



به‌زراعی کشاورزی

دوره ۱۹ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۶
صفحه‌های ۷۴۹-۷۳۳

تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی با نانوآکسید آهن و روی بر عملکرد، درصد روغن و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ در شرایط محدودیت آبی

رئوف سیدشریفی^{۱*} و رضا سیدشریفی^۲

۱. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۲۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۵

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی با نانوآکسید آهن و روی بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ رقم 'پدیده' در شرایط محدودیت آبی، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۴ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد میکوریزا اربوسکولار در دو سطح (مصرف و عدم مصرف میکوریزا)، محلول‌پاشی نانوآکسید در چهار سطح (عدم استفاده از نانوآکسید، کاربرد نانوآکسید آهن، نانوآکسید روی و کاربرد توأم نانوآکسید آهن و روی) و سه سطح آبیاری (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل تکمه‌دهی و گلدھی به‌ترتیب محدودیت شدید و ملایم آبی) بود. نتایج نشان داد که محدودیت آبی محتوای پروتئین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز را افزایش داد. کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی نانوآکسید آهن و روی این صفات را تحت شرایط محدودیت آبی همانند آبیاری نرمال بهبود بخشید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر عملکرد دانه (۲۲۷۸/۵۲ کیلوگرم در هکتار) در ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی توأم نانوآکسید آهن و روی و کمترین آن (۸۳۴/۲۵ کیلوگرم در هکتار) در آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی، عدم کاربرد میکوریزا و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد. کاربرد میکوریزا و نانوآکسید آهن و روی عملکرد دانه را ۳۵/۹ درصد در مقایسه با عدم کاربرد میکوریزا و نانوآکسید آهن و روی تحت شرایط محدودیت شدید آبی افزایش داد. به‌نظر می‌رسد کاربرد توأم میکوریزا و نانوآکسید آهن و روی برای سودمندی تولید گلرنگ تحت شرایط محدودیت آبی قابل استفاده است.

کلیدواژه‌ها: دانه‌های روغنی، عناصر ریزمغذی، قطع آبیاری، کودهای زیستی.

۱. مقدمه

کمبود آب مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است [۲۴]. امروزه، محدودیت منابع آبی در مناطق زیادی از کشور موجب شده است که بیشتر فعالیت‌ها بر افزایش عملکرد در واحد سطح و کشت دانه‌های روغنی سازگار به مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند گلرنگ متمرکز شود. این گیاه با اینکه جایگزین دانه‌های روغنی حساس به خشکی می‌تواند باشد، کمیت و کیفیت آن تا حدود زیادی تحت تأثیر حاصلخیزی خاک، عناصر غذایی و تنش‌های محیطی موجود در طول دوره رشد گیاه قرار می‌گیرد [۱].

یکی از مهم‌ترین آثار تنش ناشی از محدودیت آبی، به هم خوردن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است. در این راستا، کاربرد کودهای زیستی نه تنها مقاومت گیاه را در برابر شرایط تنش‌زای مختلف محیطی مانند کمبود آب و عناصر غذایی افزایش می‌دهد [۲]، بلکه میکروارگانیسم‌های از بین رفته خاک را نیز جبران می‌کند [۲۱]، به طوری که تلقیح بذر گلرنگ با ازتوباکتر و میکوریزا نشان داد که کودهای زیستی علاوه بر افزایش عملکرد دانه و روغن، موجب افزایش مقاومت گیاهان در برابر عوامل نامساعد محیطی می‌شود [۳].

قارچ میکوریزا اثر مثبتی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان هم‌زیست دارد. حضور میکوریزا در ریشه‌های گیاهان و گسترش هیف قارچ‌ها در لابه‌لای ذرات خاک، امکان جذب یون‌های کم‌تحرک را حتی در شرایطی که رطوبت خاک کم باشد، افزایش می‌دهد. افزایش تحمل به تنش‌های خشکی و شوری، جذب بهتر مواد غذایی و بهبود ساختمان خاک [۹]، افزایش تولید و تجمع پرولین و سایر متابولیت‌ها به منظور تنظیم اسمزی در گیاهان مختلف [۲۸] نمونه‌هایی از نقش این قارچ در بوم‌نظام‌های زراعی است. پرولین مهم‌ترین ترکیب اسمولیتی درگیر در تنظیم اسمزی گیاهان در معرض تنش خشکی است [۱۶].

انباشت این ماده با میزان تحمل به کم‌آبی گیاه در ارتباط است و کاربرد ریزمغذی روی میزان پرولین را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. نتیجه بررسی‌ای نشان داد که محلول‌پاشی ریزمغذی روی در شرایط محدودیت آبی، میزان پرولین گلرنگ را نسبت به شاهد به طور معناداری افزایش داد [۳۷].

سلول‌های گیاهی برای مقابله با آثار منفی تنش‌های محیطی از سازوکارهای دفاعی ویژه‌ای برخوردارند که از همکاری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز [۱۴] و آنتی‌اکسیدان‌های کارتنوئید، توکوفرول، اسکوربات، گلوکاتایون تشکیل شده است. همکاری این اجزا با یکدیگر سبب تشکیل چرخه‌های بسیار مهمی نظیر اسکوربات-گلوکاتایون، مهلر و گزانتوفیل خواهد شد [۳۴]. اجرای این چرخه‌ها سازوکارهای دفاعی است که سلول را قادر می‌سازد تا از تولید فرم‌های فعال اکسیژن پیش‌گیری کند یا اینکه آن‌ها را جمع‌آوری کند و آثار مضر آن‌ها را کاهش دهد. از این‌رو، در شرایط محدودیت آبی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان افزایش می‌یابد [۵۴]. ریزمغذی روی نیز در ایجاد سیستم دفاعی سلولی در برابر گونه‌های واکنش‌دهنده با اکسیژن^۱ یا به اختصار ROS نقش اساسی دارد، به نحوی که در شرایط کمبود عنصر روی، بروز خسارت‌های اکسایشی ناشی از تهاجم رادیکال‌های آزاد مانند ROSها با ایجاد اختلال در عملکرد غشاهای سلولی و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید به سلول خسارت وارد می‌کند [۳۸]. دیگر محققان نیز نتایج مشابهی مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پراکسیداز و کاتالاز در غلظت‌های بالا گزارش کرده‌اند [۲۵، ۳۰].

کمبود روی و آهن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خاک‌های آهکی، شنی و فرسایش‌یافته شیوع بیشتری دارد.

1. reactive oxygen species

تأثیر میکوریزا و محلول پاشی با نانو اکسید آهن و روی بر عملکرد، درصد روغن و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ در شرایط محدودیت آبی

بیوشیمیایی گلرنگ با کاربرد میکوریزا و نانو اکسید آهن و روی اجرا شد.

۲. مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل کاربرد میکوریزا در دو سطح (مصرف و عدم مصرف میکوریزا)، چهار سطح نانو اکسید [عدم استفاده از نانو اکسید، کاربرد نانو اکسید آهن، کاربرد نانو اکسید روی و کاربرد توأم نانو اکسید آهن و روی] به میزان ۱ گرم در لیتر که در کاربرد توأم این دو از هر یک ۰/۵ گرم در لیتر استفاده شد] و سه سطح آبیاری بود (آبیاری کامل بر اساس نیاز گیاه زراعی و شرایط محیطی مطابق با عرف متداول کشاورزان محلی به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله تکمه دهی به عنوان تنش شدید در محدودیت آبی، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله گلدهی به عنوان تنش ملایم آبی).

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح بود. در مرحله بعدی تهیه جوی پشته‌ها توسط فاروئر انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف ۵ متری با فاصله بین ردیفی ۵۰ سانتی متر بود. بین هر واحد آزمایشی حداقل دو ردیف نکاشت به منظور جلوگیری از اثر محلول پاشی به کرت‌های مجاور قرار داده شد. کاشت در بهار به محض مساعد شدن شرایط اقلیمی (در ۱۳ اردیبهشت ماه) با دست در عمق ۴ تا ۵ سانتی متری و به صورت هیرم کاری انجام شد. بذر مورد استفاده رقم 'پدیده' بود که از مؤسسه نهال و بذر کرج تهیه شد. به منظور افزایش هم‌زیستی میکوریزایی از بذور ضد عفونی نشده استفاده شد.

کشت مداوم، مصرف همه ساله و بیش از نیاز کودهای فسفوره و عدم مصرف کودهای حاوی عناصر ریز مغذی و کودهای آلی موجب کاهش ذخایر این عناصر در خاک و در نتیجه کاهش عملکرد شده است [۵۳]. اگرچه نیاز گیاهان به این عناصر کم است، اگر مقدار کافی از آن‌ها در دسترس نباشد، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی در امان نخواهند بود [۱۳].

یکی از راه‌های تأمین آهن و روی مورد نیاز گیاهان محلول پاشی است. از ویژگی‌های این روش می‌توان به برطرف کردن سریع کمبود عناصر و جلوگیری از تثبیت آن‌ها در خاک، آسان تر بودن اجرای آن، کاهش سمیت ناشی از تجمع این عناصر در خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی اشاره کرد [۴]. در این راستا، عرضه کودهای شیمیایی به شکل نانوذرات در مقایسه با شکل متداول و مرسوم آن‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به قطر نانوذرات، انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیش از ذرات معمول باشد و بالابودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانوذرات در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را توجیه می‌کند [۳۶]. بررسی‌ها نشان داده است که نانو اکسید آهن در مقایسه با آهن معمولی، از تأثیر معناداری در افزایش آهن گیاه برخوردار بود [۳۳] و یا محلول پاشی نانو اکسید روی به مقدار ۲ گرم در ۱۵ لیتر آب موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی در مقایسه با محلول پاشی این کود به فرم معمول و با غلظت ۳۰ گرم در ۱۵ لیتر شد [۴۱].

از آنجا که آزمایش‌هایی در خصوص تأثیر میکوریزا، نانو اکسید آهن و روی و محدودیت آبی بر عملکرد کمی و کیفی و دیگر صفات بیوشیمیایی گلرنگ در منطقه انجام نشده است، در این راستا این بررسی با هدف کاهش یا تعدیل اثر محدودیت آبی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های

آمد. نتایج حاصل نشان داد که pH خاک ۸/۲ هدایت الکتریکی خاک در حدود ۳/۶۱ دسی‌زیمنس بر متر، خاک از نوع سیلتی لومی و درصد سیلت، رس و شن آن به ترتیب ۷۱، ۵ و ۲۴ درصد بود. دیگر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک در جدول ۱ آمده است.

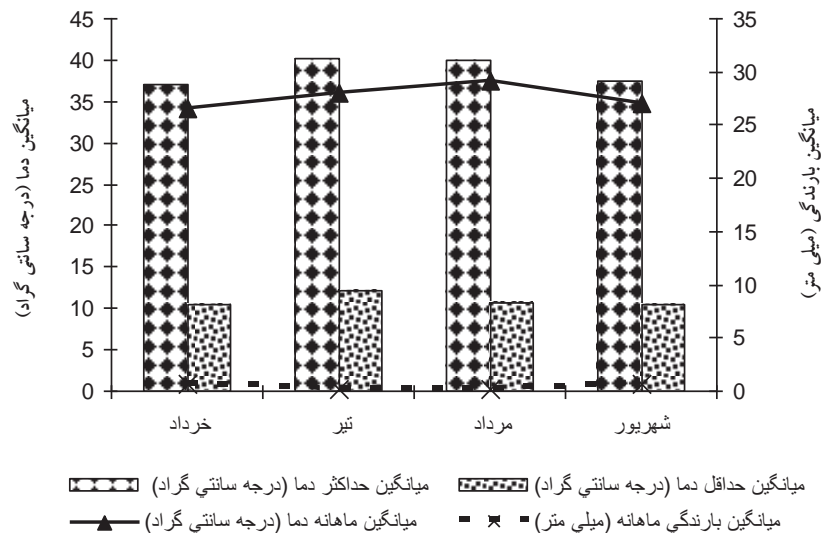
اقلیم محل اجرای آزمایش از نوع نیمه‌خشک سرد است. متوسط بارش سالیانه آن بر اساس آمار ۳۰ ساله هواشناسی بین ۲۸۰-۳۰۰ میلی‌متر متغیر است. متوسط دما و میزان بارندگی منطقه در طول فصل رشد در شکل ۱ آمده است.

از قارچ *Glomus mosseae* برای تلقیح استفاده شد که مخلوطی از اسپور، هیف و قطعات جداشده ریشه‌های آلوده بود. تعداد تقریبی اسپور زنده در هر گرم خاک حدود ۱۰۰ اسپور بود. مقدار قارچ مورد استفاده ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک بود که بنا به توصیه شرکت مربوط با بخش سطحی خاک قبل از کاشت مخلوط و از شرکت زیست‌فناوران توران تهیه شد.

در مرحله چهار و پنج برگی، گیاهچه‌ها بر اساس فاصله حدود ۵ سانتی‌متر (تراکم حدود ۴۰ بوته در مترمربع) تنک شد. قبل از کاشت نمونه‌برداری تا عمق ۴۰ سانتی‌متری جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک به عمل

جدول ۱. خواص فیزیکی-شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق نمونه‌برداری (cm)	درصد عصاره اشباع (%)	آهک (%)	بافت خاک	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کربن (%)	نیتروژن (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)
۰-۴۰	۴۵	۱۹	سیلتی-لومی	۲/۹	۰/۲۸	۰/۹۶	۰/۰۱۶	۱۸/۵	۳۸۷



شکل ۱. متوسط دما و میزان بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش طی فصل رشد (برگرفته از سایت هواشناسی اردبیل)

تأثیر میکوریزا و محلول پاشی با نانو اکسید آهن و روی بر عملکرد، درصد روغن و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ در شرایط محدودیت آبی

روی بر محتوای کلروفیل a و b، فعالیت آنزیم کاتالاز، پلی فنل اکسیداز، عملکرد کمی و کیفی دانه، اثر ترکیب تیماری سه جانبه بر عملکرد کمی و کیفی در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد (جدول ۲).

۱.۳. کلروفیل a و b

اثر سطوح آبیاری نشان داد که با افزایش محدودیت آبی، محتوای کلروفیل a و b در مقایسه با آبیاری کامل به ترتیب حدود ۳۳/۳ و ۳۸/۷ درصد کاهش داشت (جدول ۳). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش محتوای کلروفیل a و b همانند آبیاری کامل با کاربرد نانو اکسید آهن و روی در مقایسه با عدم مصرف آن‌ها به دست آمد. کاربرد میکوریزا نیز به افزایش ۵/۱ درصدی محتوای کلروفیل a و b در مقایسه با عدم مصرف آن منجر شد (جدول ۳). کاهش در میزان کلروفیل در شرایط محدودیت آبی نشانه مشخص تنش اکسایشی و تجزیه کلروفیل است [۳۹].

نتایج بررسی‌ای نشان داد که همبستگی مثبتی بین روی و میزان کلروفیل برگ گیاهان وجود دارد [۵۵]. هر چند روی به طور مستقیم بر تشکیل کلروفیل مؤثر نیست، بر غلظت عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل یا عناصری مانند آهن و منیزیم مؤثر است که قسمتی از مولکول کلروفیل محسوب می‌شود [۲۷]. یکی دیگر از دلایل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط محدودیت آبی شاید به دلیل کاهش در تولید ترکیبات ضروری در سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد. تجزیه پروتئین‌های موجود در ساختار رنگدانه‌ها و تنش‌های اکسایشی موجب آسیب به کلروپلاست، رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها می‌شود [۵۱]. طی تنش، کلروفیل‌ها در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید و باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود [۴۳].

صفات مورد بررسی شامل اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a، b، پرولین، آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز، عملکرد کمی و کیفی بود. رنگدانه‌های فتوسنتزی با استفاده از روش آرنون [۱۰] و بر اساس روابط (۱) و (۲) برآورد شد.

(۱)

$$W/100 = (19/3 \times A_{663} - 0/86 \times A_{645}) \times V$$

(۲)

$$W/100 = (19/3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663}) \times V$$

در این روابط V حجم استون استفاده شده و W وزن نمونه گیاهی استفاده شده است. برای اندازه‌گیری میزان پرولین از روش بیتز و همکاران [۱۲] و برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز از روش سوده‌کار و همکاران [۵۰] استفاده شد. اندازه‌گیری روغن با روش سوکسله و با کمک حلال آلی متانول-کلروفرم انجام شد [۲۶]. عملکرد دانه در ۱۸ شهر یور با برداشت از سطحی معادل ۰/۵ مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS (نسخه 9.1) و Excel و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر میکوریزا، عناصر ریزمغذی آهن و روی در سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز، محتوای پرولین، و کلروفیل a و b نشان داد که تمامی صفات مورد بررسی تحت تأثیر سطوح آبیاری، میکوریزا و کاربرد نانو اکسید آهن و روی قرار گرفت. اثر ترکیب تیماری آبیاری در نانو اکسید آهن و

جدول ۲. تأثیر میکوریز و عناصر ریزومندی آهن و روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات گلرنگ در سطوح محدودیت آبی

عملکرد دانه	درصد روشن	پلی فنولاز	میانگین مرعات				درجه آزادی	منابع تغییر	
			پراکسیاناز	کاتالاز	پروبین	کلروفیل b			
۱۶۳۰۵۶/۴ **	۹۷/۱۳**	۲۳۴۷/۳۳**	۱۱۴۹۹/۱۳**	۱۴۵۲/۲۱**	۱۰۵۳**	۲/۵۸**	۸/۸**	۲	تکرار
۳۱۲۴۰۸۷/۸*	۶۱۷/۳۱**	۳۳۸۵/۰۸**	۱۱۶۸۴/۰۵**	۱۴۷۶/۵۸**	۳۰۵۸**	۱/۶۳**	۶/۵۶**	۲	سطوح محدودیت آبی (I)
۸۹۹۸۵۶**	۹۹/۳۹**	۱۱۱۹/۰۵**	۱۸۵۲/۵**	۶۸۰/۶**	۱۵/۹۴**	۴/۷۱**	۵/۹۳**	۳	نانواکسید آهن و روی (N)
۱۹۸۲۳۲/۷**	۲۱/۰۱**	۲۸۶/۱۳**	۳۴۹/۳**	۱۶۹/۳۱**	۴/۰۰۷**	۰/۱۰۶**	۰/۶۱۶**	۱	سطوح میکوریز (M)
۱۷۷۸۷/۹**	۵۲/۵۲**	۱۱/۳**	۱۸۷/۱ ^{NS}	۶/۸۷*	۰/۱۶۱	۰/۰۴۳**	۰/۰۴۴*	۶	I × N
۷۸۶۹/۷	۱۸/۸*	۲/۸۹ ^{NS}	۳/۵۱ ^{NS}	۱/۷۱ ^{NS}	۰/۴۰۴	۰/۰۰۰۹۴	۰/۰۰۴۵ ^{NS}	۲	I × M
۲۴۲۸۹۱/۴**	۴۰/۳۲**	۳/۱۳ ^{NS}	۴/۳۱ ^{NS}	۶/۷۳ ^{NS}	۰/۱۹۳	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۲۲۱ ^{NS}	۳	N × M
۲۷۳۱۶/۹**	۶۰/۶۶**	۰/۰۳۱۷ ^{NS}	۰/۰۴۲۶ ^{NS}	۰/۰۶۷ ^{NS}	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۴۸ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۶	I × N × M
۲۹۸۳/۵	۲/۰۳	۳/۶۷	۱۲/۷۱	۲/۲۶	۰/۰۴۹۳	۰/۰۱۰۹	۰/۰۱۳۸	۲۶	خطای آزمایشی
۱۳/۳۸	۷/۲۳	۸/۳۴	۹/۸	۸/۳	۴/۷	۶/۵۴	۷/۳		ضریب تغییرات (%)

*، ** و NS به ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱۵، ۱ درصد و غیرمعنادار

نانواکسید آهن و روی نیز در مقایسه با عدم مصرف آن‌ها به افزایش محتوای پرولین می‌انجامد (جدول ۳)، که با نتایج برخی محققان مطابقت دارد، مبنی بر اینکه ریزمغذی روی در سنتز کربوهیدرات و سوخت‌وساز پروتئین و اسیدهای آمینه‌ای مانند پرولین نقش اساسی دارد [۲۹]. تجمع پرولین در شرایط تنش به دلیل فعال شدن بیوستز و غیرفعال شدن تجزیه آن است [۱۷] و در همه اندامک‌های گیاهی تحت تنش، به ویژه در برگ‌ها افزایش می‌یابد.

این امر به دنبال افزایش روند شکستن پروتئین‌ها و کاهش هم‌زمان سنتز آن صورت می‌پذیرد. علاوه بر این، تبدیل برخی اسیدهای آمینه نظیر اورنیتین، آرژینین و گلوتامین به پرولین، در افزایش آن نقش دارد [۵]. دیگر محققان نیز بر نقش ریزمغذی‌های آهن، منگنز و روی در افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه و کاهش آثار تنش در گیاهان اشاره کرده [۵] و اظهار داشته‌اند که استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش میزان پرولین می‌شود [۲۳].

۳.۳. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و

پلی فنول اکسیداز

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در شرایط محدودیت آبی به‌طور معناداری نسبت به آبیاری کامل افزایش نشان داد. نتایج نشان داد بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۵۳/۰۱) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه، پلی فنل اکسیداز (۶۸/۳۸) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) و پراکسیداز (۱۴۹/۱۴) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در محدودیت شدید آبی و کمترین این فعالیت‌ها (۳۷/۳۳، ۴۷/۴۵ و ۱۰۵/۰۲۹) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد زمانی که گیاهان در معرض تنش‌های مختلف محیطی قرار می‌گیرند، تعدادی از گونه‌های فعال اکسیژنی

نتایج بررسی‌ای نشان داد که محلول‌پاشی روی و منگنز در گل‌رنگ موجب افزایش کلروفیل شد. علت آن به نقش این عناصر در سوخت‌وساز نیتروژن و ساخت کلروفیل نسبت داده شده است [۲۷]. در بررسی دیگری در خصوص تأثیر کودهای زیستی در لوبیا در مقایسه با عدم کاربرد آن‌ها افزایش غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب ۳۴، ۴۸ و ۳۹ درصد گزارش شد [۴۷].

نتایج آزمایشی نشان داد که در شرایط محدودیت شدید آبی، سنتز کلروفیل کاهش و تخریب آن با آنزیم‌هایی مانند کلروفیل‌لاز و پراکسیداز افزایش می‌یابد [۸]. نتایج برخی بررسی‌ها نیز نشان داده است که گیاهان تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا گونه *Glomus intraradices* میزان کلروفیل بالاتری نسبت به گیاهان بدون تلقیح داشت [۴۵]. عده‌ای نیز افزایش محتوای کلروفیل را در گیاهان میکوریزای در مقایسه با عدم کاربرد میکوریزا در فلفل به بهبود جذب فسفر نسبت داده‌اند [۱۹].

۲.۳. محتوای پرولین

با افزایش محدودیت آبی میزان پرولین افزایش یافت (جدول ۳)، به طوری که مقدار آن از ۵/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط آبیاری نرمال تا ۷/۶۳ میلی‌گرم بر گرم در آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی افزایش داشت. دیگر محققان نیز نتایج مشابهی مبنی بر افزایش معنادار محتوای پرولین در گندم گزارش کردند [۲۸]. برخی اظهار داشتند که تجمع پرولین در گیاهان عالی، واکنشی عمومی به تنش است و در پایداری ساختارهای زیرسلولی (غشاهای پروتئین‌ها)، ختنی‌سازی رادیکال‌های آزاد و تنظیم پتانسیل ردوکس در شرایط تنش نقش اساسی دارد [۴۴]. همچنین، محلول‌سازگار پروتئینی، کاهش‌دهنده pH سیتوپلاسمی و حفظ‌کننده نسبت مناسب $NADP^+/NADPH$ در سوخت‌وساز عمل می‌کند [۱۱]. کاربرد میکوریزا و

تأثیر میکوریزا و محلول پاشی با نانو اکسید آهن و روی بر عملکرد، درصد روغن و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ در شرایط محدودیت آبی

مانند سوپراکسیداز، پراکسید هیدروژن، رادیکال‌های هیدروکسیل و اکسیژن تکی تولید می‌کنند. این گونه‌های اکسیژنی فعال موجب آسیب‌هایی مانند تخریب چربی‌ها، تجزیه کلروفیل، تخریب ساختار پروتئین‌ها و آسیب به اسیدهای نوکلئیک می‌شود [۳۵]. اما، در برخی گیاهان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مثل آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در شرایط محدودیت آبی افزایش می‌یابد [۶]. این امر موجب تحمل بهتر گیاهان به تنش‌های محیطی [۷] و کاهش آثار مخرب تنش‌های اکسایشی می‌شود [۳۲].

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری آبیاری در نانو اکسید آهن و روی بر کلروفیل a و b و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پلی فنل اکسیداز گلرنگ

کاتالاز	پلی فنل اکسیداز	کلروفیل a	کلروفیل b	ترکیب تیماری
(تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	(تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	(میلی گرم بر گرم وزن تر)	(میلی گرم بر گرم وزن تر)	
۳۹/۲۴±۶/۰۹	۵۰/۵۲±۷/۹۸	۴/۷۸±۰/۷۴	۲/۵۱±۰/۴۶	(Fe+Zn) × I ₀
۳۵/۶۳±۵/۶۵	۴۷/۷±۷/۸	۴/۴۵±۴/۷۱	۲/۱۳±۰/۳۹	(Fe) × I ₀
۳۷/۵۱±۶/۲۵	۴۴/۸۳±۷/۲۴	۳/۸۲±۲/۵۹	۲/۲۲±۰/۴۱	(Zn) × I ₀
۳۱/۲۶±۵/۲۱	۳۹/۷۵±۶/۵	۳/۳۳±۳/۵۳	۱/۸۸±۰/۳۴	(without Fe+Zn) × I ₀
۴۷/۰۹±۷/۴۱	۶۰/۶۳±۹/۵۸	۳/۹۵±۰/۶۱	۱/۴۵±۰/۲۶	(Fe+Zn) × I ₁
۴۳/۳±۶/۸۸	۵۴/۶۹±۸/۵۵	۳/۶۷±۰/۵۸	۱/۶±۰/۲۹	(Fe) × I ₁
۴۴/۳۹±۷/۴	۵۶/۴۴±۹/۲۳	۳/۵۸±۰/۵۵	۱/۲۳±۰/۲۲	(Zn) × I ₁
۴۲/۷۶±۶/۷۸	۵۳/۸±۸/۶۹	۳/۲۷±۰/۵۱	۱/۲۷±۰/۲۴	(without Fe+Zn) × I ₁
۶۱/۳۵±۹/۷۷	۷۷/۶۶±۱۲/۱۵	۳/۱۵±۰/۴۹	۱/۰۸±۰/۲۱	(Fe+Zn) × I ₂
۵۱/۵۸±۸/۲۶	۷۱/۷۵±۱۱/۳۴	۲/۸۵±۰/۴۴	۱/۸±۰/۳۳	(Fe) × I ₂
۵۵/۲۷±۸/۶۶	۶۵/۶۳±۱۰/۲۶	۲/۴۵±۰/۳۸	۱/۰۴±۰/۱۹	(Zn) × I ₂
۵۰/۶±۸/۰۲	۶۳/۶۶±۱۰/۲۹	۲/۷±۰/۵۱	۰/۹۱±۰/۱۷۸	(without Fe+Zn) × I ₂
۲/۶۱	۳/۲۹	۰/۱۷۴	۰/۱۲	LSD 5%

I₀, I₁, I₂ به ترتیب آبیاری کامل بر اساس نیاز گیاه زراعی و شرایط محیطی مطابق با عرف متداول زارعان محلی به عنوان شاهد، آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی به عنوان تنش ملایم در محدودیت آبی، آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله تکمه‌دهی به عنوان تنش شدید آبی، Fe، Zn، Zn+ و Fe شاهد به ترتیب محلول پاشی با آهن، روی، آهن + روی و عدم محلول پاشی M₀ و M₁ عدم کاربرد و کاربرد میکوریزاست.

۴.۳. درصد روغن

مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری فاکتورهای مورد بررسی نشان داد که ترکیب تیماری کاربرد نانو اکسید آهن و روی به همراه میکوریزا در آبیاری نرمال از بیشترین درصد روغن (۳۱/۱۸) و در آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی و در حالت عدم کاربرد میکوریزا و نانو اکسید آهن و روی کمترین درصد روغن (۲۲/۴۳) را داشت (جدول ۵).

بررسی‌های نشان داده است که عملکرد روغن در اثر کاربرد کود زیستی به صورت معناداری افزایش می‌یابد [۴۹]، به طوری که نتیجه بررسی‌ای نشان داد که درصد روغن آفتابگردان در اثر تلقیح با کودهای زیستی در مقایسه با سطح شاهد تا ۱۸ درصد افزایش یافت [۴۸]. در آزمایش دیگری گزارش شد که محتوای روغن سویا با کاربرد کودهای زیستی و در بالاترین سطح از مصرف مقادیر نانو اکسید روی (۰/۹ گرم در لیتر) در مقایسه با شاهد ۱۷/۵ درصد افزایش داشت [۴۶].

برخی محققان اظهار داشته‌اند که کاربرد کودهای زیستی نه تنها فواید عناصر ریز مغذی را موجب می‌شود، بلکه با تولید یک سری محرک‌های رشدی مانند ایندول استیک اسید، جیبرلین و ویتامین B عملکرد کمی و کیفی گیاهان را افزایش می‌دهد [۲]. برخی نیز بهبود درصد روغن با کاربرد روی را به نقش فعال روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی، تولید پروتئین و به عنوان کاتالیزور واکنش‌های شیمیایی اکسایشی و احیا نسبت داده‌اند [۲۲].

۵.۳. عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد دانه با افزایش محدودیت آبی کاهش یافت، به طوری که میزان آن از ۱۹۷۸/۶ کیلوگرم در هکتار در حالت آبیاری کامل تا ۱۲۵۷/۲ کیلوگرم در هکتار در آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی در نوسان بود (جدول ۳). کاربرد میکوریزا در مقایسه با

کاربرد میکوریزا موجب افزایش معنادار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز به ترتیب ۷/۲۲، ۳/۵ و ۷ درصد در مقایسه با عدم مصرف میکوریزا شد (جدول ۳). محققان گزارش کرده‌اند که کاربرد کودهای بیولوژیکی به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به بهبود تحمل گیاهان به خشکی و شوری می‌انجامد و به گیاهان این امکان را می‌دهد تا در چنین محیط‌هایی زنده بمانند [۳۱]. گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد، قارچ‌های میکوریزا گیاهان را در برابر گونه‌های فعال اکسیژنی تولید شده در شرایط تنش، محافظت می‌کند [۲۸، ۲۰].

بررسی اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری در نانو اکسید آهن و روی (جدول ۴) نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پلی فنل اکسیداز (به ترتیب ۶۱/۳۵ و ۷۷/۶۶ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در بالاترین سطح از محدودیت آبی و عدم کاربرد نانو اکسید آهن و روی و کمترین فعالیت این آنزیم‌ها (به ترتیب ۳۱/۲۶ و ۳۹/۷۵ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط آبیاری کامل و بدون کاربرد نانو اکسید آهن و روی به دست آمد (جدول ۴). این امر بیانگر آن است که حضور نانو اکسید آهن و روی در شرایط آبیاری نرمال همانند محدودیت آبی به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی می‌انجامد، به طوری که در آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی کاربرد نانو اکسید آهن و روی در مقایسه با عدم کاربرد آن به ترتیب ۲۲ و ۲۱ درصدی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پلی فنولاز را افزایش می‌دهد (جدول ۴).

نتایج بررسی‌های مختلف حاکی از آن است که یون‌های فلزی همچون آهن، روی، مس، منگنز و منیزیم کوفاکتور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مشارکت می‌کند و در شرایط کمبود عناصر ریز مغذی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاهش می‌یابد. همین امر به افزایش حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی می‌انجامد [۱۵].

تأثیر میکوریزا و محلول پاشی با نانواکسید آهن و روی بر عملکرد، درصد روغن و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ در شرایط محدودیت آبی

عدم مصرف آن به افزایش ۶/۷۲ درصدی عملکرد دانه انجامید (جدول ۳). بررسی اثر ترکیب تیماری میکوریزا و نانواکسید آهن و روی بر عملکرد دانه در سطوح مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۲۲۷۸/۵۲) کیلوگرم در هکتار) از کاربرد توأم میکوریزا با نانواکسید آهن و روی در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن (۹۳۴/۲۵) کیلوگرم در هکتار) از عدم مصرف میکوریزا و نانواکسید آهن و روی در شرایط محدودیت شدید آبی به دست آمد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین تأثیر میکوریزا و عناصر ریزمغذی آهن و روی بر عملکرد کمی و کیفی گلرنگ در سطوح مختلف آبیاری

ترکیب تیماری	روغن (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
$I_0 \times (Fe+Zn) \times M_1$	۳۱/۱۸a	۲۲۷۸/۵۲a
$I_0 \times (Fe+Zn) \times M_0$	۳۰/۸۵ab	۲۲۳۸/۵۴ab
$I_0 \times (Fe) \times M_1$	۳۰/۳۲abc	۲۲۰۵/۲۳ab
$I_0 \times (Fe) \times M_0$	۳۰/۰۸abc	۲۱۸۷/۹۱b
$I_0 \times (Zn) \times M_1$	۲۹/۸۶abcd	۱۸۴۱/۴۷c
$I_0 \times (Zn) \times M_0$	۲۹/۸۶abcd	۱۸۱۴/۸۲cd
$I_0 \times (\text{without } Fe+Zn) \times M_1$	۲۹/۷۰cdab	۱۸۰۶/۸۲cd
$I_0 \times (\text{without } Fe+Zn) \times M_0$	۲۹/۶۴dabc	۱۸۰۱/۲cd
$I_1 \times (Fe+Zn) \times M_1$	۲۹/۳۸abcd	۱۷۷۲/۱۸cd
$I_1 \times (Fe+Zn) \times M_0$	۲۸/۸۲abcd	۱۷۹۶/۶cd
$I_1 \times (Fe) \times M_1$	۲۸/۶۱bcd	۱۷۴۳/۲۷d
$I_1 \times (Fe) \times M_0$	۲۸/۴۴ecd	۱۷۲۹/۵۷d
$I_1 \times (Zn) \times M_1$	۲۸/۴۴cde	۱۴۵۵/۷۱e
$I_1 \times (Zn) \times M_0$	۲۸/۲۲cde	۱۴۳۴/۶۴ef
$I_1 \times (\text{without } Fe+Zn) \times M_1$	۲۷/۶۵de	۱۴۲۸/۳۲ef
$I_1 \times (\text{without } Fe+Zn) \times M_0$	۲۶/۲۷ef	۱۴۲۲/۳۲ef
$I_2 \times (Fe+Zn) \times M_1$	۲۵/۲۴f	۱۴۰۰/۵۳ef
$I_2 \times (Fe+Zn) \times M_0$	۲۴/۹۸f	۱۳۹۷/۳۷ef
$I_2 \times (Fe) \times M_1$	۲۴/۵۵f	۱۳۷۶/۵۸ef
$I_2 \times (Fe) \times M_0$	۲۴/۳۵f	۱۳۶۵/۷۶f
$I_2 \times (Zn) \times M_1$	۲۴/۱۷f	۱۱۴۶/۷۸g
$I_2 \times (Zn) \times M_0$	۲۴/۱۷f	۱۱۳۲/۸۷g
$I_2 \times (\text{without } Fe+Zn) \times M_1$	۲۳/۹۹f	۱۱۲۷/۸۸g
$I_2 \times (\text{without } Fe+Zn) \times M_0$	۲۲/۴۳f	۹۳۴/۲۵h
LSD 5%	۲/۳۴	۸۹/۷۷

I_0 , I_1 , I_2 به ترتیب آبیاری کامل بر اساس نیاز گیاه زراعی و شرایط محیطی مطابق با عرف متداول زارعان محلی به عنوان شاهد، آبیاری تا ۵۰ درصد گلدھی به عنوان تنش ملایم در محدودیت آبی و آبیاری تا مرحله ۵۰ درصد تکمه دهی به عنوان تنش شدید آبی، Fe، Zn و Zn+Fe به ترتیب محلول پاشی با آهن، روی، آهن + روی و عدم محلول پاشی M_0 و M_1 عدم کاربرد و کاربرد میکوریزاست.

به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوکتاز و گلوتامین سنتتاز، فتوستتوز و عملکرد دانه افزایش یافت [۴۰].

۴. نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده در این بررسی، می‌توان اظهار داشت که گیاه در مواجهه با تنش خشکی سعی در حفظ فشار اسمزی خود دارد و این کار را با افزایش سنتتوز اسمولیت‌هایی از جمله پرولین انجام می‌دهد که به حفظ فشار و تورژسانس سلول‌های گیاه کمک می‌کند. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به واسطه حضور میکوریزا و ریزمغذی‌های آهن و روی تا حد زیادی آثار مخرب ناشی از تنش را بر کاهش عملکرد تعدیل می‌کند، به طوری که حضور نانوآکسید آهن و روی هم در شرایط آبیاری نرمال و هم در شرایط محدودیت آبی به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌انجامد. اما، در آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی کاربرد نانوآکسید آهن و روی در مقایسه با عدم کاربرد نانوآکسید آهن و روی به افزایش به ترتیب ۲۲ و ۲۱ درصدی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز منجر می‌شود. سنتتوز بیشتر چنین آنزیم‌هایی آن هم در شرایط تنش از افت بیشتر عملکرد جلوگیری می‌کند. به نظر می‌رسد بخشی از افزایش عملکرد دانه در شرایط محدودیت آبی را در کاربرد میکوریزا و نانوآکسید آهن و روی می‌توان به افزایش محتوای کلروفیل یا بهبود فرایند فتوستتوز و بخشی دیگر را می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مثل کاتالاز و پراکسیداز یا بهبود سازوکارهای دفاعی نسبت داد. از این رو، کاربرد توأم میکوریزا و نانوآکسید آهن و روی برای سودمندی تولید گلرنگ تحت شرایط محدودیت آبی توصیه می‌شود.

نتایج بررسی‌ها نشان داده است که قارچ‌های میکوریزا قادر است آثار نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل کند [۲]. از مهم‌ترین آثار مطلوب روابط میکوریزایی در شرایط تنش خشکی می‌توان به تغییر در سطح بعضی هورمون‌های گیاهی مثل آبسزیک اسید و سیتوکنین، جذب مستقیم آب توسط هیف‌های قارچ در خاک و انتقال آن به گیاه میزبان [۱۸]، افزایش تولید و تجمع پرولین و سایر متابولیت‌ها به منظور تنظیم اسمزی در گیاهان مختلف [۲۸] اشاره کرد. بخشی از بالا بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل را می‌توان به بالا بودن محتوای کلروفیل در شرایط آبیاری کامل نسبت داد، ولی در شرایط آبیاری تا تکمه‌دهی به دلیل محدودیت شدید آبی و تأثیر سوء ناشی از آن بر شاخص سبزینگی (جدول ۴)، ظرفیت ذخیره‌سازی و کارایی تولید به دلیل تأثیر سوء تنش بر میزان سبزینگی گیاه کاهش می‌یابد. بیان شده است که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی با کاهش آثار سوء ناشی از محدودیت آبی بر فتوستتوز و پارامترهای مربوط به آن، موجب می‌شود عملکرد و اجزای عملکرد افزایش یابد [۴۲].

برخی محققان علت افزایش عملکرد دانه به واسطه محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی را به نقش مهم این عناصر در افزایش میزان کلروفیل، فعالیت‌های کاتالیزوری فرایندهای سوخت‌وسازی و حفظ آماس سلولی در گیاه و افزایش پرولین نسبت دادند که موجب می‌شود گیاه عناصر مورد نیاز خود را برای افزایش اسمولیت‌ها بهتر و راحت‌تر در اختیار داشته باشد. بدین ترتیب، سلول به فعالیت‌های حیاتی خود حتی تحت شرایط تنش ادامه می‌دهد [۵۲]. به نظر می‌رسد افزایش محتوایی پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به واسطه کاربرد عناصر ریزمغذی در این بررسی توجیه‌کننده بخشی از بهبود عملکرد گیاه در شرایط تنش است. نتایج بررسی‌ای نشان داد که در گندم تلقیح شده با باکتری *Azospirillum* و قارچ *Glomus fasciculatum*

تأثیر میکوریزا و محلول پاشی با نانو اکسید آهن و روی بر عملکرد، درصد روغن و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ در شرایط محدودیت آبی

- منابع
1. سید شریفی ر (۱۳۹۴) زراعت دانه‌های روغنی. انتشارات جهاد دانشگاهی اردبیل. ۲۳۲ ص.
 2. سید شریفی ر و نامور ع (۱۳۹۴) کودهای زیستی در زراعت. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۲۸۲ ص.
 3. میرزاخانی م، اردکانی م، آینه‌بند ا و رجایی ف (۱۳۸۸) اثرات تلقیح با ازتوباکتر و میکوریزا در سطوح مختلف از نیتروژن و فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره. دهمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات. ۴-۶ شهریور. کرج، ایران.
 4. خوش‌گفتارمنش ا (۱۳۸۶) مبانی تغذیه گیاهی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۴۶۲ ص.
 5. Abdalla MM and El-khoshiban NH (2007) The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two Triticum aestivum cultivars. Journal of Applied Sciences Research. 3(12): 2062-2074.
 6. Abdel Latef AA (2010) Changes of antioxidative enzymes in salinity tolerance among different wheat cultivars. Cereal Research Communications. 38: 43-55.
 7. Ahmad P and Prasad MNV (2012) Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability. Springer, New York Dordrecht Heidelberg London.
 8. Ahmadi A and Baker DA (2001) The effect of water stress on grain filling processes in wheat. Journal of Agricultural Science. 136: 257-269.
 9. Al-Karaki GN, McMichael B and Zak J (2004) Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza. 14: 263-269
 10. Arnon DI (1949) Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology. 24(1):1-15.
 11. [11] Ashraf M and Foolad MR (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59: 206-216.
 12. Bates L, Waldren SRP and Teare ID (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.
 13. Baybordi A and Mamedov G (2010) Evaluation of application methods for efficiency of zinc and iron for Canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae. 2(1): 94-103.
 14. Blokhina O, Virolainen E and Fagerstedt, KV (2003) Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress. Annals of Botany. 91(2): 179-194.
 15. Cacmak I (2000) Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist. 146: 185-205.
 16. Cattivelli L, Rizza F, Badeck FW, Mazzucotelli E, Mastrangelo AM, Francia E, Mare C, Tondelliand A and Stanca M (2008) Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research. 105(1-2): 1-14.
 17. Çiçek N and Çakırlar H (2002) The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 28(1-2): 66-74.
 18. Davies JR., Puryear JD, Newton RJ, Egill JN and Grossi JAS (2001) Mycorrhizal fungi enhance accumulation and tolerance of chromium in sunflower. Journal of Plant Physiology. 158: 777-786.

19. Demir S (2004) Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological, growth parameters of pepper. Turkish Journal Biology. 28: 85-90.
20. Gamalero E, Berta G and Glick BR (2009) The use of microorganisms to facilitate the growth of plants in saline soils. In: Khan, MS., Zaidi, A., Musarrat, J. editors. Microbial strategies for crop improvement. Dordrecht Heidelberg, London: Springer, pp. 1-22.
21. Gilick BE, Penrose D and Wenbo M (2001) Bacterial promotion of plant growth. Biotechnological Advance. 19: 135-138.
22. Graham RD, Asher S and Hynes SC (1992) Selecting zinc-efficient genotypes for soils of low zinc status. Plant and Soil. 146: 241-250.
23. Gusain YS, Singh US and Sharma AK (2015) Bacterial mediated amelioration of drought stress in drought tolerant and susceptible cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology. 14(9): 764-773.
24. Hussain A, Ghaudhry MR, Wajad A, Ahmed A, Rafiq M, Ibrahim M and Goheer AR (2004). Influence of water stress on growth, yield and radiation use efficiency of various wheat cultivars. International Journal of Agricultural Biology. 6: 1074-1079.
25. Jain R, Srivastava S, Solomon S, Shrivastava AK and Chandra A (2010) Impact of excess zinc on growth parameters, cell division, nutrient accumulation, photosynthetic pigments and oxidative stress of sugarcane (*Saccharum* spp.). Acta Physiologiae Plantarum. 32(5): 979-986.
26. Joshi NL, Mali PC and Sexena A (1998) Effect of nitrogen and sulphur application on yield and fatty acid composition of mustard (*Brassica juncea* L.). Journal of Agronomy and Crop Science. 180: 59-63.
27. Kaya C and Higgs D (2002) Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. Scientia Horticulturae. 93: 53-64.
28. Khalafallah AA and Abo-Ghaila HH (2008) Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research. 4: 559-569.
29. Kobraee S, Shamsi K and Rasekhi B (2011) Effect of micronutrients application on yield and yield components of soybean. Annals of Biological Research. 2 (2): 476-482
30. Lee S, Kim S, Kim S and Lee I (2012) Assesment of phytotoxicity if ZnO NPs on a medicinal plant, *Fogopyrum esculentom*. Environmental Science and Pollution Research. 10: 8-12.
31. Ma Y, Prasad MNV, Rajkumar M and Freitas H (2011) Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. Biotechnology Advances. 29(2): 248-258.
32. Mandhania S, Madan S and Sawhney V (2006) Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum. 50(2): 227-231.
33. Mazaherinia S, Astarai AR, Fotovat A and Monshi A (2010) Nano iron oxide particles efficiency on Fe , Mn , Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Applied Sciences Journal. 7(1): 36-40.
34. Mittler R (2002) Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science. 7: 405-410.
35. Moller IM, Jensen, PE, Hansson A (2007) Oxidative modifications to cellular components

- in plants. Annual Review of Plant Biology. 58: 459-481.
36. Monica RC and Cremonini R (2009) Nanoparticles and higher plants. Caryologia. 62: 161-165.
37. Movahhedi Dehnavi M, Modarres Sanavi AM, Soroush-Zade A and Jalali M (2004) Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and maganese. Biaban. 9(1): 93-110.
38. Murray DR (1989). *Biology of fool irradiation*. Research Studies Press, UK. Esmith, DS. 1991. Growth responses of corn (*Zea mays* L.) to interminating of soil water dificits. Feild Crops Abstracts, pp. 237.
39. Oraki H, Parhizkar Khanjani F and Aghaalikhna, M (2012) Effect of water deficit stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and grain yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. African Journal of Biotechnology. 11: 164-168.
40. Panwar JDS (1991) Effect of VAM and Azospirillum brasilense on photosynthesis, nitrogen metabolism and grain yield in wheat. Indian Journal of Plant Physiology. 34: 357-361.
41. Prasad TN, Sudhakar P, Sreenivasulu Y, Latha P, Munaswamy V, Raja Reddy K, Sreeprasad TS and Sajanlal PR (2012) Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition. 35: 905-927.
42. Rose LA, Feltion WL and Banks LW (2002) Responses of four soybean variations to foliar zinc fertilizer. Australian Journal of Experimental Agriculture. 21: 236-240.
43. Sairam RK, Rao KV and Saivastava GC (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress; antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science. 163: 1037-1046.
44. Sanchez F, De Andres EF, Tenorio JL and Ayerbe L (2003). Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. Field Crop Research. 86: 81-90.
45. Sannazzaro AI, Alberto E, Ruiz OA and Menendez B (2005) Influence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on the saline stress physiology of *Lotus glaber*. Lotus Newsletter. 35: 29-30.
46. Seyed Sharifi R (2016) Application of biofertilizers and zinc increases yield, nodulation and unsaturated fatty acids of soybean. Zemdirbyste-Agriculture. 103(3): 251-258.
47. Sharma A, Johri BN, Sharma AK and Glick BR (2003). Plant growth promoting bacterium *Pseudomonas* sp. Strain GRP3 influences iron acquisition in mungbean. Soil Biology. 35: 887-894.
48. Shehata M and EL-Khawas SA (2003). Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower yield. Pakistan Journal of Biological Science. 6(14): 1257-1268.
49. Soleimanzadeh H, Habibi D, Ardakani MR, Paknejad F and Rejali F (2010) Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to inoculation with *azotobacter* under different nitrogen levels. American-Eurasian Journal of Agricultural and Enviromental Sciences. 7(3): 265-268.
50. Sudhakar C, Lakshmi A and Giridara Kumar S (2001) Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of

- mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. Plant Science. 167: 613-619.
51. Tambussi EA, Nogue S and Araus JL (2005) Ear of durum wheat under water stress: water relations and photosynthetic metabolism. Planta. 221: 446-458.
52. Thalooh AT, Tawfik MM and Magda Mohamed H (2006) A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. World Journal Agricultural Science. 2: 37-46.
53. Welch RM, Allaway WH, House WA and Kabota J (1991) Geographic distribution of trace element problem. PP. 31-57. In: Micronutrients in Agriculture. 2nd ed. Ed: J. J. Mortvedt et al. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
54. Zahedi H and Tohidi Moghadam, HR (2011) Effect of drought stress on antioxidant enzymes activities with zeolite and selenium application in canola cultivars. Research on crops. 12(2): 388-392.
55. Zarrouk O, Gogorcena Y, Gomez-Aparisi J, Betran JA and Moreno MA (2005) Influence of Almond peach hybrids root stocks on flower and leaf mineral concentration, yield, vigour of two peach cultivars. Scientia Horticulturae. 106: 502-514.



Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 19 ■ No. 3 ■ Autumn 2017

The effect of mycorrhiza and foliar nano (Fe and Zn) oxide spraying on yield, oil percentage and some biochemical traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water limitation condition

Raouf Seyed Sharifi^{1} and Reza Seyed Sharifi²*

1. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: November 5, 2016

Accepted: December 12, 2016

Abstract

In order to study the effect of mycorrhiza and foliar nano (Fe and Zn) oxide spraying on yield and some biochemical traits of spring safflower (cultivar Padedeh) under water limitation condition, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm of the Islamic Azad University, Ardabil Branch in cropping year of 2014. The experimental factors were included arbuscular mycorrhiza application in two levels (with and without mycorrhiza), foliar application of nano zinc oxide in four levels (non-foliar application and foliar application of nano iron oxide, nano zinc oxide and nano zinc oxide + nano iron oxide) and irrigation in three levels [full irrigation as control, irrigation with holding at 50% of flowering and heading-bud stages (moderate and severe water limitation respectively)]. Results showed that water limitation was increased proline content, the activity of catalase, peroxidase, polyphenol oxidase enzymes. Mycorrhiza application and foliar nano (Fe and Zn) oxide spraying improved these traits under water limitation condition and normal irrigation. Means comparison showed that maximum of grain yield ($2278.52 \text{ kg ha}^{-1}$) was obtained at application of mycorrhiza, nano oxide of Zn+Fe and full irrigation. Minimum of it ($834.25 \text{ kg ha}^{-1}$) was obtained in non-mycorrhiza, no application of nano oxide and irrigation to heading-bud stage. Application of mycorrhiza and nano oxide of Zn+Fe increased grain yield by 35.9% as compared with non-mycorrhiza, non-foliar application of nano oxide under severe water limitation. It seems that mycorrhiza and nano oxide of Zn+Fe application is usable for profitable safflower production under water limitation condition.

Keywords: biofertilizers, irrigation withholding, microelement, oil seeds.