	150	10.26d	62.06a	1.27f	2.86f
	مصرف برگی Foliar application ($mg.\ l^{-1}$)				
	0	6.44e	58.63ab	4.27b	8.60b
	1	14.55c	52.21b	2.64d	12.63a
	2	19.00b	50.69b	2.88c	6.57c
	3	14.23c	26.19d	2.44e	4.68e

در هر سطح تیمار آبیاری، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSMEANS در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند

Means in each irrigation treatment, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSMEANS Test

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

ادامهٔ جدول ۳

Table 3. Continued

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	تیمارهای آهن Fe treatments	سوپراکسید دیسموتاز SOD ($\Delta A.\ mg^{-1}protein.\ min^{-1}$)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.\ ha^{-1}$)	عملکرد روغن Oil yield ($kg.\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)
بدون قطع آبیاری Without irrigation withholding	مصرف خاکی Soil application ($kg.ha^{-1}$)				
	0	508.97a	3624.4ab	970.5c	22.1ab
	50	333.89bc	3110.9c	788.9e	23.2ab
	100	304.41bc	2825.4c	762.6e	23.4ab
	150	316.63bc	3731.3a	980.4c	22.6b
	مصرف برگی Foliar application ($mg.\ l^{-1}$)				
	0	381.02b	3101.0c	890.8d	21.8b
	1	319.56bc	3444.4b	829.6ed	24.8a
	2	285.000c	3765.7a	1699.6a	22.3b
	3	262.96c	3113.4c	1427.4b	22.4b
قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی Irrigation withholding at flowering stage	مصرف خاکی Soil application ($kg.ha^{-1}$)				
	0	420.09bc	2631.6c	1133.2c	20.7c
	50	405.43bcd	3176.5a	1440.2a	18.8d
	100	555.29a	2719.7c	786.2d	24.5a
	150	320.56cd	2457.9d	1130.7c	22.5b
	مصرف برگی Foliar application ($mg.\ l^{-1}$)				
	0	371.85bcd	2855.2b	1310.2b	20.8c
	1	352.58cd	3133.6a	829.8d	22.6b
	2	463.26b	2332.3d	551.7f	23.6ab
	3	305.70d	2440.7d	613.9e	22.9ab

در هر سطح تیمار آبیاری، میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSMEANS در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی داری ندارند

Means in each irrigation treatment, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSMEANS Test

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

شرایط تنش خشکی و حتی شرایط مطلوب رطوبتی نیز می‌تواند در افزایش عملکرد دانه و روغن دانه گلرنگ موثر باشد.

علت افزایش عملکرد دانهٔ گلرنگ در شرایط تنش خشکی و مصرف کلات آهن، می‌تواند تأثیر این عنصر بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان باشد. نتایج آزمایش‌های متعدد نشان داده که مصرف عناصر کم مصرف، اثرات تنش‌های محیطی را از قبیل تنش خشکی و شوری را کاهش می‌دهند (Wang *et al*., 2004)، زیرا عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، مس، منیزیم و منگنز، نقش مهمی را به عنوان کوفاکتور در ساختمان تعدادی از آنزیم‌های آنتی اکسیدان ایفا می‌کنند. بنابراین هنگامی که گیاهان با کمبود این عناصر مواجه باشند، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاهش می‌یابد و حساسیت به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (Corpas *et al*., 1998). از طرفی تنش اکسیداتیو باعث کاهش تولید کلروفیل می‌شود که پیامد آن، آسیب به دستگاه فتوسنتزی است. این موضوع بدلیل تغییر و تبدیل پروتئین‌های مجموعه فتوسیستم II صورت می‌گیرد (Giardi *et al*., 1997). بنابراین افزایش فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان در اثر مصرف کلات آهن، به خصوص در شرایط تنش خشکی، می‌تواند موجب حفظ و پایداری غشاهای سلولی و افزایش توان ظرفیت سیستم فتوسنتزی گیاه شود، زیرا از این طریق می‌توانند صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش داده که نتیجهٔ آن، افزایش عملکرد دانه و به تبع آن عملکرد روغن است.

شاخص برداشت: در این آزمایش، اثر مصرف کلات آهن و اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و کلات آهن بر شاخص برداشت معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار و سطوح محلول پاشی ۲ و ۳ در هزار کلات آهن در شرایط تنش خشکی، از لحاظ شاخص برداشت نسبت به سایر تیمارها، برتر بودند، بطوریکه مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار شاخص برداشت را در مقایسه با تیمارهای شاهد (عدم مصرف کلات آهن و محلول پاشی آب)، به ترتیب ۱۸/۳ و ۱۷/۶ درصد افزایش داد. همچنین تأثیر مثبت محلول پاشی ۱ در هزار کلات آهن بر شاخص برداشت، در شرایط بدون تنش خشکی هم قابل مشاهده بود (جدول ۳). شاخص برداشت، نشان دهندهٔ توزیع نسبی محصولات فتوسنتزی بین مخازن اقتصادی و سایر مخازن موجود در گیاه می‌باشد. بهبود تسهیم مادهٔ خشک، به ساختارهای زایشی و دانه (بهبود شاخص برداشت)، از جمله صفاتی است که می‌تواند باعث بهبود عملکرد دانه شوند. شاخص برداشت در شرایط خشکی، اغلب تابع نسبت آب استفاده شده پس از گرده افشانی است که هرچه بیشتر باشد، شاخص برداشت نیز بیشتر خواهد بود (Richards *et al*., 2002). یافته های این تحقیق با نتایج آزمایش محمد و همکاران (Mahmed *et al*., 2010) مطابقت دارد، آنها گزارش کردند که محلول پاشی برگی با آهن یا منگنز وهمچنین محلول پاشی توأم آنها، شاخص برداشت را در گندم افزایش داد. با توجه به نتایج آزمایش حاضر به نظر می‌رسد که در شرایط خشکی، مصرف کلات آهن بتواند شاخص برداشت را بهبود بخشد.

نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف آهن به دو روش خاکی و برگی در هنگام بروز تنش خشکی در مرحله گلدهی در گلرنگ که حساس‌ترین مرحله رشد گلرنگ به خشکی تشخیص داده شده، با افزایش برخی آنزیم های آنتی اکسیدان توانست تا حدودی از کاهش شاخص برداشت، عملکرد دانه و روغن دانه جلوگیری نماید. زیرا با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان، احتمالاً از صدمات ناشی از تنش خشکی بر اجزای سلولی کاسته می‌شود که بدنبال آن بهبود عملکرد گیاه را در پی خواهد داشت. در این تحقیق مشخص گردید که در میان تیمارهای آزمایشی، عنصر آهن در شرایط

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

تنش خشکی بویژه در تیمارهای خاکی آهن در مقایسه با تیمارهای برگی آن، سطوح بالاتری از لحاظ فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان و همچنین عملکرد دانه را داشتند. دلیل این موضوع می‌تواند، مناسب بودن جذب و انتقال این عنصر به داخل گیاه در شرایط اقلیمی منطقه باشد. با توجه به شرایط این منطقه که دارای اقلیمی گرم و خشک می‌باشد، دمای بالا می‌تواند سطح تبخیر از برگ ها را افزایش دهد، زیرا محلول پاشی نمک‌های آهن ممکن است موجب سوختگی برگ‌ها شود و بدین ترتیب از جذب و انتقال آهن به داخل گیاه کاسته می‌شود. بنابراین مصرف خاکی آهن ممکن است در مقایسه با روش تغذیه برگی بر روی صفات مورد ارزیابی مناسب‌تر باشد.

منابع مورد استفاده

References

Agarwal, S. and V. Pandey. 2004. Antioxidant enzyme resposes to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. - Biol. Plant. 48: 555-560.

Allen, R. G., L. S. Pereira., D. Raes and M. Smith.1998. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, United Nations, Rome, Italy.

Alscher, R. G., N. Erturk and L. S. Heath. 2002. Role of superoxide dismutases in controlling oxidative stress in plants . J. Exp. Bot. 53(372): 1331-1341.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis, 16th Ed. AOAC International, Gaithersburg, MD. USA.

Asada, K. 1999. The water–water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. Ann. Rev Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50: 601-639.

Bannister, J. V., W. H. Bannister and G. Rotills. 1987. Aspects of the structure, function and application of superoxide dismutase. CRC Crit. Rev. Biochem. 22: 110-180.

Cakmak, I. and W. Horst. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glysin max*). Plant Physiol. 83: 463–468.

Cavalcanti, F. R., J. T. Oliveira., A. Martins-Miranda., A. S. Viegas and R. A., Silveira. 2004. Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-stressed cowpea leaves. New Phytol. 163: 563-71.

Chaves, M. M., J. P. Maroco and J. S. Pereira. 2003. Understanding plant responses to drought: From genes to the whole plant. Func. Plant Biol. Collingwood. 30(3): 239-264.

Corpas, F. J., L. M. Sandalio., L. A. Del Rio and R. N. Trelease. 1998. Copper–zinc superoxide dismutase is a constituent enzyme of the matrix of peroxisomes in the cotyledons of oilseed plants. New Phytol. 138: 307-314.

Dat, J., S. Vandenabeele., E. Vranova., M. Van Montagu., D. Inze and F. Van Breusegem. 2000. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. Cell. Mol. Life Sci. 57: 779–795.

De Carvalho, M. H. C. 2008. Drought stress and reactive oxygen species. Plant Signal Behav. 3(3): 156-165.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

Ghanati, F., A. Morita and H. Yokota. 2002. Induction of suberin and increase of liginin content by excess boron in tobacco cell. Soil Sci. Plant Nutr. 48: 357–364.

Giannopolitis, C. and S. Ries. 1977. Superoxide dismutase occurrence in higher plant. Plant Physiol. 59: 309-314.

Giardi, M. T., J. Masojidek and D. Godde.1997. Effects of abiotic stresses on the turnover of the D1 reaction centre II protein. Physiol. Plant. 101: 635-642.

Hussain, A., M. R. Ghaudhry., A. Wajad., A. Ahmed., M. Rafiq., M. Ibrahim and A.R. Goheer. 2004. Influence of water stress on growth, yield and radiation use efficiency of various wheat cultivars. Int. J. Agric. Biol. 6: 1074-1079.

Ishikawa, T., T. Takeda., S. Shigeoka., O. Hirayama and T. Mitsunaga. 1993. Requirement for iron and its effect on ascorbate peroxidase in *Euglena gracilis*, Plant Sci. 93: 25–29.

Mahmed, M. F., A. T. Thalooth and R. K. M. Khalifa .2010. Effect of foliar spraying with uniconazole and micronutrients on yield and nutrients uptake of wheat plants grown under saline condition. J. Am. Sci. 6(8): 398-404.

Malakouti, M. J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants: A review. Middle East. Rus. J. Plant Sci. Biotech. 1: 1-12.

McKersie, B. D., J. Murnaghan., K. S. Jones and S. R. Bowley. 2000. Iron superoxidase dismutase expression in transgenic alfalfa increases winter survival without a detectable increase in photosynthetic oxidative stress tolerance. Plant Physiol. 122: 1427-1437.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci. 7: 405–409.

Nakano, Y. and K. Asada.1981 . Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiol. 22: 867-880.

Nasr, H. G., N. Kathuda and L. Tannir. 1978. Effect of N fertilizer and population rate-spacing on safflower, yield and other characteristics. Agron. J. 70: 683-685.

Radtke, K., R.W. Byrnes., P. Kerrigan., W. E. Antholine and D. H. Petering. 1992. Requirement for endogenous iron cytotoxicity caused by hydrogen peroxide in *Euglena gracilis*. Mar. Environ. Res. 34: 339–343.

Rahimizadeh, M., D. Habibi., H. Madani., G. N. Mohammadi., A. Mehraban and A. M. Sabet. 2007. The effect of micronutrients on antioxidant enzymes metabolism in sunflower (*Helianthus annus* L.) under drought stress. Helia. 30: 167-174.

Ranieri, A., A. Castagna., B. Baldan and G. F. Soldatini. 2001. Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower. J. Exp. Bot. 52: 25-35.

Richards, R., G. J. Rebetzke., A.G. Condon and A. F. Van Herwaarden. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Sci. 42: 111-121.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

Scandalios, J. G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. Plant Physiol. 101: 7-12.

Selote, D. S. and R. Khana-Chopra. 2004. Drought-induced spikelet sterility is associated with an inefficient antioxidant defence in rice plants. Physiol. Plant. 121: 462–467.

Schulze, E. D. 1991. Water and nutrient interactions with water stress. In: Mooney, H. A., W. E. Winner., E. J. Pell (Eds.), Response of Plants to Multiple Stresses. Academic Press, San Diego. 89-101.

Shigeoka, S., T. Ishikawa., M. Tamoi., Y. Miyagawa., T. Takeda and Y. Yabuta. 2002. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. J. Exp. Bot. 53: 1305-1319.

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

Thipyapong, P., J. Melkonian., D. W. Wolfe and J. C. Steffens. 2004. Suppression of polyphenol oxidases increases stress tolerance in tomato. Plant Sci. 167: 693–703.

Trebst, A. and B. Depka. 1995. Polyphenol oxidase and photosynthesis research. Photosynth. Res. 46: 41-44.

Wang, S. H., Z. M. Yang., H. Yang., B. Lu., S. Q. Li and Y. P. Lu. 2004. Copper-induced stress and antioxidative responses in roots of *Brassica juncea*. Bot. Bull. Academia Sinica. 45: 203-212.

Wiersma, J. V. 2005. High rates of Fe-EDDHA and seed iron concentration suggest partial solutions to iron deficiency in soybean. Agron. J. 97: 924–934.

Ziaeian, A. and M. J. Malakouti. 1998. Effect of micronutrient application and application time on increasing yield. Soil Water. 2(1): 56-62. (In Persian with English abstract).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]

Effect of iron application on enzymatic activity, grain yield and oil content of safflower under water deficit conditions

Fathi Amirkhiz, K.[1], M. Amini Dehaghi[2], S. A. M. Modares Sanavy[3], A. R. Reza Zadeh[4] and S. Heshmati[1]

ABSTRACT

Fathi Amirkhiz, K., M. Amini Dehaghi, S. A. M. Modares Sanavy, A. R. Reza Zadeh and S. Heshmati. 2011. Effect of iron application on enzymatic activity, grain yield and oil content of safflower under water deficit conditions**. Iranian Journal of Crop Sciences. 13(3): 452-465. (In Persian).**

To study the effect of soil and foliar application of Fe-EDDHA on the activity of some antioxidant enzymes , grain and oil yield in safflower under water deficit conditions, an experiment was conducted in research field of faculty of agriculture, Shahed University, Tehran, Iran, in 2008 cropping season. The experimental design was split-plot arrangement in randomized complete blocks with four replications. Main plots consisted of two levels of irrigation; 1: Full irrigation (irrigation after reaching to 50% soil moisture depletion of field capacity), 2: No irrigation after flowering stage (irrigation after reaching to 75% soil moisture depletion of field capacity). Sub plots were eight levels of Fe-EDDHA, that four levels of it were soil application (0, 50, 100, 150 $kg.ha^{-1}$ of Fe-EDDHA) and four levels were foliar application (foliar application of water and 1, 2, 3 $mg.l^{-1}$ of Fe-EDDHA) on spring safflower *cv*. IL 111. Results showed that soil application under drought stress conditions increased antioxidant enzymes activity of Catalase (CAT), Ascorbate Peroxidase (APX), Polyphenol Oxidase (PPO) and Superoxide dismutase (SOD). However, Peroxidase (POX) activity increased with foliar application of Fe-EDDHA. Effect of drought stress and Fe-EDDHA was significant on harvest index, grain and oil yield of safflower. The highest grain yield under drought was 3176.5 $kg.ha^{-1}$ and 3133.6 $kg.ha^{-1}$, obtained with soil application (50 $kg.ha^{-1}$ of Fe-EDDHA) and foliar application (1 $mg.l^{-1}$ of Fe-EDDHA), respectively. The highest grain yield in full irrigation was, 3765.7 $kg.ha^{-1}$ and 3731.3 $kg.ha^{-1}$ obtained with foliar application (2 $mg.l^{-1}$ of Fe-EDDHA) and soil application (150 $kg.ha^{-1}$ of Fe-EDDHA), respectively. The highest oil grain yield under drought stress, 1440.2 $kg.ha^{-1}$, was obtained from soil application (50 $kg.ha^{-1}$ of Fe-EDDHA). However, the highest oil yield in full irrigation, 1699.6 $kg.ha^{-1}$, was obtained from foliar application (2 $mg.l^{-1}$ of Fe-EDDHA). In conclusion, the application of Fe-EDDHA could increase antioxidant enzymes activity and led to improved grain and oil yield of safflower under drought stress conditions.

Key words: Antioxidant enzymes, FeEDDHA, Grain yield, Safflower and Water deficit stress.

Received: July, 2010 Accepted: February, 2011

1- M.Sc Student, Shahed University,Tehran, Iran. (Corresponding author)
(Email: fathikeivan@gmail.com)
2- Assistant Prof., Shahed University,Tehran, Iran
3- Professor, Tarbiat Modares University,Tehran, Iran
4- Lecturer, Shahed University,Tehran, Iran
5- M.Sc Student, Shahed University,Tehran, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.2.0]