تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۹
۴۱۲-۴۰۱
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2202.1550

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهایی

سید احمد پورجمشید[1*]، مهرداد قیصری[2]، علی شریفی‌نیک[3]، فیصل سالمی[4]
۱. دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۲. دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد علف‌های هرز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز
۳. دانش‌آموخته‌ی مهندسی تولیدات گیاهی (باغبانی)، دانشگاه شهید باهنر، کرمان
۴. دانش‌آموخته‌ی مهندسی تولیدات گیاهی (زراعت)، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۰۵

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهایی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده با چهار تکرار در شهرستان رامهرمز اجرا گردید. عوامل آزمایشی شامل تنش خشکی در دو سطح آبیاری کامل (عدم تنش خشکی) و قطع آبیاری از آغاز مرحله گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک (تنش خشکی انتهایی) به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در شش سطح عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی با آب، آهن، روی، منگنز و آهن + روی + منگنز (هرکدام سه لیتر در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد، تنش خشکی انتهایی به‌جز محتوای پرولین برگ و پروتئین دانه، صفات شاخص کلروفیل برگ، شاخص پایداری غشای سلول، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. بااین‌وجود، محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز صفات اندازه‌گیری شده در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی انتهایی را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. در این میان، کاربرد محلول‌پاشی روی بیشترین اثر را در کاهش آسیب ناشی از تنش خشکی انتهایی بر صفات موردانداز‌ه‌گیری نشان داد. به‌طورکلی، استفاده از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی به‌صورت محلول‌پاشی می‌تواند اثرات زیان‌بار ناشی از تنش خشکی انتهایی را کاهش و موجب بهبود صفات فیزیولوژیک، زراعی و محتوای پروتئین دانه گندم نان در منطقه رامهرمز شود.

واژه‌های کلیدی: **آهن، تنش‌های محیطی، روی، منگنز**

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) ازنظر میزان تولید و سطح زیر کشت مهم‌ترین محصول زراعی به شمار رفته و افزایش کمی و کیفی عملکرد آن در واحد سطح از مهم‌ترین اولویت‌های تحقیقاتی و اجرایی کشور است (Mojtabaie Zamani et al., 2015). در الگوی فصلی بارندگی مناطق مدیترانه‌ای ازجمله بخش‌های جنوب غربی ایران (استان خوزستان)، قسمت اعظم بارندگی در فصل زمستان اتفاق می‌افتد و گیاهان زراعی معمولاً از زمان گل‌دهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، با خشکی و کم‌آبی مواجه می‌شوند (Jafarnejad et al., 2013). تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Dehghan et al., 2017). تنش خشکی با افزایش انتقال الکترون به مولکول اکسیژن موجب تجمع انواع اکسیژن فعال (ROS) ازجمله پراکسید هیدروژن، اکسیژن منفرد، رادیکال سوپراکسید و رادیکال هیدروکسیل می‌شود (Fathi-Amirkhiz et al., 2012). تجمع ROS از طریق ایجاد

* نگارنده پاسخگو: سید احمد پورجمشید. پست الکترونیک: Pourjamshid58@gmail.com

آسیب اکسیداتیو به غشاء، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک کارکرد آن‌ها را مختل کرده و موجب پراکسیداسیون لیپیدها، دناتوره شدن پروتئین‌ها و موتاسیون DNA خواهد شد (Sirousmehr et al., 2015). در مطالعه‌ای امام و همکاران (Emam et al., 2007) گزارش دادند که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گندم از طریق کاهش صفات تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه می‌شود.

کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف در بسیاری از کشورهای آسیایی ازجمله ایران به علت ماهیت آهکی خاک، pH بالا، مواد آلی پایین، تنش شوری، خشک‌سالی، محتوای بی‌کربنات آب آبیاری و عدم تعادل در استفاده از کودهای NPK شایع است (Narimani et al., 2010). ازآنجاکه در شرایط مزرعه، خصوصیات خاک و عوامل محیطی مؤثر بر جذب عناصر غذایی بسیار متغیر هستند، محلول‌پاشی عناصر می‌تواند یک مزیت برای رشد محصول باشد (Seifi Nadefgholi et al., 2001). محلول‌پاشی عناصر در مقایسه با کاربرد خاکی آن‌ها، مواد غذایی موردنیاز گیاهان را سریع‌تر فراهم می‌کند. علاوه بر این، کارایی محلول‌پاشی بالاتر و هزینه آن نسبت به کاربرد خاکی کمتر است (Yassen et al., 2010).

آهن به‌عنوان یک عنصر غذایی کم‌مصرف، جزء ضروری بسیاری از آنزیم‌ها همچون نیتروژناز، کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و نیترات ردوکتاز است و نقش اساسی در سنتز کلروفیل، نمو کلروپلاست، انتقال الکترون، فتوسنتز و متابولیسم گیاهان دارد (Ghasemian et al., 2010). کمبود آهن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان که از سیستم‌های فتوسنتزی گیاهان تحت تنش‌های محیطی محافظت می‌کنند را کاهش می‌دهد (Sun et al., 2007). آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز به‌عنوان مهم‌ترین آنزیم‌های خنثی‌کننده پراکسید هیدروژن در گیاهان، حاوی آهن بوده و فعالیت آن‌ها تحت تأثیر کمبود آهن قرار می‌گیرد (Sun et al., 2007).

روی یک عنصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است که به‌عنوان یک جزء فلزی آنزیم‌های مختلف و یا به‌صورت یک کوفاکتور ساختاری و یا نظارتی کاربردی برای سنتز پروتئین، RNA و DNA، فتوسنتز، سنتز اکسین، تقسیم سلولی و لقاح جنسی عمل می‌کند (Kobraee et al., 2011). روی نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیک سلول، محافظت غشاء در مقابل ROS و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها ایفا می‌کند (Marschner, 1995). کمبود روی به‌دلیل افزایش تولید ROS و بروز تنش اکسیداتیو موجب اختلال در متابولیسم سلول و متعاقب آن کاهش رشد و عملکرد گندم می‌شود (Cakmak et al., 1996).

منگنز به‌عنوان یک عنصر غذایی ضروری، نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های دکربوکسیلاز و دهیدروژناز دارد و جزء اصلی کمپلکس پروتئینی PSII، سوپراکسید دیسموتاز و فسفاتاز است (Ghasemian et al., 2010). علاوه بر این، منگنز نقش اساسی در انتقال الکترون، فتوسنتز و جذب آهن توسط گیاهان دارد. منگنز به‌طور مستقیم از طریق افزایش ترکیبات و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و به‌طور غیرمستقیم از طریق افزایش سرعت فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن نقش مهمی در کاهش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از تنش‌های محیطی در گیاهان دارد (Waraich et al., 2012). گزارش شده، کاربرد آهن، روی و منگنز صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و محتوای پروتئین دانه گندم را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری بهبود می‌نماید (Zain et al., 2015; Zeidan and Nofal, 2002). با توجه به اهمیت تولید گندم در جهت تأمین منابع غذایی موردنیاز کشور و لزوم بهبود تولید آن در بعضی از مناطق مانند خوزستان که با محدودیت تأمین آب آبیاری در انتهای فصل رشد مواجه هستند و همچنین توجه کمتر به نقش محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در تعدیل اثرات زیان‌بار تنش خشکی انتهای فصل بر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انتهایی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و چهار تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان رامهرمز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ اجرا گردید. عوامل آزمایشی شامل تنش خشکی در دو سطح آبیاری کامل (عدم تنش خشکی) و قطع آبیاری از آغاز مرحله گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک (تنش خشکی انتهایی)

به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در شش سطح عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی با آب، آهن، روی، منگنز و آهن + روی + منگنز (هرکدام ۳ لیتر در هکتار) بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان در سه مرحله‌ی پنجه‌زنی، ساقه رفتن و گرده‌افشانی (قبل از اعمال تنش خشکی انتهایی از طریق قطع آب آبیاری) به‌عنوان عامل فرعی بودند. برای محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز به‌ترتیب از کلات آهن ۶ درصد، کلات روی ۷/۵ درصد و کلات منگنز ۷ درصد به‌میزان ۳ لیتر در هزار لیتر آب در هکتار استفاده شد. خاک محل آزمایش دارای بافت رسی سیلتی با نفوذپذیری کم و از مشخصات آن می‌توان به پایین بودن میزان پتاسیم، آهن، روی، منگنز، ماده آلی و بالا بودن میزان فسفر، اسیدیته و شوری خاک اشاره کرد (جدول ۱). اطلاعات مربوط به پارامترهای هواشناسی در طی دوره آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. در طول دوره اعمال تنش خشکی انتهایی، هیچ‌گونه بارندگی مؤثری مشاهده نشد.

کرت‌های آزمایشی شامل هفت ردیف کاشت سه متری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از همدیگر و تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع بود. بر اساس نتایج آزمون خاک، اوره، سولفات پتاسیم و گوگرد به‌ترتیب، مقدار ۳۰۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید. کود اوره به‌صورت یک‌سوم پایه و در زمان کاشت همراه با تمام سولفات پتاسیم و گوگرد، یک‌سوم در مرحله پایان پنجه‌زنی و یک‌سوم در مرحله گل‌دهی به‌عنوان سرک مصرف شد. به‌دلیل بالا بودن میزان فسفر از کودهای فسفره استفاده نشد. غلظت بحرانی عناصر غذایی پتاسیم، فسفر، مس، آهن، روی و منگنز در خاک برای گندم در خوزستان به‌ترتیب ۲۰۰، ۱۲، ۰/۷، ۳/۸، ۱ و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است (Tabatabaei, 2013). کشت به روش دستی و در عمق سه سانتی‌متری خاک و در تاریخ ۲۵ آبان‌ماه انجام گردید. رقم گندم مورد کشت چمران بود. از ویژگی‌های این رقم می‌توان به تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۹۵ سانتی‌متر، میانگین وزن هزار دانه ۳۹ گرم، میانگین عملکرد دانه ۶/۵ تن در هکتار، زودرس و متحمل بودن به دمای بالا و خشکی اشاره کرد (Modhej and Fathi, 2008).

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Soil physical and chemical properties of experimental location

هدایت الکتریکی E.C	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	مواد آلی O.C	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn
($dS.m^{-1}$)			---------- (%) ----------				---------- ($mg.kg^{-1}$) ----------				
5.71	7.51	Silty clay	49	35	16	0.83	16.6	180	2.21	0.72	0.80

جدول ۲. آمار هواشناسی رامهرمز در طی دوره آزمایش

Table 2. Weather statistics of Ramhormoz during the experimental period

Month	ماه	میانگین دمای هوا Mean of air temperature (°C)		رطوبت نسبی RH (%)	بارندگی Precipitation (mm)
		حداکثر Maximum	حداقل Minimum		
November	آبان	30.0	18.1	41	18.3
December	آذر	27.1	10.9	56	55.7
January	دی	16.9	9.7	65	58.4
February	بهمن	20.6	8.4	49	15.1
March	اسفند	22.2	13.7	43	10.5
April	فروردین	30.4	17.4	42	6.8

آبیاری، کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز و آفات به‌گونه‌ای انجام شد که گیاه با تنش دیگری غیر از تنش خشکی انتهایی مواجه نگردد. آبیاری مطابق با نیاز آبی گیاه و شرایط اقلیمی منطقه در هفت نوبت (خاک‌آب، سبز آب، پنجه آب، ساق آب، خوش آب، گل آب و دانه آب) و به‌صورت نشتی- غرقابی انجام گرفت. برداشت محصول در تاریخ ۳۱ فروردین‌ماه انجام

گردید. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از سطح یک مترمربع هر کرت اندازه‌گیری و شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک، به‌صورت درصد، محاسبه شد.

روش اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک و محتوای پروتئین دانه

شاخص کلروفیل برگ

برای تعیین شاخص کلروفیل برگ در شرایط مزرعه، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی در مرحله پر شدن دانه، به‌طور تصادفی برداشت و از هر بوته ۵ برگ و از هر برگ ۳ نقطه با دستگاه کلروفیل سنج دیجیتال عدد را قرائت و عدد میانگین به‌عنوان شاخص کلروفیل برگ ثبت شد.

محتوای پرولین برگ

محتوای پرولین برگ از طریق روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) و بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر برگ از جدول استاندارد تعیین شد.

شاخص پایداری غشای سلول

برای اندازه‌گیری شاخص پایداری غشای سلول از رابطه ۱ استفاده شد (Lutts et al., 1996).

$$CMSI=(1-(EC_1/ EC_2)\times 100 \qquad [1]$$

در این رابطه، CMSI: شاخص پایداری غشای سلول، EC_1: هدایت الکتریکی اولیه (نشت اولیه) و EC_2: هدایت الکتریکی ثانویه (نشت ثانویه) است.

محتوای پروتئین دانه

محتوای پروتئین دانه با استفاده از دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شد (A.A.C.C., 2000). به‌طوری‌که ابتدا درصد نیتروژن دانه تعیین و سپس با حاصل‌ضرب درصد نیتروژن دانه در عدد ۵/۷، محتوای پروتئین دانه به‌صورت درصد به دست آمد.

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد. در صورت معنی‌داری مقادیر F، میانگین‌ها با آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر شاخص کلروفیل برگ گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان شاخص کلروفیل برگ گندم در شرایط عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی روی (۶۵/۴۱) و کمترین آن در شرایط تنش خشکی انتهایی و عدم محلول‌پاشی (شاهد) (۵۰/۷۰) به دست آمد (جدول ۴). در آزمایش حاضر مشاهده شد، تنش خشکی انتهایی اثر کاهشی بر شاخص کلروفیل برگ گندم داشت، اما در چنین شرایطی استفاده از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ شد. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی انتهایی عنصر غذایی روی توانست به‌میزان ۱۵/۵۵ درصد شاخص کلروفیل برگ گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد (جدول ۴). خیاط نژاد و همکاران (Khayatnezhad et al., 2011) گزارش دادند که تنش خشکی انتهای فصل موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ در ژنوتیپ‌های مختلف گندم شد. احتمالاً دلیل این کاهش را می‌توان به تولید ROS و کاهش سنتز کلروفیل درنتیجه افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌آز (Chlorophyllase) نسبت داد که در شرایط تنش بیان این آنزیم القاء می‌شود (Fathi-Amirkhiz et al., 2012; Zhao et al., 2007; Ranjan et al., 2001). در آزمایش حاضر مشاهده شد که کاربرد آهن، روی و منگنز موجب افزایش شاخص کلروفیل برگ در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی انتهایی شدند که با توجه به نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کاهش احتمالی فعالیت آنزیم کلروفیل‌آز و تشکیل کلروفیل (Ghasemian et al., 2010; Waraich et al., 2012; Reddy, 2004) می‌تواند قابل توجیه باشد.

محتوای پرولین برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر محتوای پرولین برگ گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات موردانداز‌ه‌گیری تحت تأثیر عوامل آزمایشی

Table 3. Analysis of variance measured traits affected by experimental factors

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	شاخص کلروفیل برگ Leaf chlorophyll index	محتوای پرولین برگ Leaf proline content	شاخص پایداری غشای سلول Cell membrane stability index
Block	بلوک	3	2.76^{ns}	0.91^{ns}	4.79^{ns}
Drought stress (S)	تنش خشکی	1	143.46**	174.75**	834.43**
Error a	خطای a	3	6.38	2.74	29.51
Foliar application (F)	محلول‌پاشی	5	46.74**	32.41**	205.58**
S × F	تنش×محلول‌پاشی	5	40.58**	26.28**	169.48**
Error b	خطای b	30	3.21	1.30	17.47
CV%	ضریب تغییرات (٪)		*5.21*	*8.43*	*9.14*

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	محتوای پروتئین دانه Grain protein content
Block	بلوک	3	81242^{ns}	223871^{ns}	1.20^{ns}	0.22^{ns}
Drought stress (S)	تنش خشکی	1	515866**	2245711**	32.91**	18.42**
Error a	خطای a	3	47346	99784	2.64	0.126
Foliar application (F)	محلول‌پاشی	5	272304**	1083488**	14.12**	3.14**
S × F	تنش×محلول‌پاشی	5	245157**	1002563**	10.19**	1.69**
Error b	خطای b	30	18610	49587	1.10	0.05
CV%	ضریب تغییرات (٪)		*11.10*	*13.26*	*4.72*	*3.34*

ns،* و **: به‌ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Non significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively

مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان محتوای پرولین برگ پرچم گندم در شرایط تنش خشکی انتهایی و محلول‌پاشی روی (۱۷/۰۸ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و کمترین آن در شرایط عدم تنش خشکی و عدم محلول‌پاشی (شاهد) (۶/۵۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) به دست آمد (جدول ۴). در آزمایش حاضر مشاهده شد، تنش خشکی انتهایی اثر افزایشی بر محتوای پرولین برگ گندم داشت. علاوه بر این، استفاده از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی نیز سبب افزایش محتوای پرولین برگ شد. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی انتهایی عنصر غذایی روی توانست به‌میزان ۲۸/۷۴ درصد محتوای پرولین برگ گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد (جدول ۴). انجم و همکاران (Anjum et al., 2013) افزایش محتوی پرولین برگ گیاهان با اعمال تنش خشکی را گزارش دادند. ساناداو همکاران (Sannada et al., 1995) علت افزایش محتوی پرولین برگ گندم و جو را بیوسنتز پرولین، کاهش اکسیداسیون پرولین به گلوتامات و یا تبدیل پروتئین به اسیدآمینه پرولین به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین تحت شرایط تنش ذکر کردند. کرملاچعب و قرینه (Karmollachaab and gharineh, 2013) کاهش محتوای پرولین برگ درنتیجه کاربرد عنصر غذایی روی را در هر دو شرایط عدم تنش و تنش شوری گزارش کردند. این یافته آن‌ها با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. محققان بسیاری علت افزایش تجمع پرولین درنتیجه محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز را به نقش این عناصر در فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و تبدیل آن به اسیدآمینه پرولین نسبت دادند (Babaeian et al., 2011; Boorboori et al., 2012; Waraich et al., 2012).

شاخص پایداری غشای سلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم در شرایط عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی روی (۷۸/۱۶ درصد) و کمترین آن در شرایط تنش خشکی انتهایی و عدم محلول‌پاشی (شاهد) (۵۵/۳۴ درصد) به دست آمد (جدول ۴).

در آزمایش حاضر مشاهده شد، تنش خشکی انتهایی اثر کاهشی بر شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم داشت. بااین‌وجود، استفاده از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی سبب افزایش شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم شد. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی انتهایی عنصر غذایی روی توانست به‌میزان ۱۰/۶۸ درصد شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد (جدول ۴). سینگ و همکاران (Singh et al., 1992) گزارش دادند که تحت شرایط تنش خشکی، تولید و انباشتگی ROS به اکسایش و تخریب پروتئین‌ها و لیپیدهای غشاء و درنهایت به افزایش نشت الکترولیت‌ها (کاهش شاخص پایداری غشای سلول) منجر شد. عنصر روی نقش بسیار مهمی در اعمال متابولیکی سلول، محافظت غشاء در مقابل ROS و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان داد (Marschner, 1995). ازآنجاکه یکی از راه‌های مقابله با ROS ناشی از تنش‌های محیطی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است (Raza et al., 2013). با توجه به نقش این آنتی‌اکسیدان‌ها در جاروب کردن ROS، کاهش فتواکسیداسیون و حفظ یکپارچگی غشای کلروپلاست (Marschner, 1995)، لذا می‌توان علت بهبود شاخص پایداری غشای سلول درنتیجه محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی انتهایی را با نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز (Waraich et al., 2012) مرتبط دانست.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر عملکرد دانه گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان عملکرد دانه گندم در شرایط عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی روی (۶۷۲۳/۳۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در شرایط تنش خشکی انتهایی و عدم محلول‌پاشی (شاهد) (۲۸۶۶/۶۴) به دست آمد (جدول ۴). در آزمایش حاضر مشاهده شد، تنش خشکی انتهایی در مقایسه با شرایط عدم تنش خشکی، موجب کاهش عملکرد دانه گندم شد، ولی در چنین شرایطی استفاده از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی سبب افزایش عملکرد دانه گردید. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی انتهایی عنصر غذایی روی توانست به میزان ۳۹/۴۷ درصد عملکرد دانه گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد (جدول ۴). فرمهینی فراهانی و همکاران (Farmahini Farahani et al., 2017) علت کاهش عملکرد دانه گندم درنتیجه اعمال تنش خشکی را کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و متعاقب آن کاهش وزن هزار دانه ذکر کردند. ندیم و همکاران (Nadim et al., 2011) گزارش دادند که کاربرد مجزا و تلفیقی آهن، روی و منگنز موجب افزایش عملکرد دانه گندم می‌شود. گزارش شده است که تشکیل ROS ناشی از شرایط تنش با تولید اتیلن، پراکسیداسیون لیپیدها و درنتیجه سیالیت غشاء مرتبط است (Wang et al., 2012). همچنین مطالعات پیشین نشان داده، افزایش اتیلن در گندم، باعث کوتاه شدن دوره پر شدن دانه، کاهش وزن هزار دانه، تسریع بلوغ، پیری زودرس و درنتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود (Beltrano et al., 1999)؛ بنابراین می‌توان علت افزایش عملکرد دانه درنتیجه کاربرد آهن، روی و منگنز را با نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز (Waraich et al., 2012) و درنتیجه کاهش تجمع ROS و تولید اتیلن مرتبط دانست.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر عملکرد بیولوژیک گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر صفات اندازه‌گیری‌شده تحت شرایط عدم تنش و تنش خشکی انتهایی

Table 4. Comparison of mean the effect of micronutrients foliar application on measured traits under non-drought stress and terminal drought stress condition

تنش خشکی Drought stress	Foliar application	محلول‌پاشی	شاخص کلروفیل برگ Leaf chlorophyll index	محتوای پرولین برگ Leaf proline content	شاخص پایداری غشای سلول Cell membrane stability index
				(µmol.g^{-1}fw)	(%)
عدم تنش خشکی non-drought stress	Control	شاهد	53.69^{defg}	6.55^{l}	64.20^{e}
	Water	آب	56.66^{d}	7.36^{jk}	67.40^{d}
	Fe	آهن	59.60^{c}	8.54^{hi}	74.91^{b}
	Zn	روی	65.41^{a}	9.68^{g}	78.16^{a}
	Mn	منگنز	59.53^{c}	8.15^{ij}	74.35^{bc}
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+ منگنز	62.36^{b}	9.04^{gh}	75.02^{b}
تنش خشکی انتهایی terminal drought stress	Control	شاهد	50.70^{h}	12.17^{f}	55.34^{h}
	Water	آب	54.97^{def}	13.44^{e}	58.85^{fg}
	Fe	آهن	56.75^{d}	15.81^{c}	60.51^{f}
	Zn	روی	60.04^{bc}	17.08^{a}	66.02^{de}
	Mn	منگنز	56.11^{de}	14.63^{d}	60.41^{f}
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+ منگنز	56.74^{d}	16.90^{ab}	61.45^{ef}
LSD 5%			*2.83*	*0.80*	*3.13*

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

تنش خشکی Drought stress	Foliar application	محلول‌پاشی	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	محتوای پروتئین دانه Grain protein content
			(kg.h^{-1})	(kg.h^{-1})	(%)	(%)
عدم تنش خشکی non-drought stress	Control	شاهد	4565.57^{ef}	11730.20^{f}	38.92^{e}	9.81^{k}
	Water	آب	5140.26^{d}	12858.31^{e}	39.97^{d}	10.16^{j}
	Fe	آهن	5676.49^{c}	14182.56^{bc}	40.02^{d}	10.44^{i}
	Zn	روی	6723.31^{a}	15460.85^{a}	43.48^{a}	10.97^{g}
	Mn	منگنز	5628.73^{c}	13678.37^{cd}	41.15^{bc}	10.44^{i}
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+ منگنز	6153.40^{b}	14660.62^{b}	41.97^{b}	10.70^{h}
تنش خشکی انتهایی terminal drought stress	Control	شاهد	2866.64^{i}	9323.31^{i}	30.74^{j}	12.43^{f}
	Water	آب	3227.63^{h}	10145.40^{h}	31.81^{i}	12.73^{cde}
	Fe	آهن	3771.65^{g}	11044.55^{g}	34.14^{h}	12.90^{bc}
	Zn	روی	4736.50^{e}	12620.51^{e}	37.53^{f}	13.39^{a}
	Mn	منگنز	3705.70^{g}	10883.46^{g}	34.04^{h}	12.84^{bcd}
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+ منگنز	4251.86^{f}	11781.78^{f}	36.08^{g}	12.98^{b}
LSD 5%			*354.28*	*748.39*	*0.83*	*0.24*

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد به روش LSD ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level using of LSD.

عملکرد بیولوژیک گندم در شرایط عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی روی (۱۵۴۶۰/۸۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در شرایط تنش خشکی انتهایی و عدم محلول‌پاشی (شاهد) (۹۳۲۳/۳۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۴). در آزمایش حاضر مشاهده شد، تنش خشکی انتهایی در مقایسه با شرایط عدم تنش خشکی، موجب کاهش عملکرد بیولوژیک گندم شد، بااین‌وجود در چنین شرایطی استفاده از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی انتهایی عنصر غذایی روی توانست به میزان ۲۶/۱۲ درصد عملکرد بیولوژیک گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد (جدول ۴). عملکرد بیولوژیک گندم با اعمال تنش خشکی کاهش نشان داد (Farmahini Farahani et al., 2017). این محققین دلیل آن را با نقش تنش خشکی در کاهش طول دوره رشد زایشی، کاهش تولید و تجمع ماده خشک گیاهی و متعاقب آن کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه مرتبط دانستند. زیدان و نوفل (Zeidan and Nofal, 2002) گزارش دادند که کاربرد آهن، روی و منگنز موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد. در آزمایش حاضر کاربرد آهن، روی و منگنز موجب افزایش عملکرد بیولوژیک در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی انتهایی شد که با توجه به نقش این عناصر در افزایش عملکرد دانه، عملکرد کاه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله گندم (Ziaeian and Malakouti, 2001) قابل توجیه است.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر شاخص برداشت گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان شاخص برداشت گندم در شرایط عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی روی (۴۳/۴۸ درصد) و کمترین آن در شرایط تنش خشکی انتهایی و عدم محلول‌پاشی (شاهد) (۳۰/۷۴ درصد) به دست آمد (جدول ۴). در آزمایش حاضر مشاهده شد، تنش خشکی انتهایی اثر کاهشی بر شاخص برداشت گندم داشت، اما در چنین شرایطی استفاده از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی سبب افزایش شاخص برداشت گندم شد. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی انتهایی عنصر غذایی روی توانست به میزان ۶/۷۹ درصد شاخص برداشت گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد (جدول ۴). عزت احمدی و همکاران (Ezzat Ahmadi et al., 2009) گزارش دادند که تنش خشکی موجب کاهش شاخص برداشت گندم شد. این محققین دلیل آن را به کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در مرحله پر شدن دانه و متعاقب آن کاهش عملکرد دانه با اعمال تنش خشکی، به‌عنوان صورت کسر معادله شاخص برداشت نسبت دادند. عبدلی و همکاران (Abdoli et al., 2014) اظهار داشتند که با محلول‌پاشی روی افزایشی در شاخص برداشت گندم مشاهده نشد. این محققین علت را به افزایش ذخیره مواد فتوسنتزی در اندام‌های رویشی و کاهش انتقال مجدد این مواد به اندام‌های زایشی درنتیجه کاربرد روی و متعاقب آن بیشتر شدن سهم کاه و کلش از مواد فتوسنتزی نسبت به عملکرد دانه نسبت دادند. یافته‌های این محققین با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. در آزمایش حاضر، محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی موجب افزایش شاخص برداشت شد که با توجه به نقش این عناصر در سهم بیشتر عملکرد اقتصادی از کل ماده خشک تجمع یافته نسبت به شاهد (Ziaeian and Malakouti, 2001) و قرار گرفتن آن در صورت کسر معادله شاخص برداشت قابل توجیه است.

محتوای پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر محتوای پروتئین دانه گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان محتوای پروتئین دانه گندم در شرایط تنش خشکی انتهایی و محلول‌پاشی روی (۱۳/۳۹ درصد) و کمترین آن در شرایط عدم تنش خشکی و عدم محلول‌پاشی (شاهد) (۹/۸۱ درصد) به دست آمد (جدول ۴). در آزمایش حاضر مشاهده شد، تنش خشکی انتهایی اثر افزایشی بر محتوای پروتئین دانه گندم داشت، علاوه بر این، استفاده از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی نیز سبب افزایش محتوای پروتئین دانه گندم شد. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی انتهایی عنصر غذایی روی توانست به میزان ۰/۹۶ درصد محتوای پروتئین دانه گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد (جدول ۴). عیوضی و همکاران (Eivazi et al., 2006) افزایش محتوای پروتئین دانه گندم در شرایط تنش خشکی را گزارش کردند. وقوع تنش در مراحل پس از گرده‌افشانی موجب کاهش طول دوره پر شدن

دانه، کوچک‌تر شدن آندوسپرم، کاهش وزن دانه و متعاقب آن افزایش محتوای پروتئین دانه گندم شد (Ahmed et al., 1994). در آزمایش حاضر، محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز موجب افزایش محتوای پروتئین دانه در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی انتهایی گردید که با توجه با نقش این عناصر در جذب و متابولیسم نیتروژن (مهم‌ترین عنصر در افزایش محتوای پروتئین دانه) و بیوسنتز پروتئین‌ها از طریق تنظیم فعالیت پپتیدازها و کنترل متابولیسم آن‌ها (Hänsch and Mendel, 2009) قابل توجیه است.

نتیجه‌گیری نهایی

تنش خشکی انتهایی سبب افزایش محتوای پرولین برگ و پروتئین دانه شد اما صفاتی نظیر، شاخص کلروفیل برگ، شاخص پایداری غشاء، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گندم را کاهش داد. محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر همه صفات اندازه‌گیری شده در دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی انتهایی اثر مطلوبی نشان داد. در بین مواد مختلف محلول‌پاشی شده، کاربرد روی بیشترین تأثیر را بر صفات فیزیولوژیک و زراعی و محتوای پروتئین دانه گندم نان (رقم چمران) در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی انتهایی داشت. به‌طورکلی می‌توان از محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز به‌ویژه روی به‌منظور کاهش اثرات زیان‌بار تنش خشکی انتهایی و بهبود صفات فیزیولوژیک، زراعی و محتوای پروتئین دانه گندم نان در مناطق مواجه با محدودیت آب آبیاری و بارندگی در انتهای فصل رشد همچون شهرستان رامهرمز بهره برد.

منابع

A.A.C.C., 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists 10th ed. AACC, St. Paul. Minnesota.

Abdoli, M., Esfandiari, E., Mousavi, B., and Sadeghzadeh, B., 2014. Effects of foliar application of zinc sulfate at different phenological stages on yield formation and grain zinc content of bread wheat. Azarian Journal of Agriculture. 1, 11-17.

Ahmed, M., Arain, M.A., Siddiqui, K.A., 1994. Effect of contemporary rotation simulation on the grain weight, protein and lysine content of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan Journal of Botany. 26, 311-339.

Babaeian, M., Tavassoli, A., Ghanbari, A., Esmaeilian, Y., Fahimifard, M., 2011. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (*Alstar cultivar*) under water stress at three stages. African Journal of Agricultural Research. 6, 1204-1208.

Bates, L.S., Waldern, R.P., Teare, E.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207.

Beltrano, J., Ronco, M., Montaldi, E.R., 1999. Drought stress syndrome in wheat is provoked by ethylene evolution imbalance and reversed by rewatering, aminoethoxyvinylglycine and sodium benzoate. Journal of Plant Growth Regulation. 18, 59-64.

Boorboori, M.R., EradatmandAsli, D., Tehrani, M., 2012. The effect of dose and different methods of iron, zinc, manganese and copper application on yield components, morphological traits and grain protein percentage of barley plant (*Hordeum vulgare* L.) in greenhouse conditions. Journal of Advances in Environmental Biology. 6, 740-746.

Cakmak, I., Sary, N., Marschner, H., Kalayci, M., Yilmaz, A., Eker, S., Gulut, K.Y., 1996. Dry matter production and distribution of Zn in bread and durum wheat genotypes differing in Zn efficiency. Plant and Soil. 180, 173-181.

Dehghan, M., Balouchi, H.R., Yadavi, A.R., Safikhani, F., 2017. Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sirvan under terminal drought stress condition. Iranian Journal of Crop Sciences. 19, 40-56. [In Persian with English Summary].

Eivazi. A., Abdollahi, S., Salekdeh, H., Majidi, I., Mohamadi, A., Pirayeshfar, B., 2006. Effect of drought and salinity stress on quality related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. Iranian Journal of Crop Sciences. 7, 252-267. [In Persian with English Summary].

Emam, Y., Ranjbar, A.M., Bahrani, M.J., 2007. Evaluation of yield and yield components in wheat genotypes under post-anthesis drought

stress. Journal of Agricultural Science and Natural Resources. 11, 221-232.

Ezzat Ahmadi, M., Noormohammadi, Gh., Ghodsi, M., Kafi. M., 2009. Effects of water deficit and spraying of desiccant on yield, yield components and water use efficiency of wheat genotypes. Pakistan Journal of Biological Sciences. 12, 1399-1407.

Famahini Farahani, M., Mirzakhani, M., Sajedi, N.A., 2017. Effect of water absorbent materials on some agronomic traits and seed protein of wheat under water deficit stress. Plant Production Technology. 7, 27-37. [In Persian with English Summary].

Fathi-Amirkhiz, K., Amini, M., Modares-Sanavi, A.M., Reza-Zadeh, A., Heshmati, S., 2011. Effect of iron application on enzymic activity, grain yield and oil content of safflower under water deficit conditions. Journal of Crop Sciences. 13, 452-465.

Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh zadeh, A., Pirzad, A., 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. Journal of Phytology. 2, 73-79.

Graham, A.W., McDonald, G.K., 2001. Effect of zinc on photosynthesis and yield of wheat under heat stress, Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference 2001, Australian Society of Agronomy, Hobart, Tasmania, Australia.

Hänsch, R., Mendel, R.R., 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, cl). Current Opinion of Plant Biology. 12, 259-266.

Jafarnejad, A., Aghaee, H., Najafian, G., 2013. Effective traits on grain yield of wheat genotypes under optimal irrigation and drought stress during reproductive phase. Journal of Applied and Crop Breeding. 1, 11-22. [In Persian with English Summary].

Karmollachaab, A., Gharineh, M.H., 2013. Effect of Zinc Element on Growth, Yield Components and some Physiological Characteristics of Maize under NaCl Salinity Stress. Iranian Journal of Field Crops Research. 11, 446-453. [In Persian with English Summary].

Khayatnezhad, M., Zaeifizadeh, M. and Gholamin, R. 2011. Effect of end-season drought stress on chlorophyll fluorescence and content of antioxidant enzyme superoxide dismutase enzyme (SOD) in susceptible and tolerant genotypes of durum wheat. African Journal of Agricultural Research. 6, 6397-6406.

Kobraee, S., Shamsi, K., Rasekhi, B., 2011. Effect of micronutrients application on yield and yield components of soybean. Annals of Biological Research. 2, 476-482.

Lee, D.G., Ahsan, N., Lee, S.H., Kang, K.Y., 2005. A proteomic approach in analyzing heat-responsive proteins in rice leaves. Proteomics. 7, 3369-3383.

Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany. 78, 389-398.

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. Academic Press, New York.

Modhej, A., Fathi, Gh., 2008. Wheat physiology. Islamic Azad University Puplication (*Shushtar branch*). 317p. [In Persian.[

Nadim, M.A., Awan, I.U., Baloch, M.S., Khan, E.A., Naveed, Kh., Khan, M.A., 2011. Effect of micronutrients on growth and yield of wheat. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 48, 191-196.

Narimani, H., Rahimi, M.M., Ahmadikhah, A., Vaezi, B., 2010. Study on the effects of foliar spray of micronutrient on yield and yield components of durum wheat. Archives of Applied Science Research. 2, 168-176.

Ranjan, R., Bohra, S.P., Jeet, A.M., 2001. Plant senescence, Jodhpur, Agrobios New York, 18-42.

Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Shah, G.M., Jamil, M., Khan, I.H., 2013. Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 13, 175-185.

Reddy, S.R., 2004. Principles of crop production-growth regulators and growth analysis, 2nd ed. Kalyani Publishers, Ludhiana, India.

Sannada, Y., Ueda, H., Kuribayashi, K., Andoh, T., Hayashi, F., Tamai, N., Wada, K., 1995. Novel light-dark change of proline levels in halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and glycophytes (*Hordeum vulgare* L. and *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress. Journal of Plant Cell Physiology. 36, 965-970.

Seifi Nadergholi, M., Yarnia, M., Rahimzade Khoei, F., 2011. Effect of zinc and manganese

and their application method on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Khomein). Middle-East Journal of Scientific Research. 5, 859-865.

Singh, M., Srivastava, J.P., Kumar, A., 1992. Cell membrane stability in relation to drought tolerance in wheat genotypes. Journal of Agronomy and Crop Science. 168, 186-190.

Sirousmehr, A., Bardel, J., Mohammadi, S., 2015. Changes of germination properties, photosynthetic pigments and anti oxidant enzymes activity of safflower as affected by drought and salinity stresses. Journal of Crop Ecophysiology. 8, 517-534. [In Persian with English Summary].

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

Tabatabaei, S.J., 2013. Principles of mineral nutrition of plants. Tabriz University Press. 544p. [In Persian].

Wang, J.M., Zhao, H., Huang, D., Wang, Z., 2012. Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in loess plateau, China. Field Crops Research. 135, 89-96.

Waraich, E.A., Ahmad, R., Halim, A., Aziz, T., 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: A review. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 12, 221-244.

Yassen, A., Abou El-Nour, E., Shedeed, S., 2010. Response of wheat to foliar Spray with urea and micronutrients. Journal of American Science. 6, 14-22.

Zain, M., Khan, I., Khan Qadri, R.W., Ashraf, U., Hussain, S., Minhas, S., Siddique, A., Muzammil Jahangir, M., Bashir, M., 2015. Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield and related attributes. American Journal of Plant Sciences. 6, 864-869.

Zeidan M.S., Nofal, O.A., 2002. Effect of urea on the efficiency of spraying iron, manganese, zinc and copper on wheat. Egyptian Journal of Agronomy. 24, 121-131.

Zhao, G.Q., Ma, B.L., Ren, C.Z., 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence and ion content of naked oat in response to salinity. Crop Science. 47, 123-131.

Ziaeian, A.H., Malakouti, M.J., 2001. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems. pp. 840-841.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 2, pp. 401-412
Summer 2020
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2202.1550

Original article

Effect of micronutrients foliar application on some physiological and agronomic traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under complete irrigation and terminal drought stress condition

S.A. Pourjamshid[1*], M. Ghaysari[2], A. Sharifi Nick[3], F. Salemi[4]

1. MSc Graduate of Agronomy, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran
2. MSc Graduate of Weeds, Islamic Azad Lorestan University, Ramhormoz, Iran
3. Graduate of Plant Productions Engineering (Horticulture), Shahid Bahonar University, Kerman, Iran
4. Graduate of Plant Productions Engineering (Agronomy), Islamic Azad Lorestan University, Ramhormoz, Iran

Received 10 January 2019; Accepted 24 February 2019

Abstract

To study the effect of micronutrients foliar application on some physiological and agronomic traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under complete irrigation and terminal drought stress condition, an experiment was conducted as split-plot with four replications in Ramhormoz city. The experimental factors were included drought stress in two levels of complete irrigation (non-drought stress) and irrigation interruption from the beginning of flowering stage to the physiological ripening (terminal drought stress) as the main factor, and micronutrients foliar application in six levels of non-foliar application (control), foliar application by water, iron, zinc, manganese and iron + zinc + manganese (each 3 lit.h-1) as the sub factor. Results showed that the terminal drought stress decreased significantly traits of leaf chlorophyll index, cell membrane stability index, grain yield, biological yield and harvest index except for leaf proline content and grain protein. However, micronutrients foliar application of iron, zinc and manganese increased significantly the measured traits in both non-stress and terminal drought stress condition. Meanwhile, application of zinc spray showed the greatest effect in reducing the damage caused by terminal drought stress on measured traits. In general, the use of micronutrients, especially zinc, as foliar application, can reduce the harmful effects caused by terminal drought stress and improve the physiological, agronomic traits and grain protein content of bread wheat in Ramhormoz region.

***Keywords*:** Environmental stresses, Iron, Manganese, Zinc.

[*]Correspondent author: Sayed Ahmad Pourjamshid; E-Mail: Pourjamshid58@gmail.com.