نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دهم، شماره چهارم، زمستان ۹۶
۱۸۷-۲۰۳
http://ejcp.gau.ac.ir

اثر محلول‌پاشی پتاسیم، روی و بور بر دمای سایه‌انداز گیاهی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد دو رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت تاریخ‌های کاشت مناسب و تأخیری

حسین کمائی[۱]، *حمیدرضا عیسوند[۲]، ماشاالله دانشور[۳] و فرهاد نظریان[۴]

[۱]دانشجوی دکتری زراعت، فیزیولوژی، دانشگاه لرستان، [۲]دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه لرستان،
[۳]استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه لرستان، [۴]استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/٤/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین منابع غذایی گیاهی برای انسان است. درجه حرارت بالا ناشی از تأخیر در کاشت یک عامل محیطی عمده محدودکننده رشد و تولید گندم به‌خصوص در مناطق گرمسیری می‌باشد. یکی از پارامترهایی که به‌منظور ارزیابی میزان اثر تنش گرما در ژنوتیپ‌های گندم مورد استفاده قرار می‌گیرد دمای سایه‌انداز گیاهی است. اکثر خاک‌های ایران pH بالا و طبیعتی آهکی دارند. در این نوع خاک‌ها حلالیت عناصر غذایی کم، جذب این عناصر توسط گیاه کاهش و نیاز گیاهان به این عناصر غذایی افزایش می‌یابد. این آزمایش به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی پتاسیم، روی و بور بر دمای سایه‌انداز گیاهی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد دو رقم گندم نان تحت تاریخ‌های کاشت مناسب و تأخیری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۰ تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ در شهرستان رامهرمز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱٦ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱٦۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. عامل‌های آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح مناسب (۳۰ آبان) و تأخیری (۱۵ دی) به‌عنوان عامل اصلی، محلول‌پاشی عناصر غذایی در پنج سطح با آب (شاهد)، پتاسیم، روی، بور و پتاسیم + روی + بور (هر کدام سه لیتر در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی و دو رقم گندم نان پیشتاز و چمران ۲ به‌عنوان عامل فرعی فرعی بودند. محلول‌ها برای محلول‌پاشی از طریق پتاسیم ۲۱ درصد، کلات- روی ۷/۵ درصد و بور ۵ درصد آماده گردید. صفات مورد اندازه‌گیری شامل محتوای کلروفیل برگ، محتوای نسبی آب برگ پرچم، پایداری غشای سلول، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و میزان پرولین برگ بودند.

یافته‌ها: با تأخیر در کاشت به‌دلیل تنش گرمای انتهایی کلیه صفات فوق غیر از میزان پرولین برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با این حال، تأخیر در کاشت موجب افزایش دمای سایه‌انداز گیاهی گردید. محلول‌پاشی پتاسیم، روی و بور به‌صورت مجزا و ترکیبی اثرات زیان‌بار ناشی از تأخیر در کاشت بر صفات محتوای کلروفیل برگ، محتوای نسبی

*مسئول مکاتبه: eisvand.hr@lu.ac.ir

آب برگ پرچم، شاخص پایداری غشای سلول، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، میزان پرولین برگ و عملکرد دانه را در هر دو رقم گندم کاهش داد. هم‌چنین، محلول‌پاشی این عناصر غذایی موجب کاهش دمای سایه انداز گیاهی ارقام گندم تحت هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری گردید. با وجود عدم اختلاف معنی‌دار در ارقام گندم پیشتاز و چمران ۲ در دمای سایه‌انداز گیاهی، شاخص پایداری غشای سلول، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، میزان پرولین برگ و عملکرد دانه، این ارقام به‌ترتیب به کاربرد مجزای روی و کاربرد تلفیقی پتاسیم + روی + بور در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری واکنش مناسب‌تری نشان دادند.

نتیجه‌گیری: رقم گندم چمران ۲ در شرایط عدم اعمال محلول‌پاشی عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور (شاهد) عملکرد بیشتری را نسبت به رقم پیشتاز تحت تاریخ‌های کاشت مناسب و تأخیری نشان داد، اما با اعمال محلول‌پاشی عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور واکنش ارقام گندم نان پیشتاز و چمران ۲ متفاوت بود. بین دمای سایه انداز گیاهی با صفات فیزیولوژیک مورد اندازه‌گیری و عملکرد دانه ارتباط معنی‌داری مشاهده شد، به‌گونه‌ای که افت دمای سایه‌انداز گیاهی موجب بهبود صفات فیزیولوژیک و متعاقب آن افزایش عملکرد ارقام گندم نان پیشتاز و چمران ۲ تحت تاریخ‌های کاشت مناسب و تأخیری گردید، که این بهبود با اعمال محلول‌پاشی روی برای رقم گندم چمران ۲ و محلول‌پاشی پتاسیم + روی + بور برای رقم پیشتاز مشهود بود.

واژه‌های کلیدی: تنش گرمای انتهایی، عناصر غذایی

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) یکی از منابع مهم غذایی در میان گیاهان زراعی عمده جهان به‌شمار می‌رود (۳۳). از نظر میزان تولید، گندم مهمترین گیاه زراعی در جهان بوده و تولید آن در سال زراعی ۱۵-۲۰۱٤ به حدود ۷۱۷ میلیون تن رسید (۳۰). در ایران سالانه حدود ۵/۷ میلیون هکتار به زیر کشت گندم می‌رود (۲/۲۳ میلیون هکتار آبی و ۳/٤۷ میلیون هکتار دیم) که حدود ۳۹٤ هزار هکتار از این سطح زیر کشت در استان خوزستان قرار دارد (۳)، که با تنش گرمای انتهای فصل در طی گل‌دهی و دوره پر شدن دانه مواجه می‌شود و باعث کاهش ۵ تا ٤۰ درصدی عملکرد در این مناطق می‌شود (۲٤). تنش گرما انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت به‌دلیل تجمع انواع اکسیژن فعال مانند رادیکال سوپراکسید و پراکسید هیدروژن به لیپیدهای غشاء خسارت زده و منجر به مرگ سلول‌های گیاه و کاهش عملکرد می‌شود (۳۵).

میزان رطوبت و وضعیت تعرق در گیاه نقش مهمی در تنظیم دمای گیاه در شرایط تنش گرما ایفا می‌کند (۳٤). از آنجایی‌که میزان دمای سایه‌انداز گیاهی به فرآیندهای فیزیولوژیکی متعددی وابسته است، این پارامتر به‌عنوان شاخصی مناسب جهت ارزیابی میزان تحمل و حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش گرما به‌شمار می‌رود (٤۲). ویژگی‌های مورفولوژیکی متفاوت نظیر رنگ گیاه، میزان مومی بودن، اندازه برگ، سنبله و ریشک ممکن است از طریق تأثیر بر میزان جذب تابش، هدایت گرمایی و جریان گرمای نهان و یا ترکیبی از این عوامل باعث تفاوت دمای سایه‌انداز گیاهی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم گردد (۱۰). پژوهش‌های مختلف نشان داد که دمای سایه‌انداز گیاهی در شرایط مزرعه با دمای محیط

اطراف آن چندین درجه تفاوت داشته و دلیل این تفاوت‌ها در افزایش تعرق بود (٣٤).

یکی از روش‌های معمول برای افزایش جذب عناصرغذایی در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک (از جمله خوزستان) و القای تحمل دمای بالا در گیاهان محلول‌پاشی عناصر غذایی می‌باشد (٥٢ و ٢١). محلول‌پاشی عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف سمیت انواع اکسیژن فعال را با افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند سوپراکسید دیسمیوتاز، کاتالاز و پراکسیداز در سلول‌های گیاهی کاهش می‌دهد (٤٥). این آنتی‌اکسیدان‌ها موجب جاروب کردن انواع اکسیژن فعال، کاهش فتواکسیداسیون، حفظ یکپارچگی غشای کلروپلاست و افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان زراعی می‌شوند. بنابراین تغذیه گیاهان با عناصرغذایی نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی ایفا می‌کند (٣١).

در میان عناصرغذایی معدنی، پتاسیم فراوانترین کاتیون در گیاهان است و نقش مهمی در تنظیم فعالیت سوپراکسید دیسمیوتاز (SOD)، کاهش آسیب انواع اکسیژن فعال ناشی از تنش به غشای پلاسمایی، حفظ یکپارچگی غشای سلولی و حفظ فعالیت آنزیم در سلول ایفا می‌کند (٤١). پتاسیم برای تولید عملکرد بالای محصول ضروری بوده و می‌تواند یک عامل محدود کننده برای محصولات تحت شرایط محیطی خاص مثلا خشکی، شوری و دمای بالا باشد (٣٢).

روی یک عنصر غذایی ضروری کم مصرف برای گیاهان است که نقش مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیکی سلول، محافظت غشاء در مقابل انواع اکسیژن فعال و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها دارد (٣١). دمای بالا باعث تغییرات مخربی در تعدادی از فرآیندهای فیزیولوژیکی ازجمله اختلال در غشاء می‌شود، درحالی‌که کمبود روی نیز یکپارچگی غشاء را کاهش می‌دهد (١٥).

بور، به‌عنوان یک عنصر غذایی کم مصرف، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در طول رشد گیاه مانند بیوسنتز دیواره سلولی، فعالیت غشاء و فرآیندهای غشایی، متابولیسم نیتروژن، فتوسنتز برگ‌ها، حفاظت سلولی و تورژسانس بافت‌ها دخیل می‌باشد (٥٥ و ٣٥). بور به‌دلیل نقش فیزیولوژیک خود می‌تواند سبب بهبود عملکرد مکانیسم دفاعی گیاه از جمله فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده و مانع از آسیب انواع اکسیژن فعال گردد که در تنش دمایی انتهای فصل میزان تولید آن افزایش می‌یابد (٣٥). محلول‌پاشی روی و بور و اثر متقابل آن‌ها بر روی گیاه گندم موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد محلول‌پاشی شد (٥). محققان بسیاری تأثر مثبت عناصر غذایی کم مصرف به‌خصوص عنصر غذایی روی را بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (١٩)، افزایش کارایی فتوسنتز (٤٦)، افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی (٢١)، افزایش نسبت فلئورسانس کلروفیل (Fv/Fm) در شرایط تنش (٢٢) و افزایش عملکرد گندم نان (١) گزارش دادند. با توجه به اهمیت تولید گندم در جهت تأمین منابع غذایی موردنیاز کشور و لزوم بهبود تولید آن در بعضی از مناطق از جمله استان خوزستان که با تنش گرمای انتهای فصل مواجه هستند و هم‌چنین توجه کمتر به نقش محلول‌پاشی عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور بر دمای سایه‌انداز گیاهی و رابطه آن با صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه گندم تحت تاریخ کاشت تأخیری، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور بر دمای سایه‌انداز گیاهی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد

دو رقم گندم نان تحت تاریخ‌های کاشت مناسب و تأخیری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایشی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان رامهرمز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱٦ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱٦۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. عامل‌های آزمایشی شامل تاریخ کاشت مناسب ۳۰ آبان و تأخیری ۱۵ دی به‌عنوان عامل اصلی، محلول‌پاشی در پنج سطح شامل آب به‌عنوان شاهد، پتاسیم، روی، بور و ترکیب پتاسیم+ روی + بور (هر کدام سه لیتر در هکتار) بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان در سه مرحله پنجه‌زنی (۷)، غلاف رفتن (٥٦) و گرده‌افشانی (۹) به‌عنوان عامل فرعی و دو رقم گندم نان پیشتاز و چمران ۲ به‌عنوان عامل فرعی فرعی بودند. برای محلول‌پاشی عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور به‌ترتیب از پتاسیم ۲۱ درصد، کلات- روی ۷/۵ درصد و بور ۵ درصد (محصولات شرکت زرافشان) استفاده گردید. خاک محل آزمایش دارای بافت رسی سیلتی با نفوذپذیری اندک بود. از مشخصات این خاک می‌توان به میزان پایین پتاسیم، عناصر ریزمغذی و ماده آلی و میزان بالای فسفر، اسیدیته و شوری اشاره کرد (جدول ۱). آمار ایستگاه هواشناسی شهرستان رامهرمز در جدول ۲ آورده شده است. میانگین متوسط دما در طی دوره پر شدن دانه ارقام گندم در تاریخ‌های مناسب و تأخیری کاشت به‌ترتیب ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. در این آزمایش هر کرت شامل هفت ردیف کاشت سه متری با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ٤۰۰ بوته در مترمربع بود. براساس نتایج آزمون خاک مقادیر ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره (در سه مرحله یک سوم قبل از کاشت همرا با کود سولفات پتاسیم و کود گوگرد، یک سوم در شروع طویل شدن ساقه و یک سوم آخر در آغاز گل‌دهی)، ۷۵ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم (مجزا از محلول‌پاشی و به‌صورت کود پایه) و ۳۰۰ کیلوگرم کود گوگرد در هکتار مصرف گردید. در این آزمایش به‌دلیل بالا بودن میزان فسفر از دادن کودهای فسفره به زمین زراعی اجتناب گردید. غلظت بحرانی عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور در خاک به‌ترتیب ۲۵۰، ۰/۸ و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است (٤٤). کشت به روش دستی و در عمق سه سانتی‌متری انجام گردید. آبیاری، کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز و آفات به‌گونه‌ای انجام شد که گیاه با تنش دیگری غیر از تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت مواجه نگردد. آبیاری با توجه به نیاز آبی گیاه و شرایط اقلیمی منطقه در هفت مرحله (خاک آب، سبز آب، پنجه آب، ساق آب، خوش آب، گل آب و دانه آب) و به‌صورت نشتی- غرقابی انجام گردید. دمای سایه‌انداز گیاهی ارقام گندم در مرحله پر شدن دانه و در ساعت‌های بین ۱۱ تا ۱۳ و سه تا چهار روز پس از آبیاری مزرعه و با استفاده از دستگاه دماسنج مادون قرمز (Thermometer, Model 8866) اندازه‌گیری شد (۱۰). در هنگام اندازه‌گیری دمای سایه‌انداز گیاهی، دماسنج با زاویه ۳۰ درجه نسبت به سطح افق در ارتفاع یک متر از سطح زمین و در حدود نیم متر از سطح گیاه قرار گرفت (۱۰). صفات اندازه‌گیری شده شامل محتوای کلروفیل برگ، محتوای نسبی آب برگ پرچم، شاخص پایداری غشای سلول و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیتم II (Fv/Fm) و میزان پرولین برگ بودند. برای تعیین محتوای کلرفیل برگ در شرایط مزرعه‌ای تعداد ۱۰ بوته کامل از هرکرت

آزمایشی در مرحله پر شدن دانه به‌طور تصادفی انتخاب و از هر بوته کامل ۵ برگ پرچم (مربوط به ساقه اصلی و پنجه‌ها) و از هر برگ پرچم ۳ نقطه با دستگاه کلروفیل سنج دیجیتال مدل SPAD-502 عدد را قرائت و عدد میانگین به‌عنوان محتوای کلروفیل برگ ثبت گردید. محتوای نسبی آب برگ پرچم از طریق روش بار و ویترلی (١٩٦٢) و با استفاده از رابطه (۱) تعیین گردید (۱۲).

رابطه (۱)

$$FLRWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

که در این رابطه FLRWC: محتوای نسبی آب برگ پرچم، FW: وزن تر نمونه، DW: وزن خشک نمونه و TW: وزن نمونه در حالت تورژسانس می‌باشد. شاخص پایداری غشای سلول (CMSI) از طریق روش لوتس و همکاران (١٩٩٦) و طبق رابطه (۲) اندازه گیری شد (۲۹).

رابطه (۲)

$$CMSI=(1-(EC_1/ EC_2)\times100$$

در این رابطه، EC_1: هدایت الکتریکی اولیه (نشت اولیه)، EC_2: هدایت الکتریکی ثانویه (نشت ثانویه) می‌باشد. برای اندازه‌گیری ماکزیمم عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) از دستگاه فلئورسانس‌متر مدل (PEA, Walz, Germany) و طبق رابطه ۳ استفاده شد. اندازه‌گیری تنها یک‌بار در مرحله پر شدن دانه و بلافاصله پس از اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ از برگ‌های موردنظر در ساعات اولیه صبح و بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص انجام شد (٤٥).

رابطه (۳)

$$Fv/Fm= (Fm-F0)/Fm$$

در این رابطه، Fm: فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی، F0: فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی و Fv: فلورسانس متغیر (Fm-F0) می‌باشد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان پرولین برگ از روش بیتز و همکاران (١٩٧٣) استفاده شد (۱۳). جهت تعیین عملکرد دانه، کل سنبله‌های برداشت شده از سطح یک مترمربع در هر کرت پس از حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای خطوط کشت مورد نظر با دست خرمن‌کوبی شد و سپس دانه‌های به‌دست آمده توزین و عملکرد در مترمربع محاسبه و در نهایت به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Soil physical and chemical properties of experimental location.

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) E.C ($ds\ m^{-1}$)	اسیدیته	مواد آلی (درصد) O.C (%)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) K ($mg\ kg^{-1}$)	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	مس (میلی گرم بر کیلوگرم) Cu ($mg\ kg^{-1}$)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg\ kg^{-1}$)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg\ kg^{-1}$)	بور (میلی گرم بر کیلوگرم) B (mg kg)
رسی سیلتی Silty clay	5.8	7.64	0.92	18.6	140	47	42	11	0.90	2.80	0.63	0.71

جدول ۲- آمار ایستگاه هواشناسی در طی دوره آزمایش در شهرستان رامهرمز (۹۵-۱۳۹٤).

Table 2. Weather station statistics during the experimental period in the Ramhormoz city (2015-16).

ماه Month	میانگین دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) Mean of air temperature (℃)			رطوبت نسبی (درصد) RH (%)	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)
	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	متوسط Average		
آبان November	31.5	17.2	24.3	42	20.7
آذر December	25.3	11.1	18.2	59	86.4
دی January	18.1	8.8	13.4	67	67.7
بهمن February	19.3	9.1	14.2	62	49.7
اسفند March	24.7	12.2	19.8	52	40.4
فروردین Aprill	32.5	16.7	24.6	43	29.4
اردیبهشت May	38.1	23.2	30.6	43	29.6

نتایج و بحث

دمای سایه‌انداز گیاهی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غیر از اثر اصلی رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی عناصر غذایی و رقم گندم بر دمای سایه‌انداز گندم نان معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین دمای سایه‌انداز گندم در تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی‌ماه)، محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم گندم پیشتاز با میانگین ۲۳/۹۸ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین آن در تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان‌ماه)، محلول‌پاشی روی و رقم گندم پیشتاز با میانگین ۱۷/۹۱ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (جدول ٤). تفاوت دمای سایه‌انداز گیاهی و محیط با میزان تبخیر و تعرق و اثرات خنک‌کنندگی این فرآیندها و همچنین هدایت گرمایی سایه‌انداز گیاهی مرتبط بود (٦). کاهش تبادلات بخار آب از طریق بسته‌تر شدن منافذ روزنه‌ها در شرایط تنش گرما باعث افزایش دمای برگ و کاهش تفاوت دمای سایه‌انداز گیاهی و محیط اطراف آن شد (۳٤). افزایش شاخص سطح برگ در سایه‌انداز گیاهی موجب بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق در سطح گیاه و در نتیجه کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی شد (۱۰). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هر عاملی که موجب افزایش شاخص سطح برگ و متعاقب آن میزان تبخیر و تعرق شود می‌تواند دمای سایه‌انداز گیاهی را کاهش دهد. کاربرد عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور موجب افزایش شاخص سطح برگ در گیاه گندم شد (۵۵، ۲٦ و ۳۵)، که می‌تواند دلیلی بر تأثیر مثبت این عناصر بر بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق و کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی نسبت به محیط باشد.

محتوای کلروفیل برگ: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی عناصر غذایی و رقم گندم بر محتوای کلروفیل برگ گندم نان معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین میزان محتوای کلروفیل برگ در تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان‌ماه)، محلول‌پاشی روی و رقم گندم پیشتاز با میانگین ۵۸/۸٦ و کم‌ترین آن در تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی‌ماه)، محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم گندم پیشتاز با میانگین ٤۸/۳۳ به‌دست آمد (جدول ٤). این نتایج با یافته‌های دیانی و همکاران (۲۰۱۳) مبنی‌بر کاهش محتوای کلروفیل برگ در ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت تنش گرما مطابقت داشت (۲۰). گراهام و

مک‌دونالد (۲۰۰۱) گزارش دادند که اثر متقابل کاربرد روی و تنش گرما بر محتوای کلروفیل برگ معنی‌دار نبود اگرچه با افزایش غلظت روی محتوای کلروفیل برگ افزایش نشان داد (۲۲). این یافته آن‌ها با نتایج به‌دست آمده در این آزمایش هم‌خوانی نداشت. هم‌چنین زارع و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند که تغذیه مناسب گیاه گندم (رقم داراب ۲) با پتاسیم، محتوای کلروفیل برگ را افزایش داد (۵۵). این یافته آن‌ها با نتیجه حاصل از کاربرد پتاسیم بر ارقام گندم پیشتاز و چمران ۲ هم‌خوانی داشت. بابائیان و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که محلول‌پاشی عناصر غذایی کم مصرف به‌صورت مجزا و ترکیبی باعث افزایش عدد کلروفیل متر در شرایط تنش خشکی می‌گردد (۱۱). در این آزمایش کاربرد مجزا و تلفیقی عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ ارقام گندم پیشتاز و چمران ۲ در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری گردید، که با نتایج به‌دست آمده توسط بابائیان و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت (۱۱). رینولدز و همکاران (۱۹۹٤) گزارش دادند که افزایش دما از طریق اضمحلال کلروفیل و بسته شدن روزنه‌ها باعث کاهش میزان فتوسنتز برگ شد (٤۲). علاوه‌بر این، وحید و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که تولید انواع اکسیژن فعال در شرایط تنش گرما باعث کاهش محتوای کلروفیل برگ شد (٤۷). بنابراین می‌توان علت افزایش محتوای کلروفیل برگ در نتیجه کاربرد عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور را به نقش این عناصر در کاهش سمیت انواع اکسیژن فعال با افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها و متعاقب ان افزایش سرعت فتوسنتز در گیاه گندم نسبت داد (٤۹).

جدول ۳- تجزیه واریانس دمای سایه‌انداز گیاهی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد دو رقم گندم نان تحت تأثیر تیمارهای مختلف.

Table 3. Analysis of variance canopy temperature, physiological traits and yield two cultivars of bread wheat affected by of different treatments.

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degree of freedom	دمای سایه‌انداز گیاهی Canopy temperature	محتوای کلروفیل برگ Leaf chlorophyll content	محتوای نسبی آب برگ پرچم Flag leaf relative water content	شاخص پایداری غشای سلول Cell membrane stability index	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم Fv/Fm II	میزان پرولین برگ Leaf proline content	عملکرد دانه Grain yield
block	2	0.0006	48.04**	2.85	0.326	0.0002	0.031	850.23
فاکتور A (تاریخ کاشت) (Planting date)	1	296.85**	179.22**	1065.97**	1315.08**	0.0047**	311.58**	37681996.06**
اشتباه A (Block × a)	2	0.040	0.363	1.42	0.10	0.00004	0.403	46377.16
فاکتور B (محلول‌پاشی) (Foliar application)	4	0.952**	16.50**	54.89**	61.99**	0.0002*	14.89**	1132908.98**
A × B	4	0.090**	0.541**	2.32^{ns}	0.578^{ns}	0.00004^{ns}	0.152^{ns}	107670.32**
اشتباه B (Block×b (a))	16	0.005	0.053	0.569	1.124	0.00007	0.129	6674.55
فاکتور C (رقم) (Cultivar)	1	0.040^{ns}	3.40**	10.83**	0.181^{ns}	0.0001^{ns}	0.382^{ns}	49589.73^{ns}
A × C	1	0.009^{ns}	0.088^{ns}	1.70^{ns}	0.140^{ns}	0.000004^{ns}	0.082^{ns}	1464.71^{ns}
B × C	4	3.23**	38.89**	197.18**	258.65**	0.0032**	19.30**	3863029.39**
A × B × C	4	0.225**	0.295*	7.71**	0.703^{ns}	0.00003^{ns}	0.111^{ns}	268624.08**
اشتباه C (Error c)	20	0.019	1.60	1.29	0.631	0.00009	0.267	22383.70
کل (Total)	59							
CV %		0.651	0.519	1.89	0.326	1.20	2.91	3.16

ns، * و ** به‌ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

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

جدول ٤- مقایسه میانگین برای دمای سایه‌انداز گیاهی، محتوای کلروفیل برگ، محتوای نسبی آب برگ پرچم و عملکرد دانه دو رقم گندم نان تحت تأثیر تیمارهای مختلف.

Table 4. Mean comparison for canopy temperature, leaf chlorophyll content, flag leaf relative water content and grain yield of two bread wheat cultivars affected by of different treatments.

تاریخ کاشت Planting date	محلول‌پاشی Foliar application	رقم Cultivar	دمای سایه‌انداز گیاهی (درجه سانتی‌گراد) Canopy temperature (°C)	محتوای کلروفیل برگ Leaf chlorophyll content	محتوای نسبی آب برگ پرچم (درصد) Flag leaf relative water content (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg h^{-1})
مناسب (Optimum)						
	آب (شاهد) Water (control)	پیشتاز (Pishtaz)	19.94^{h}	51.63^{i}	54.03^{ij}	4436.11^{fg}
		چمران ۲ (Chamran 2)	18.94^{k}	54.76^{defgh}	57.66^{h}	4800.53^{e}
	پتاسیم Potassium	پیشتاز (Pishtaz)	18.54^{l}	57.93^{ab}	68.23^{bc}	5965.61^{b}
		چمران ۲ (Chamran 2)	19.61^{i}	54.80^{defgh}	58.86^{g}	4802.16^{e}
	روی Zinc	پیشتاز (Pishtaz)	17.78^{m}	58.86^{a}	70.43^{a}	6795.66^{a}
		چمران ۲ (Chamran 2)	19.32^{j}	55.20^{cdef}	62.83^{e}	5115.22^{d}
	بور Boron	پیشتاز (Pishtaz)	19.26^{j}	55.80^{bcde}	63.46^{e}	5171.14^{d}
		چمران ۲ (Chamran 2)	18.82^{k}	57.56^{abc}	66.60^{cd}	5685.57^{c}
	پتاسیم+روی+بور K+Zn+B	پیشتاز (Pishtaz)	19.38^{j}	55.90^{bcde}	62.06^{ef}	5049.86^{d}
		چمران ۲ (Chamran 2)	17.91^{m}	58.56^{a}	69.46^{ab}	6651.83^{a}
تأخیری (Late)	آب (شاهد) Water (control)	پیشتاز (Pishtaz)	23.98^{a}	48.33^{j}	49.96^{k}	3295.50^{k}
		چمران ۲ (Chamran 2)	23.76^{b}	51.53^{i}	50.63^{k}	3536.72^{j}
	پتاسیم Potassium	پیشتاز (Pishtaz)	22.99^{f}	54.90^{defg}	58.90^{g}	4381.38^{g}
		چمران ۲ (Chamran 2)	23.60^{bcd}	52.30^{hi}	50.83^{k}	3562.93^{j}
	روی Zinc	پیشتاز (Pishtaz)	22.77^{g}	54.83^{defgh}	60.50^{fg}	4617.86^{ef}
		چمران ۲ (Chamran 2)	23.44^{de}	51.68^{i}	55.50^{hi}	3774.27^{hi}
	بور Boron	پیشتاز (Pishtaz)	23.54^{cde}	52.36^{ghi}	55.56^{hi}	3709.81^{ij}
		چمران ۲ (Chamran 2)	23.35^{e}	53.56^{efghi}	57.13^{h}	3980.10^{h}
	پتاسیم+روی+بور K+Zn+B	پیشتاز (Pishtaz)	23.73^{bc}	52.80^{fghi}	52.83^{j}	3538.44^{j}
		چمران ۲ (Chamran 2)	22.81^{fg}	54.50^{defgh}	60.23^{g}	4572.63^{fg}
LSD 5%			0.193	2.59	1.72	10.19

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 SAS.

جدول ٥- مقایسه میانگین برای شاخص پایداری غشای سلول، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و میزان پرولین برگ گندم نان تحت تأثیر تاریخ کاشت.

Table 5. Mean comparison for cell membrane stability index, maximum quantum efficiency of PSII and leaf proline content of bread wheat affected by planting date.

تاریخ کاشت Planting date	شاخص پایداری غشای سلول (درصد) Cell membrane stability index (%)	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II Fv/Fm	میزان پرولین برگ (میلی‌مول بر گرم وزن تازه برگ) Leaf proline content (mg g^{-1} fw)
کاشت مناسب (٣٠ آبان) Optimum planting (November 21)	74.43[a]	0.815[a]	10.93[b]
کاشت تأخیری (١٥ دی) Late planting (January 5)	65.05[b]	0.797[b]	15.49[a]
LSD 5%	0.352	0.017	0.705

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ٥ درصد به روش LSD ندارند.

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

جدول ٦- مقایسه میانگین برای شاخص پایداری غشای سلول، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و میزان پرولین برگ گندم نان تحت تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم، روی و بور.

Table 6. Mean comparison for cell membrane stability index, maximum quantum efficiency of PSII and leaf proline content of bread wheat affected by potassium, zinc and boron foliar application.

محلول‌پاشی Foliar application	شاخص پایداری غشای سلول (درصد) Cell membrane stability index (%)	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II Fv/Fm	میزان پرولین برگ (میلی‌مول بر گرم وزن تازه برگ) Leaf proline content (mmol g^{-1} fw)
محلول‌پاشی آب Water foliar application	66.41[d]	0.798[c]	11.36[d]
محلول‌پاشی پتاسیم Potassium foliar application	68.53[c]	0.808[ab]	13.21[c]
محلول‌پاشی روی Zinc foliar application	72.05[a]	0.808[ab]	14.24[a]
محلول‌پاشی بور Boron foliar application	70.74[b]	0.803[bc]	13.32[c]
محلول‌پاشی پتاسیم + روی + بور K + Zn + B foliar application	71.05[b]	0.811[a]	13.91[b]
LSD 5%	0.917	0.025	0.312

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ٥ درصد به روش LSD ندارند.

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

محتوای نسبی آب برگ پرچم: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غیر از اثرات متقابل تاریخ کاشت × محلول‌پاشی عناصر غذایی و تاریخ کاشت × رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی عناصر غذایی و رقم گندم بر محتوای نسبی آب برگ پرچم گندم نان معنی‌دار بودند (جدول ٣). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ پرچم در تاریخ کاشت مناسب (٣٠ آبان‌ماه)، محلول‌پاشی روی و رقم گندم پیشتاز با میانگین ٧٠/٤٣ درصد و کم‌ترین آن در تاریخ کاشت تأخیری (١٥ دی‌ماه)، محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم گندم پیشتاز با میانگین ٤٩/٩٦ درصد به‌دست آمد (جدول ٤). عسگرنژاد و همکاران

(۲۰۱۵) گزارش دادند که با تأخیر در کاشت به‌دلیل تنش گرمای انتهایی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (۸). این یافته آن‌ها با نتایج این آزمایش هم‌خوانی داشت. محتوای نسبی آب برگ پرچم با محلول‌پاشی پتاسیم افزایش یافت، که علت را می‌توان به نقش پتاسیم در بهبود محتویات آب برگ و روابط آبی گیاه (پتانسیل آب، پتانسیل اسمزی و پتانسیل تورگر) نسبت داد (٤٥ و ٤١). محلول‌پاشی روی موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط تنش خشکی گردید (۵۲). علت را می‌توان به نقش روی در حفظ تعادل یونی و کاهش آثار سمیت یونی در درون سلول گیاهی نسبت داد که منجر به حفظ ساختار غشایی سلول، کاهش نشت یونی و در نتیجه افزایش محتوای نسبی آب برگ گردید (۲۵). در این آزمایش کاربرد مجزا و تلفیقی عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم ارقام گندم پیشتاز و چمران ۲ در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری گردید. احمدی لاهیجانی و امام (۲۰۱۳) گزارش دادند که بین محتوای نسبی آب برگ و دمای سایه‌انداز گیاهی ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود دارد، به‌گونه‌ای که هر چه افت دمای سایه‌انداز گیاهی نسبت به محیط بیشتر باشد گیاه کمتر تحت تأثیر تنش قرار گرفته و بنابراین شرایط رطوبتی بهتری برای گیاه فراهم می‌شود و متعاقب آن محتوای نسبی آب برگ آن نیز افزایش می‌یابد (۲). بنابراین می‌توان یکی از دلایل افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم تحت تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم، روی و بور تحت هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری را به افت دمای سایه‌انداز گیاهی در نتیجه کاربرد این عناصر نسبت داد.

شاخص پایداری غشای سلول: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تاریخ کاشت، محلول‌پاشی عناصر غذایی و اثر متقابل محلول‌پاشی عناصر غذایی × رقم گندم بر شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم نان معنی‌دار بود، اما در سایر اثرات اصلی و متقابل اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم نان نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان‌ماه) با میانگین ٧٤/٤٣ درصد و کم‌ترین آن در تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی‌ماه) با میانگین ٦٥/٠٧ درصد به‌دست آمد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم نان نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در محلول‌پاشی روی با میانگین ۷۲/۰۵ درصد و کم‌ترین آن در محلول‌پاشی آب با میانگین ٦٦/٤١ درصد به‌دست آمد (جدول ٦). مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی عناصر غذایی و رقم گندم نان بر شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم نان نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در محلول‌پاشی روی و رقم گندم پیشتاز با میانگین ۸۰/۸۳ درصد و کم‌ترین آن در محلول‌پاشی آب و رقم گندم پیشتاز با میانگین ٦٥/٨٣ درصد به‌دست آمد (جدول ۷). لی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند که تحت شرایط درجه حرارت بالا، تولید و انباشتگی انواع اکسیژن فعال به اکسایش و تخریب پروتئین‌ها و لیپیدهای غشاء و در نهایت به افزایش نشت الکترولیت‌ها (کاهش شاخص پایداری غشای سلول) منجر شد (۲۷). رضا و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده کردند که کاربرد پتاسیم نقش مهمی در تنظیم فعالیت سوپراکسید دیسمیوتاز داشت که از آنزیم‌های مؤثر در کاهش آسیب انواع اکسیژن فعال ناشی از تنش به غشای پلاسمایی است (٤١). عنصر روی نقش بسیار مهمی در اعمال متابولیکی سلول، محافظت غشاء در مقابل انواع اکسیژن فعال و سایر

فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نشان داد (۳۱). بور می‌تواند فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های گیاهی را افزایش دهد و در نتیجه آسیب انواع اکسیژن فعال ناشی از تنش دما بر شاخص پایداری غشای سلول را کاهش دهد (٤٩). نتایج به‌دست آمده توسط محققین فوق با نتایج این آزمایش مبنی‌بر کاهش شاخص پایداری غشای سلول در نتیجه افزایش دما و بهبود این صفت با کاربرد عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور مطابقت داشت. با توجه با این‌که یکی از راه‌های مقابله با انواع اکسیژن فعال ناشی از تنش‌های محیطی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌باشد (٤٠)، لذا می‌توان علت بهبود شاخص پایداری غشای سلول تحت تاریخ کاشت تأخیری را نقش عناصر پتاسیم، روی و بور در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دانست.

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm): تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تاریخ کاشت، محلول‌پاشی عناصر غذایی و اثر متقابل محلول‌پاشی عناصر غذایی × رقم گندم بر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) گندم نان معنی‌دار بود، اما در سایر اثرات اصلی و متقابل اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) گندم نان نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان‌ماه) با میانگین ۰/۸۱۵ و کم‌ترین آن در تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی‌ماه) با میانگین ۰/۷۹۷ به‌دست آمد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) گندم نان نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در محلول‌پاشی پتاسیم + روی + بور با میانگین ۰/۸۱۱ و کم‌ترین آن در محلول‌پاشی آب با میانگین ۰/۷۹۸ به‌دست آمد (جدول ٦). مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی عناصر غذایی و رقم گندم نان بر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در محلول‌پاشی پتاسیم + رور + بور و رقم گندم چمران ۲ با میانگین ۰/۸۳۹ و کم‌ترین آن در محلول‌پاشی آب و رقم گندم پیشتاز با میانگین ۰/۸۰۰ به‌دست آمد (جدول ۷). لو و ژانگ (۲۰۰۰) با اعمال تنش گرمای ملایم (۳۷-۳۰ درجه سانتی‌گراد) تغییری در حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) مشاهده نکردند اما با اعمال تنش گرمای شدید (بالاتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد) کاهش معنی‌داری در حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) مشاهده کردند (۲۸). رضا و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که پتاسیم در بهبود حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) تحت شرایط تنش نقش دارد (٤١). بابائیان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که در گیاهان محلول‌پاشی عناصر غذایی کم مصرف به‌صورت مجزا و ترکیبی باعث کاهش نسبت فلئورسانس کلروفیل (Fv/Fm) در شرایط تنش خشکی گردید (۱۱). هم‌چنین نتایج آزمایشات مزرعه‌ای و گلدانی گراهام و مک‌دونالد (۲۰۰۱) نشان داد که کاهش در حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) ناشی از درجه حرارت بالا، از طریق افزایش کاربرد روی به‌خصوص در ژنوتیپ‌های گندمی که با کمبود روی مواجه هستند کاهش یافت (۲۲). نتایج این آزمایش با یافته‌های بابائیان و همکاران (۲۰۱۱) هم‌خوانی نداشت اما با نتایج به‌دست آمده توسط گراهام و مک‌دونالد (۲۰۰۱) و رضا و همکاران (۲۰۱۳) هم‌خوانی داشت (۱۱، ۲۲ و ٤١). لو و ژانگ (۲۰۰۰) علت کاهش حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) تحت شرایط تنش

گرما را به کاهش فعالیت کمپلکس آزاد کننده اکسیژن (OEC) و جلوگیری از انتقال اکترون به محل پذیرنده PSII نسبت دادند که منجر به بازدارندگی نوری می‌شود (۲۸). از آنجا که کمپلکس آزاد کننده اکسیژن (OEC) و فتوسیستم I و II در درون غشاء تیلاکوئید قرار دارند، بنابراین می‌توان علت افزایش حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) تحت تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم، روی و بور را با نقش این عناصر در تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و پایداری غشاء تیلاکوئید مرتبط دانست (۴۱ و ۳۱ و ۴۹)، که موجب کاهش آسیب ناشی از انواع اکسیژن فعال به زنجیره انتقال الکترون و کمپلکس‌های پروتئینی ازجمله کمپلکس آزاد کننده اکسیژن (OEC) و مرکز واکنش فتوسیستم I و II می‌شود.

جدول ۷- مقایسه میانگین برای شاخص پایداری غشای سلول، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و میزان پرولین برگ دو رقم گندم نان تحت تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم، روی و بور.

Table 7. Mean comparison for cell membrane stability index, maximum quantum efficiency of PSII and leaf proline content of two bread wheat cultivars affected by potassium, zinc and boron foliar application.

محلول‌پاشی Foliar application	رقم Cultivar	شاخص پایداری غشای سلول (درصد) Cell membrane stability index (%)	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II Fv/Fm	میزان پرولین برگ (میلی‌مول بر گرم وزن تازه برگ) Leaf proline content (mmol g^{-1} fw)
آب (شاهد) Water (control)	پیشتاز (Pishtaz)	65.83^{g}	0.800^{b}	8.94^{g}
	چمران ۲ (Chamran 2)	76.16^{c}	0.821^{ab}	9.29^{f}
پتاسیم Potassium	پیشتاز (Pishtaz)	78.26^{b}	0.822^{ab}	12.02^{b}
	چمران ۲ (Chamran 2)	67.9^{f}	0.812^{b}	9.67^{e}
روی Zinc	پیشتاز (Pishtaz)	80.83^{a}	0.823^{ab}	13.69^{a}
	چمران ۲ (Chamran 2)	72.56^{e}	0.804^{b}	10.30^{d}
بور Boron	پیشتاز (Pishtaz)	74.16^{d}	0.809^{b}	10.42^{d}
	چمران ۲ (Chamran 2)	76.4^{c}	0.812^{b}	11.40^{c}
پتاسیم+روی+بور K+Zn+B	پیشتاز (Pishtaz)	72.56^{e}	0.817^{ab}	10.17^{d}
	چمران ۲ (Chamran 2)	79.66^{a}	0.839^{a}	13.40^{a}
LSD 5%		1.34	0.027	0.343

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 SAS.

میزان پرولین برگ: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تاریخ کاشت، محلول‌پاشی عناصر غذایی و اثر متقابل محلول‌پاشی عناصر غذایی × رقم گندم بر میزان پرولین برگ پرچم گندم نان معنی‌دار بود، اما در سایر اثرات اصلی و متقابل اختلاف

معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر میزان پرولین برگ پرچم گندم نان نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی‌ماه) با میانگین ۱۵/٤۹ میلی‌مول بر گرم وزن تازه برگ و کم‌ترین آن در تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان‌ماه) با میانگین ۱۰/۹۳ میلی‌مول بر گرم وزن تازه برگ به‌دست آمد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر میزان پرولین برگ پرچم گندم نان نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در محلول‌پاشی روی با میانگین ١٤/٢٤ میلی‌مول بر گرم وزن تازه برگ و کم‌ترین آن در محلول‌پاشی آب با میانگین ١١/٣٦ میلی‌مول بر گرم وزن تازه برگ به‌دست آمد (جدول ٦). مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی عناصر غذایی و رقم گندم نان بر میزان پرولین برگ پرچم گندم نان نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در محلول‌پاشی روی و رقم گندم پیشتاز با میانگین ۱۳/۹٦ میلی‌مول بر گرم وزن تازه برگ و کم‌ترین آن در محلول‌پاشی آب و رقم گندم پیشتاز با میانگین ۸/۹٤ میلی‌مول بر گرم وزن تازه برگ به‌دست آمد (جدول ۷). این نتایج با یافته‌های دیانی و همکاران (۲۰۱۳) مبنی‌بر افزایش میزان پرولین در برگ گندم با تأخیر در کاشت و قرار گرفتن در معرض تنش گرمای انتهایی مطابقت داشت (۲۰). سانادا و همکاران (۱۹۹۵) علت افزایش میزان پرولین در برگ گندم و جو را بیوسنتز یا کاهش اکسیداسیون پرولین به گلوتامات و یا تبدیل پروتئین به پرولین به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین تحت شرایط تنش ذکر کردند (٤۳). بنابراین در شرایط تنش میزان پرولین بیشتری در گیاه تجمع می‌یابد. کاربرد پتاسیم موجب افزایش میزان پرولین برگ در گیاه گندم تحت شرایط تنش آبی گردید (۲۳). کرملا چعب و قرینه (۱۳۹۲) کاهش میزان پرولین در نتیجه کاربرد عنصر غذایی روی را در هر دو شرایط تنش و عدم تنش گزارش دادند (۲۵). هم‌چنین معینیان و همکاران (۲۰۱۱) در آزمایش خود نشان دادند که میزان پرولین در نتیجه محلول‌پاشی بور در شرایط تنش خشکی افزایش یافت (۳۵). نتایج این آزمایش با نتایج به‌دست آمده توسط کرملا چعب و قرینه (۱۳۹۲) هم‌خوانی نداشت اما با نتایج معینیان و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت. دلیل افزایش تجمع پرولین در نتیجه کاربرد عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور را می‌توان به نقش مهم کاربرد عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور در فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین و تبدیل آن‌ها به اسید آمینه پرولین نسبت داد (۳۱ و ۲۵ و ۳۵).

عملکرد دانه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غیر از اثر اصلی رقم گندم و اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی عناصر غذایی و رقم گندم بر عملکرد دانه گندم نان معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان‌ماه)، محلول‌پاشی روی و رقم گندم پیشتاز با میانگین ٦٧٩٥/٦٦ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن در تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی‌ماه)، محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم گندم پیشتاز با میانگین ۳۲۹۵/۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ٤). نتایج این آزمایش با نتایج به‌دست آمده توسط محمدی (۲۰۱۲) و دیانی و همکاران (۲۰۱۳) مبنی بر کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گندم در نتیجه برخورد مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه با تنش گرمای انتهایی مطابقت داشت (۳٦ و ۲۰). محلول‌پاشی پتاسیم در مراحل پنجه‌زنی، آغاز گلدهی و پر شدن دانه موجب افزایش عملکر دانه گندم نسبت به عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش خشکی

گردید (۷). محلول‌پاشی با عناصر غذایی کم مصرف موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم گردید (٥٤). محلول‌پاشی روی و بور و اثر متقابل آن‌ها موجب افزایش عملکرد دانه گندم نسبت به عدم کاربرد محلول‌پاشی گردید (٥). در این آزمایش کاربرد مجزا و تلفیقی عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور موجب افزایش عملکرد دانه ارقام گندم پیشتاز و چمران ۲ در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری گردید. تشکیل انواع اکسیژن فعال به‌دلیل تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت با تولید اتیلن، پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه سیالیت غشاء مرتبط بود (٤٨). مشاهده شده است که افزایش اتیلن در گیاه گندم، باعث کوتاه شدن دوره پرشدن دانه، کاهش وزن هزار دانه، تسریع بلوغ، پیری زودرس و در نتیجه کاهش عملکرد دانه شد (۱۸). بنابراین می‌توان علت افزایش عملکرد در نتیجه کاربرد پتاسیم، روی و بور را با نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسمیوتاز، کاتالاز، پراکسیداز و سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (٤٩) و در نتیجه کاهش تجمع انواع اکسیژن فعال و تولید اتیلن مرتبط دانست.

نتیجه‌گیری کلی

ارتباط معنی‌داری بین دمای سایه‌انداز گیاهی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه ارقام گندم نان پیشتاز و چمران ۲ مشاهده شد، به‌طوری‌که تاریخ کاشت تأخیری با افزایش دمای سایه‌انداز گیاهی موجب کاهش صفات فیزیولوژیک و متعاقب آن عملکرد ارقام گندم پیشتاز و چمران ۲ گردید، که این اثرات زیان‌بار با کاربرد محلول‌پاشی عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور کاهش نشان داد. رقم چمران ۲ در شرایط عدم کاربرد عناصر غذایی عملکرد بیشتری را نسبت به رقم پیشتاز ۲ نشان داد. در شرایط کاربرد عناصر غذایی پتاسیم، روی و بور واکنش ارقام گندم نان پیشتاز و چمران ۲ متفاوت بود، به‌طوری‌که این ارقام به‌ترتیب واکنش مناسب‌تری نسبت به کاربرد مجزای روی و کاربرد تلفیقی پتاسیم + روی + بور در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری تحت شرایط اقلیمی شهرستان رامهرمز نشان دادند.

منابع

1. 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 (cv. Kohdasht). Azarian. J. Agri., 1: 1. 11-17. (In Persian)
2. Ahmadi Lahijani, M.J., and Emam, Y. 2013. Response of wheat genotypes to terminal drought stress using physiological indices. J. Crop Product. Process (JCPP)., 3: 9. 163-176. (In Persian)
3. Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H.R., Fazeli, M., Hosseinpour, R., Kazemian, A., and Rafiei, M. 2016. Agricultural Statistics in Farming Year 2014-15., Pp: 1-174. (In Persian)
4. Al-hakimi, A., Monneveaux, P., and Nachit, M.M. 1998. Direct and indirect selection for drought tolerance in alien tetraploid wheat × durum wheat crosses. Euphytica., 100: 287-294.
5. Ali, S., Shah, A., Arif, M., Miraj, G., Ali, I., Sajjad, M., Farhatollah, M., Khan, Y., and Khan, M. 2009. Enhancement of wheat grain yield components through foliar application of zinc and boron. Sarhad. J. Agri., 25: 1. 15-19.
6. Amani, I., Fischer, R.A., and Reynolds, M.P. 1996. Canopy temperature depression association with yield of irrigated spring wheat cultivars in a hot climate. J. Agron. Crop Sci., 176: 119–129.

7. Aown, M., Raza, S., Saleem, M.F., Anjum, S.A., Khaliq, T., and Wahid, M.A. 2012. Foliar application of potassium under water deficit conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Animal. Plant Sci., 22: 2. 431-437.
8. Asgarnejad, M.R., Zarei, Gh., and Zarezadeh, A. 2015. Effects of planting date and plant density on yield and yield components of *Brassica nigra* under Abarkooh climatic conditions. J. Crop Product., 8: 183-198.
9. Asthir, B., Thapar, R., Farooq, M., and Singh Bains, N. 2012. Exogenous application of thiourea improves the performance of late sown wheat by inducing terminal heat resistance. Int, J. Agri and Biol., 15: 1337-1342.
10. Ayeneh, A., Van Ginkel, M., Reynolds, M.P., and Ammar, K. 2002. Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. Field Crops Res., 79: 2-3. 173-184.
11. Babaeian, M., Heidari, M., and Ghandari, M. 2011. Effect of drought stress and foliar micronutrients on physiological characteristics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annus* L.). Iranian, J. Filed Crop Sci., 2: 4. 377-391. (In Persian)
12. Barr, H.D., and Weatherley, P.E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. Aust. J. Biol. Sci., 15: 1. 413–428.
13. Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teare, E.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. J. Plant Soil., 39: 205-207.
14. Beltrano, J., Ronco, M.G., and Montaldi, E.R. 1999. Drought stress syndrome in wheat is provoked by ethylene evolution imbalance and reversed by rewatering, Aminoethoxyvinylglycine, or sodium benzoate. J. Plant Growth Regul., 18: 59–64.
15. Berry, J., and Björkman, O. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol., 31: 491-543.
16. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Boca Raton, FL., Pp: 72.
17. Blum, A., Shipiler, L., Golan, G., and Mayer, J. 1989. Yield stability and canopy temperature of wheat genotypes under drought stress. Field Crops Res., 22: 289–296.
18. Caba˜nero, F.J., Martínez, V., and Carvajal, M. 2004. Does calcium determine water uptake under saline conditions in pepper plants, or is it water flux which determines calcium uptake. Plant Sci., 166: 443–450.
19. Cakmak, I., Wolfgang, H.P., and Bonnie, M.C. 1996. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. Cereal Chemistry., 87: 1. 10-20.
20. Dhyani, K., Ansari, M.V., Roa, Y., Verma, R.S., Shukla, A., and Tuteja, N. 2013. Comparative physiological response of wheat genotypes under terminal heat stress. Plant Signaling and Behavior., 8(6) e24564: 1-6.
21. Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh Zadeh, A., and Pirzad, A. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. J. Phytol., 2: 73-79.
22. Graham, A.W., and 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.
23. Jahanbin, Sh., Vafapour, M., Yadavi, A., and Behzadi, Y. 2015. Assessment of growth and some characteristics of wheat cultivar of Alvand under deficit irrigation and foliar application of potassium di-hydrogen phosphate. J. Sustain Agri. Product Sci., 25: 3. 103-118. (In Persian)
24. Jalal Kamali, M.R., and Duveiller, E. 2008. Wheat Production and Research in Iran: A Success Story. In International Symposium on Wheat Yield Potential, Challenges to International Wheat Breeding. Mexico, D.F. CIMMYT.
25. Karmollachaab, A., and Gharineh, M.H. 2013. Effect of zinc element on growth, yield components and some physiological characteristics of maize under NaCl salinity stress. Iranian J. Field Crops Res., 11: 3. 446-453. (In Persian)

26. Khan, M.A., Fuller, M.P., and Baluch, F.S. 2008. Effect of Soil Applied Zinc Sulphate on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grown on a Calcareous Soil in Pakistan. Cereal Res. Communications., 36: 4. 571–582.
27. Lee, D.G., Ahsan, N., Lee, S.H., and Kang, K.Y. 2005. A proteomic approach in analyzing heat-responsive proteins in rice leaves. Proteomics., 7: 3369-3383.
28. Lu, C.M., and Zhang, J.H. 2000: Heat-induced multiple effects on PSII in wheat plants. J. Plant Physiol., 156: 259-265.
29. Lutts, S., Kinet, J.M., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. J. Ann. Bot., 78: 389-398.
30. Mansouri, H., and Hosseinpour, S. 2015. The parent specialized company and government commercial of Iran. Cereal Research Centre. Int. Grains Council., Pp: 97-93. (In Persian)
31. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. Academic Press, New York.
32. Mengel, K., and Kirkby, E.A. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
33. Modhej, A., and Fathi, Gh. 2008. Wheat Physiology. Islamic Azad University Publication (Shushtar branch)., 317p. (In Persian)
34. Modhej, A., Lak, Sh., Naderi, A., Emam, Y., and Nour Mohammadi, Gh. 2011. Relationship between canopy temperature and leaf chlorophyll content with grain yield of wheat at different levels of nitrogen and heat stress conditions after pollination. Iranian J. Field Crops Res., 8: 6. 946-955. (In Persian)
35. Moeinian, M.R., Zargari, K., and Hassanpour, J. 2011. Effect of boron foliar spraying application on quality characteristics and growth parameters of wheat grain under drought stress. American-Eurasian J. Agri. Enviro. Sci., 10: 4. 593-599.
36. Mohammadi, M. 2012. Effects of kernel weight and sourcelimitation on wheat grain yield under heat stress. African J. Bio., 11: 12. 2931-2937.
37. Molassiotis, A., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G., and Therios, I. 2006. Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9 (*Malus domestica Borkh*). J. Environ. Exp Bot., 56: 54-62.
38. Mousavi, S.R., Galavi, M., and Ahmadvand, G. 2007. Effect of Zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato. Asian J. Plant Sci., 6: 1. 1256-1260.
39. Posmyk, M.M., and Janas, K.M. 2007. Effects of seed hydropriming in presence of exogenous proline on chilling injury limitation in *Vigna radiata* L. seedlings. Acta physiol. Plant., 29: 509-517.
40. Raza, S.H., Ashraf, M., and Athar, H.R. 2007. Glycinebetaine-induced modulation of antioxidant enzyme activities and ion accumulation in two wheat cultivars differing in salt tolerance. Environ Exp. Bot., 60: 368-376.
41. Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Shah, G.M., Jamil, M., and Khan, I.H. 2013. Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Soil Sci. Plant Nutri., 13: 1. 175-185.
42. Reynolds, M.P., Balota, M., Delgado, M.I.B., Amani, I., and Fischer, R.A. 1994. Physiological and Morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. Aust. J. plant physiol., 21: 17-30.
43. Sannada, Y., Ueda, H., Kuribayashi, K., Andoh, T., Hayashi, F., Tamai, N., and Wada, K. 1995. Novel light-dark change of proline levels in halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and glycophytes (*Hordeum vulaare* L. and *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress. Plant Cell Physiol., 36: 6. 965-970.
44. Tabatabaei, S.J. 2013. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz University Press., Pp: 544. (In Persian)
45. Thalooth, A.T., El-Zeiny, H.A., and Saad, A.O.M. 1990. Application of potassium fertilizer for increasing salt tolerance of broad bean (*Viciafaba*). Bulletin of Egypt Soc. Physiol Sci., 10: 181-193.

46. VanKooten, O., and Snel, J.F.H. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. Photo. Res., 25: 3. 147-150.
47. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M.R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. Environ and Experimental Bot., 61: 199-223.
48. Wang, J.M., Zhao, H., Huang, D., and 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 Res., 135: 1. 89-96.
49. Waraich, E.A., Ahmad, R., Halim, A., and Aziz, T. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. J. Soil Sci. Plant Nutri., 12: 2. 221-244.
50. Weckx, J., Vangronsveld, J., and Poucke, M. 1989. Effect of paraquat on ethylene biosynthesis by intact green *Phaseolus vulgaris* seedlings. J. Physiol. Plant., 75: 340–345.
51. Xu, P.L., Guo, Y.K., Bai, J.G., Shang, L., and Wang, X.J. 2008. Effects of long-term chilling on ultrastructure and antioxidant activity in leaves of two cucumber cultivars under low light. J. Physiol. Plant., 132: 467-478.
52. Yadavi, A.R., Saeidi Aboueshaghi, R., Movahhedi Dehnavi, M., and Balouchi, H. 2014. Effect of micronutrients foliar application on grain qualitative characteristics and some physiological traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. Indian J. Fundamental and Applied Life Sci. ISSN., 4: 4. 124-131.
53. Zain, N.A.M., and Ismail, M.Z. 2016. Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice (*Oryza sativa* L.) planted under cyclic water stress. J. Agri Water Manag., 164: 83-90.
54. Zain, M., Khan, I., Khan Qadri, R.W., Ashraf, U., Hussain, S., Minhas, S., Siddique, A., Muzammil Jahangir, M., and Bashir, M. 2015. Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield and related attributes. American J. Plant Sci., 6: 7. 864-869.
55. Zare, M., Zadehbagheri, M., and Azarpanah, A. 2013. Influence of potassium and boron on some traits in wheat (*Triticum aestivum* cv. Darab 2). Int. J. Biotechnol., 2: 141-153.
56. Zhao, Ai-Qing. 2011. Combined effect of iron and zinc on micronutrient levels in wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Environ Bio., 32: 2. 235-239.