پژوهش‌های بذر ایران/ سال هشتم/ شماره دوم/ ۱۴۰۰/ صفحات: ۱۹-۱

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر کاربرد عناصر روی و بور بر گیاه مادری گندم در شرایط تنش گرما بر سلامت غشا سلولی بذر تولیدی و کیفیت فیزیولوژیک گیاهچه

بهزاد نوری فعلی [۱]، حمیدرضا عیسوند [۲*]، ناصر اکبری [۲]، داریوش گودرزی [۳]

چکیده مبسوط

مقدمه: تأمین عناصر مهم و مؤثر نظیر روی و بور در عملکرد کمی و کیفی به‌ویژه در مناطقی که خاک به دلایلی نمی‌تواند نیاز گیاه را تأمین کند، راهکاری مناسب برای بهبود کیفیت بذر و گیاهچه و وضعیت تغذیه و بهداشت جامعه خواهد بود. با توجه به اینکه در بخش قابل توجهی از مناطق تولید کننده گندم کشور مراحل نمو بذر با گرمای انتهای فصل مواجه می‌شود، بنابراین در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر تنش گرما و تغذیه گیاه مادری با عناصر ریزمغذی روی و بور بر زوال بذر و کیفیت فیزیولوژیک گیاهچه گندم پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: در یک آزمایش مزرعه‌ای بذرهای گندم در دو تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان ماه) و تأخیری (۱۵ دی ماه) برای اعمال تنش گرمای انتهای فصل در مرحله نمو بذر، در شهرستان رامهرمز با سه تکرار کشت شدند. تغذیه گیاه مادری با عناصر روی و بور در سه سطح (عدم استفاده، کاربرد روی و کاربرد بور) بصورت محلول‌پاشی اعمال شد. بذرها بعد از برداشت به آزمایشگاه منتقل و سلامت غشا سلول‌های بذر توسط آزمون هدایت الکتریکی به‌عنوان شاخصی از زوال‌پذیری بررسی شد. همچنین بخش دیگری از بذرها نیز برای بررسی کیفیت بذر و گیاهچه در گلخانه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در گلدان کشت و ارزیابی شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مواجه شدن نمو بذر با تنش گرما سبب کاهش کیفیت بذر و همچنین گیاهچه‌های حاصل از آن شد. به‌طوری که غشا سلولی در بذر تولید شده در شرایط تنش گرما دچار آسیب شده و هدایت الکتریکی آنها ۱۹٪ افزایش یافت. همچنین این بذرها در مواجه با تیمار فرسودگی، حساسیت بیشتری نشان دادند. درصد ظهور گیاهچه در بذرهای تنش دیده ۲۱/۶۶٪ کاهش یافت. همچنین تنش گرما شاخص‌های کیفیت گیاهچه نظیر میزان کلروفیل، وزن خشک بخش هوایی و ریشه را کاهش داد. استفاده از عناصر روی و بور بر گیاه مادری سبب شد تا علاوه بر بهبود کیفیت بذر و گیاهچه در شرایط عدم تنش، از اثرات بد تنش گرما بر کیفیت بذر و گیاهچه نیز کاسته شود. همبستگی منفی و معنی‌داری بین هدایت الکتریکی بذر و پارامترهای کیفی وجود داشت. لذا استفاده از این آزمون برای تعیین کیفیت بذر به‌ویژه بذرهای تولید شده در شرایط تنش گرمای انتهای فصل، قابل توصیه است.

نتیجه‌گیری: با توجه به اثرات منفی گرما طی نمو بذر بر کیفیت بذر تولید شده، تاریخ کاشت حتی الامکان به گونه‌ای تنظیم شود که نمو بذر با تنش گرمای انتهای فصل مواجه نشود. نظر به اثرات مفید کاربرد روی و بور در گیاه مادری بر بسیاری از صفات مرتبط با کیفیت بذر و گیاهچه، مصرف آنها بویژه روی در شرایط خاکهای دچار کمبود و یا احتمال وقوع تنش گرمای آخر فصل قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: بنیه، فرسودگی بذر، تغذیه گیاه، تنش، نمو بذر

جنبه‌های نوآوری:

۱- ریز مغذی‌های روی و بور جهت تخفیف اثرات مضر تنش گرما بر کیفیت بذر تولیدی استفاده شدند.

۲- خصوصیات فیزیولوژیک گیاهچه تولید شده در شرایط مزرعه‌ای تحت تنش گرمای آخر فصل، بررسی شد.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه لرستان

[۲] دانشیار و استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه لرستان

[۳] مربی عضو هیئت علمی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه لرستان

[*] رایانامه نویسنده مسئول: eisvand.hr@lu.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1400.8.2.4.0

DOI: 10.52547/yujs.8.2.1

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۹)

مقدمه

خانواده غلات بخش عمده‌ای از تولید و مصرف غذای جهان را به خود اختصاص می‌دهند. به‌طور کلی حدود ۷۰ درصد از غذای مردم توسط غلات تأمین می‌شود. گندم از نظر میزان تولید مهم‌ترین گیاه زراعی در جهان بوده و تولید آن در سال ۲۰۱۸ به حدود ۸۶۵ میلیون تن رسید (فائو[1]، ۲۰۲۰).

خشکی و گرما از جمله تنش‌های اصلی غیرزنده‌ای هستند که در سناریوی فعلی و آتی تغییر اقلیم اهمیت دارند. هرگونه افزایش در شدت و یا بروز این تنش‌ها، چه به‌صورت جداگانه و چه به‌صورت ترکیبی، باعث کاهش شدید بهره‌وری محصول و امنیت غذایی در سطح جهان می‌شود. با وجود این‌که این تنش‌ها در تمام مراحل رشد محصول مانعی برای تولید هستند، اما میزان خسارت آن‌ها در مرحله زایشی و بطور عمده مرحله پرشدن بذر، بسیار مهم است و سبب تلفات قابل توجهی در عملکرد می‌شود (سگال[2] و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش دما و تغییرات ناشی از آن در اقلیم، بر رشد و نمو گیاه تأثیر منفی می‌گذارد و سبب کاهش فاجعه بار در تولید گندم خواهد شد، به‌طوری که تقریباً به ازاء هر یک درجه افزایش درجه حرارت، شش درصد عملکرد کاهش خواهد یافت (اختر و اسلام[3]، ۲۰۱۷). کمبود روی و تنش گرما بر تولید غلات در بسیاری از مناطق نیمه خشک جهان تأثیر می‌گذارد (پک و مکدونالد[4]، ۲۰۱۰). مرحله پرشدن دانه گندم به دمای بالا خیلی حساس است (فاروق[5] و همکاران، ۲۰۱۱) و تنش گرما معمولاً سرعت پرشدن را تسریع و دوره پرشدن را کوتاه می‌کند (دیاس و لیدون[6]، ۲۰۰۹). تنش گرما کیفیت دانه بسیاری از غلات و لگوم‌ها را به‌دلیل محدود کردن تولیدات مواد فتوسنتزی و انتقال مجدد کم‌تر عناصر غذایی تحت‌تأثیر قرار داده و تعداد و وزن دانه گندم را کاهش می‌دهد (لیزانا و کالدرینی[7]، ۲۰۱۳).

کاهش عملکرد در خاک‌های تحت کشت غلات در اکثر کشورهای جهان از جمله ایران ناشی از کمبود عناصر مغذی به‌ویژه روی و بور در خاک‌های زراعی است (ملکوتی[8] و همکاران، ۲۰۰۵؛ حفیظ[9] و همکاران، ۲۰۱۳). عناصر ریزمغذی برای رشد طبیعی گیاهان مورد نیاز هستند و ضمن شرکت در ساختار بعضی از اندامک‌ها، در بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه دخالت دارند. به‌عنوان مثال، عنصر روی در تولید هورمون‌های رشد (اکسین) و انجام فتوسنتز، عنصر بر در تقسیم سلولی و آهن در تشکیل کلروفیل نقش دارند (راوی[10] و همکاران، ۲۰۰۸). کاربرد ریزمغذی‌ها به روش محلول‌پاشی می‌تواند وضعیت رشد گیاه را بهبود بخشد (موحدی دهنوی[11] و همکاران، ۲۰۰۹).

روی به‌عنوان یکی از عناصر ریزمغذی برای بسیاری از موجودات زنده ضروری است و نقش مهمی را در سنتز پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و کلروفیل (ساجدی و رجالی[12]، ۲۰۱۲؛ حفیظ و همکاران، ۲۰۱۳) و بعنوان عنصری مؤثر در حفظ سلامت غشا و همچنین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز برعیله تنش‌ها ایفای نقش می‌کند (پک و مکدونالد، ۲۰۱۰). روی یکی از مهم‌ترین ریزمغذی‌های شناخته شده است و کمبود آن در گیاهان به‌ویژه در خاک‌های آهکی، شور و قلیایی مشهود است. نقش این عنصر به‌عنوان بخشی از ساختار بسیاری از آنزیم‌های مهم ضروری است و همچنین می‌تواند به‌عنوان پایدار کننده ساختار پروتئین‌ها، غشاها و پروتئین‌های متصل‌شونده به DNA نقش داشته باشد (آراویند و پراسد[13]، ۲۰۰۴). علاوه بر این، در چند فرآیند مهم سلولی نظیر متابولیسم پروتئین و اکسین (IAA) نقش آفرینی می‌کند (مارشنر[14]، ۱۹۹۵).

گزارش شده است که در اثر محلول پاشی سولفات روی بر گیاه گندم، میزان روی و منگنز بذر به ترتیب ۱۸/۵ و ۳۳ درصد افزایش یافت و در بذرهای که محتوی روی بیشتری داشتند درصد ظهور، عملکرد و شاخص

[1] FAO
[2] Sehgal
[3] Akter and Islam
[4] Peck and McDonald
[5] Farooq
[6] Dias and Lidon
[7] Lizana and Calderini

[8] Malacotti
[9] Hafeez
[10] Ravi
[11] Movahhedy dehnavy
[12] Sajedi and Regali
[13] Aravind and Prasad
[14] Marschner

برداشت بیشتری نیز مشاهده شد (عبدلی[1] و همکاران، ۲۰۱۶). تغذیه گیاه مادری با عناصر دیگر نظیر نیتروژن نیز تاثیراتی بر کیفیت بذر دارد. شاهی[2] و همکاران (۲۰۱۳) با کاربرد سطوح مختلفی از کود نیتروژن (صفر تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) گزارش کردند که تغذیه گیاه مادری گندم با کود نیتروژن سبب بهبود برخی خصوصیات جوانه زنی و گیاهچه شد، اما نشت مواد از بذر را افزایش داد.

گزارش‌هایی وجود دارد که در برخی محصولات نظیر آفتابگردان (اسد[3] و همکاران، ۲۰۰۳) و زیتون (پریکا[4] و همکاران، ۲۰۰۱) کمبود بور می‌تواند وجود داشته باشد و تأثیر آن بر کاهش عملکرد حتی در شرایطی که علایم ظاهری کمبود در بافت رویشی مشاهده نشده، معنی‌دار بوده است. بور یکی از عناصر ضروری کم مصرف برای رشد گیاه محسوب می‌شود. کمبود عنصر بور در بین عناصر کم مصرف پس از آهن و روی بزرگ‌ترین خسارت را بر تولید وارد می‌سازد. مقدار بور در گیاهان در حدود ۵ تا ۵۰ میلیگرم در کیلوگرم تغییر می‌کند، ولی این مقدار ممکن است در گیاهان و خاک‌های مختلف متفاوت باشد (شیرانی‌راد[5]، ۲۰۰۳). بور، با تأثیر بر انتقال قند، سنتز پروتئین، تنظیم هورمون‌های گیاهی و فرآیند گلدهی و میوه‌دهی برای رشد طبیعی گیاه ضروری بوده و کمبود آن سبب توقف رشد و کاهش عملکرد می‌گردد (شیرین[6] و همکاران، ۲۰۱۸).

کاهش قابلیت حیات بذر متأثر از فرآیندهای زوال بذر در اثر مسن شدن بذر و مشکلات قبل و بعد از برداشت است. یکی از اهداف مهم در برنامه‌های تولید بذر، تولید بذرهای سالم و قوی در برابر شرایط محیطی است (قادری‌فر و سلطانی[7]، ۲۰۱۰). بذرها در طی دوره انبارداری زوال پیدا می‌کنند که این زوال منجر به کاهش کیفیت بذر می‌گردد. با زوال بذر، قدرت بذر اولین جزء از کیفیت بذر است که کاهش می‌یابد و به‌دنبال آن ظرفیت جوانه‌زنی و قوه نامیه نیز کاهش نشان می‌دهد. بذرهای با کیفیت و قدرت بالاتر می‌توانند بهتر سبز شده و در مواجه با تنش‌های محیطی درصد سبز و سرعت جوانه‌زنی بالاتری را داشته و در نهایت گیاهچه‌های نیرومندتری تولید کنند (بسرا[8] و همکاران، ۲۰۰۳). کمایی[9] و همکاران (۲۰۱۸a) با بررسی اثر دو تاریخ کاشت (نرمال و تأخیری) روی گندم بیان داشتند که با تأخیر در کاشت صفات ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول سنبله و عملکرد زیستی به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، افزایش تجمع پرولین (کومار[10] و همکاران، ۲۰۱۲)، تجمع ROS[11] و کاهش شاخص پایداری غشای سلول، تسریع در رسیدگی و کاهش عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت (محمدی[12]، ۲۰۱۲) گردید.

کمایی و همکاران (۲۰۱۸b) اثر محلول‌پاشی پتاسیم، روی و بور بر برخی صفات کمی و فیزیولوژیک گندم تحت کشت تاخیری (با هدف اعمال تنش گرما) را بررسی و گزارش کردند که در اثر تأخیر در کاشت، صفاتی نظیر محتوای کلروفیل برگ، محتوای نسبی آب برگ پرچم، پایداری غشای سلول، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) کاهش یافت؛ اما محلولپاشی عناصر ذکرشده، توانست اثرات زیانبار گرما بر صفات مدنظر را کاهش دهد.

با توجه به شرایط اقلیمی کشور، بخش قابل توجهی از مناطق تولید کننده گندم نظیر خوزستان، فارس، لرستان، کرمانشاه و ایلام، مراحل نمو بذر با گرمای انتهای فصل مواجه می‌شود. علاوه براین، اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور و محدودیت آب سبب تشدید اثرات تنش گرما نیز می‌شود، لذا در تحقیق حاضر به‌منظور ایجاد راهکاری مناسب برای بهبود کیفیت بذر به بررسی تأثیر تنش گرما و تغذیه گیاه با عناصر ریزمغذی روی و

[1] Abdoli
[2] Shahi
[3] Asad
[4] Perica
[5] Shirani Rad
[6] Shireen
[7] Ghaderi Far and Soltani
[8] Basra
[9] Kamaei
[10] Kumar
[11] Reactive Oxygen Species
[12] Mohammadi

بور بر زوال بذر و کیفیت فیزیولوژیک گیاهچه گندم پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر تنش گرمای انتهای فصل و تغذیه گیاه مادری با روی و بور بر چگونگی زوال بذر و کیفیت فیزیولوژیک گیاهچه گندم زراعی رقم چمران در سال ۱۳۹۷ در گلخانه و آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. آزمایش دارای سه عامل شامل؛ دو سطح تنش گرمای انتهای فصل (اعمال از طریق تاریخ کاشت؛۳۰ آبان تاریخ بهینه و تاریخ تأخیری ۱۵ دی (رادمهر[1]، ۱۹۹۷)، سه سطح تغذیه گیاه مادری (عدم مصرف، مصرف بور و مصرف روی) و دو سطح زوال بذر (عدم زوال و پیری تسریع شده) بود. تنش گرما و تغذیه در مزرعه بر روی گیاه مادری اعمال و سپس بذرهای برداشت شده در آزمایشگاه تحت تأثیر زوال قرار داده گرفته و در گلدان کشت شدند.

نحوه مصرف عناصر روی و بور مورد استفاده در مزرعه روی گیاه مادری به‌صورت سه بار محلول‌پاشی در مراحل پنجه‌زنی، به غلاف رفتن و مرحله گرده افشانی بود. غلظت روی استفاده شده ۷/۵ درصد و غلظت بور استفاده شده ۵ درصد، از منبع کود کلات محصولات شرکت زرافشان بود و به میزان ۳ میلی‌گرم در یک لیتر آب مقطر در هکتار استفاده گردید. برای اعمال تیمار زوال بذر، بذرها قبل از آزمایش بر اساس روش دلوچ و بسکین[2] (۱۹۷۳) در دمای ۴۱ درجه سلسیوس و مدت زمان ۷۲ ساعت و رطوبت نسبی ۱۰۰٪ قرار داده شدند.

تعداد ۲۸ عدد بذر از هر تیمار برای بررسی ویژگی‌های مرتبط با رشد گیاهچه در درون گلدان کشت شدند و بعد از اتمام دوره موردنظر صفات اندازه‌گیری گردید. ارتفاع گلدان ۱۲ سانتی‌متر و قطر آن ۱۷ سانتی-متر بود (برای هر تیمار دو گلدان در نظر گرفته شد). خاک داخل گلدان نیز از خاک مزرعه دانشکده تهیه گردید. قبل از آزمایش بذرهای تهیه شده با قارچ‌کش ویتاواکس ضدعفونی شدند. معیار ظهور گیاهچه، خروج گیاهچه و مشاهده آن در سطح گلدان در نظر گرفته شد و شمارش گیاهچه‌های ظاهر شده به‌صورت روزانه انجام شد. ده روز بعد از سبز شدن اولین گیاهچه، پنج گیاهچه از هر تیمار به‌صورت تصادفی از خاک خارج و تعداد ریشه‌های آن‌ها شمارش شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان صفت تعداد ریشه در گیاهچه در نظر گرفته شد.

در پایان آزمایش گیاهچه‌های گلدان‌ها با دقت از خاک خارج و شسته شدند. سپس طول ریشه، وزن خشک ریشه و وزن خشک بخش هوایی گیاهچه در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت در آون خشک قرار داده و اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی[3] بذر ابتدا ۵۰ عدد عدد بذر توزین و در ۲۵۰ سی‌سی آب مقطر قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نگه‌داری شد و در نهایت EC محلول با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد (قادری‌فر و سلطانی، ۲۰۱۰).

$$EC\ [(\mu s/cm)/gr] = EC(\mu s/cm) / \text{seed weight(g)}$$

درصد ظهور گیاهچه به‌صورت تعداد گیاهچه ظاهر شده تقسیم بر تعداد بذر کشت شده ضرب در ۱۰۰ محاسبه شد. سرعت ظهور گیاهچه نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (آگراوال[4]، ۲۰۰۴):

سرعت ظهور گیاهچه = $\sum_{1}^{j} \frac{ni}{Di}$

Ni تعداد بذرهای سبز شده در روز i ام و Di تعداد روز پس از شروع آزمایش. بعد از اتمام ظهور گیاهچه، از هر گلدان ۱۰ گیاهچه به‌طور تصادفی انتخاب و با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت بالا (۰/۰۰۱ گرم) وزن آن اندازه‌گیری شد (وزن‌تر گیاهچه) و سپس گیاهچه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت به آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس منتقل شده و در نهایت وزن خشک گیاهچه به‌دست آمد.

زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی[5] (D90) با استفاده از برنامه جرمین[1] (سلطانی و مداح[2]، ۲۰۱۰)، برآورد شد.

[1] Radmehr
[2] Delouche and Baskin
[3] Electrical conductivity (EC)
[4] Agrawal
[5] Time required to reach 90% of emergence (D90)

اندازه گیری میزان کلروفیل a+b

مقدار نیم گرم از ماده‌تر برگ در هاون چینی با استفاده از نیتروژن مایع پودر شد. سپس ۲۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد به آن اضافه شد و در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شدند. میزان جذب نور عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ توسط اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت شد. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر کلروفیل a و b محاسبه و میزان کلروفیل a+b از مجموع دو کلروفیل بر حسب میلی گرم بر گرم وزن‌تر به دست آمد (آرنون[3]، ۱۹۶۷).

Chlorophyll a (mg/g) = (19.3 × A663 - 0.86 × A645) V/100W

Chlorophyll b (mg/g) = (19.3 × A645 - 3.6 × A663) V/100W

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر

W= وزن‌تر نمونه بر حسب گرم

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 (سس[4]، ۲۰۱۱) مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و سپس مقایسات میانگین نیز با آزمون LSD (حداقل تفاوت معنی‌دار) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

هدایت الکتریکی: اثر تیمارهای تنش گرما، تغذیه با روی و بور و زوال بذر بر هدایت الکتریکی بذرها معنی‌دار شد ($P\leq0.01$). همچنین برهمکنش دوگانه نیز بر این صفت معنی‌دار بود ($P\leq0.05$، جدول ۱). تنش گرما سبب افزایش ۱۹/۲ درصدی هدایت الکتریکی بذر و در واقع سبب آسیب به غشای بذر تولیدی شد (جدول ۶). مقایسات میانگین برهم‌کنش تنش گرما و محلول-پاشی عناصر نشان داد که در شرایط بدون تنش گرما، محلول‌پاشی اثر معنی داری بر هدایت الکتریکی نداشت، اما با وقوع تنش، محلول‌پاشی گیاه مادری با روی و بور سبب کاهش اثرات مضر تنش گرمای انتهای فصل بر سلامت غشا بذر شد (جدول ۳). بطور میانگین کاربرد روی حدود ۳۲ و بور ۲۴ درصد سبب بهبود سلامت غشا سلولهای بذر شدند (جدول ۶). همچنین بررسی برهمکنش تنش گرما و فرسودگی بذر نشان داد غشا سلولی بذرهایی که در شرایط گرما تولید شدند به زوال حساس‌تر بودند (شکل A۱). درخصوص برهم‌کنش محلول‌پاشی و زوال بذر نیز مشخص گردید غشا سلولی بذرهایی که گیاه مادری آنها با روی یا بور محلول‌پاشی نشده بودند به فرسودگی حساستر بودند و بیشترین هدایت الکتریکی را داشتند (شکل A۲). هدایت الکتریکی با صفاتی نظیر درصد و سرعت ظهور گیاهچه، میزان کلروفیل، طول ریشه، تعداد ریشه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاهچه، همبستگی منفی و معنی‌دار و با زمان تا ۹۰ درصد ظهور گیاهچه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). این همبستگی‌ها نشان دهنده اهمیت سلامت غشا سلولها در بحث کیفیت بذر و گیاهچه تولیدی از آن است. لذا آزمون هدایت الکتریکی بعنوان آزمونی برای بررسی کیفیت بذرهای گندم تولید شده در شرایط تنش گرما بسیار مفید خواهد بود.

گراس و بوریس[5] (۱۹۹۵a) گزارش کردند که تنش گرما در طی نمو بذر گندم سبب افزایش هدایت الکتریکی بذرها شد. موری و عیسوند[6] (۲۰۱۹) نیز افزایش هدایت الکتریکی بذر گندم در اثر زوال (پیری تسریع شده) را گزارش کردند. در آزمایش آنها بذرها با هدایت الکتریکی بالا در مقایسه با بذرهای واجد هدایت الکتریکی پایین، دارای کیفیت پایینی بودند. علت بهبود خصوصیات جوانه‌زنی با مصرف روی در شرایط تنش می‌تواند تأثیر این عنصر بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت باشد (پک و مکدونالد، ۲۰۱۰) که خود می‌تواند موجب حفظ و پایداری غشاهای سلولی و افزایش توان ظرفیت سیستم فتوسنتزی گیاه شود، زیرا از این طریق می‌توانند صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش دهند (اختر و اسلام، ۲۰۱۷) و در نتیجه بذرهایی با کیفت بیشتر تولید شود. همچنین با توجه به

[1] Germin
[2] Soltani and Maddah
[3] Arnon
[4] SAS
[5] Grass and Burris
[6] Moori and Eisvand

نقش روی در فعالیت آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربوهیدراتها، حفظ سلامت غشاءها، سنتز پروتیین، تنظیم ساخت اکسین و تشکیل دانه گرده (مارشنر، ۱۹۹۵)، لذا کاربرد روی توانسته سبب بهبود کیفیت بذر در شرایط تنش و بدون تنش شود. تنظیم واکنش‌های بیوشیمایی در متابولیسم فتوسنتز نیز توسط عنصر روی و بواسطه نقشی که در

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های کیفیت بذر و گیاهچه گندم

Table 1. Analysis of variance for the effect of experiment treatments on wheat seed and seedling quality indicators

منابع‌تغییرات SOV	درجه آزادی Df	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	درصد ظهور گیاهچه Seedling emergence percentage	سرعت ظهور گیاهچه Emergence rate	روز تا ۹۰ درصد ظهور D90	طول ریشه Root length	تعداد ریشه No. of root	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک بخش هوایی Shoot dry weight	میزان کلروفیل Chlorophyll content
تکرار Rep	2	73 ^{ns}	64.7^{ns}	1.02 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.3 ^{ns}	0.3 ^{ns}	51.2 ^{ns}	96.6 ^{ns}	0.69 ^{ns}
گرما Heat (H)	1	1637**	1743.6**	23.2**	9.8**	10.1**	9.7**	1320**	1100**	9.0**
تغذیه ریزمغذی Nutrition (N)	2	1564**	765.1**	73.3**	5.5**	9.7**	2.6**	1558**	2795**	9.8**
فرسودگی بذر Seed Deterioration (D)	1	1456**	1463.2**	20.1**	5.4**	13.3**	7.9**	1272**	2862**	13.9**
H × N	2	310*	165.6 ^{ns}	3.4*	1.2**	2.4 ^{ns}	0.1 ^{ns}	113 ^{ns}	538*	0.7 ^{ns}
H × D	1	369*	248.2*	4.0*	2.8*	7.5**	0.4 ^{ns}	196 ^{ns}	702*	2.8*
N × D	2	301*	103.0 ^{ns}	3.4*	0.4 ^{ns}	2.2 ^{ns}	0.04 ^{ns}	375*	590*	0.9 ^{ns}
H × N × D	2	217 ^{ns}	12.5 ^{ns}	1.8 ^{ns}	0.5 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0.04 ^{ns}	371*	151 ^{ns}	1.5 ^{ns}
خطا Error	22	87	65.0	0.8	0.4	1.0	0.2	115	131	0.64
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		12.10	15.50	14.2	14.2	10.8	12.5	18.25	15.34	9.60

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 ۲. مقایسه میانگین اثر تغذیه گیاه مادری با روی و بور برخی شاخص‌های بذر و گیاهچه گندم

Table 2. Mean comparisons for the effect of plant nutrition with zinc and boron on some seed and seedling indices of wheat

تیمار تغذیه Nutrition treatment	درصد ظهور گیاهچه Seedling emergence (%)	تعداد ریشه No. of root	وزن خشک ریشه Root dry weight (mg/seedling)	طول ریشه Root length (cm)	میزان کلروفیل Chlorophyll (mg/g FW)
عدم محلول‌پاشی Control	48.10 b*	3.92 b	47.00 b	8.31 b	7.10 b
محلول‌پاشی روی Zinc foliar application	61.00 a	4.93 a	69.80 a	9.55 a	8.96 a
محلول‌پاشی بور Boron foliar application	62.80 a	4.41 a	59.60 a	10.16 a	8.48 a

* در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

In each column, means with at least one common letter are not significantly different according to LSD (P=0.05)

حفظ ساختار رابیسکو دارد هدایت می‌شوند (آلوی[1]، ۲۰۰۴). بور در حفظ ساختار و کارکرد دیواره سلولی و غشاها و جریانات یونی از عرض غشاها نقش دارد (شیرین و همکاران، ۲۰۱۸). لذا به‌نظر می‌رسد کاربرد آن سبب بهبود وضعیت غشا شده و هدایت الکتریکی کاهش یافته است.

درصد ظهور گیاهچه: اثرات اصلی تنش گرما، محلول پاشی و زوال بذر در سطح یک درصد و برهم‌کنش تنش گرما در زوال بذر در سطح پنج درصد بر درصد ظهور گیاهچه معنی دار بود (جدول ۱). تنش گرمای انتهای فصل سبب کاهش ۲۱/۷ درصدی ظهور گیاهچه شد (جدول ۶). محلول پاشی گیاه مادری با روی یا بور بطور معنی داری در مقایسه با عدم محلول پاشی سبب بهبود درصد ظهور گیاهچه بذر تولیدی شدند (روی ۲۱ و بور ۲۳ درصد افزایش ظهور گیاهچه را سبب شدند)؛ اما تفاوت معنی‌داری بین روی و بور از این نظر وجود نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش گرما در زوال بذر نشان داد که زوال بذر درصد ظهور گیاهچه را کاهش داد، اما این کاهش فقط برای بذرهای تولید شده در شرایط گرما معنی دار بود (شکل B۱). همبستگی بین درصد ظهور گیاهچه با سرعت ظهور گیاهچه، هدایت الکتریکی بذر و زمان تا ۹۰٪ جوانه زنی منفی و با سایر صفات مورد بررسی مثبت بود (جدول ۵).

در گندم و کلزا نیز کاهش درصد سبز شدن گیاهچه ها بر اثر فرسودگی بذرها گزارش شده است (قاسمی گلعذانی[2] و همکاران، ۲۰۱۰؛ موری و عیسوند، ۲۰۱۹). گزارش شده است که با تأخیر در کاشت به‌دلیل تنش گرمای انتهایی کلیه صفات شاخص کلروفیل برگ، شاخص پایداری غشای سلول، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت گندم نان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. محلول‌پاشی عناصر روی و بور موجب افزایش معنی‌دار صفات فیزیولوژیک و افزایش عملکرد دانه و زیستی گندم نان در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری شد که البته تأثیر کاربرد روی نسبت به کاربرد بور بیشتر بود (کمائی[3] و همکاران، ۲۰۱۸b). کاهش اثرات مضر گرما بر رشد دانه گندم در اثر کاربرد روی (پک و مکدونالد، ۲۰۱۰) و افزایش عملکرد با کاربرد عناصر ریزمغذی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (گفران مقصود[4]، ۲۰۱۴). مشخص شده است که بذرهای دچار کمبود بور، جوانه‌زنی کم‌تر و میزان گیاهچه غیرعادی بیشتری دارند. این پدیده در اثر کاربرد بور تکمیلی از بین می‌رود و در عوض بذرهای تولید شده از جوانه‌زنی و بنیه بالاتری برخوردارند (ریرکاسم و لونراگان[5]، ۱۹۹۴).

سرعت ظهور گیاهچه: اثرات اصلی تنش گرما، عناصر ریز مغذی و فرسودگی بذر در سطح یک درصد و اثرات دوگانه این فاکتورها در سطح پنج درصد بر سرعت ظهور گیاهچه معنی دار بود (جدول ۱). تنش گرما سبب کاهش ۲۲/۶ درصدی سرعت ظهور گیاهچه ها شد (جدول ۶). مقایسه میانگین تنش گرما در تغذیه نشان داد که محلول‌پاشی روی و بور هم در شرایط عدم تنش و هم در شرایط تنش گرما سبب افزایش سرعت ظهور گیاهچه شد و نقش روی در مقایسه با بور مؤثرتر بود (جدول ۳ و ۶).

مقایسه میانگین برهمکنش گرما در فرسودگی بذر نشان داد که بذرهای تولید شده تحت تنش گرما به فرسودگی حساس‌تر بودند و بنابراین کمترین سرعت ظهور گیاهچه را داشتند (شکل C۱). فرسودگی بذر بطور کلی سبب کاهش ۲۳ درصدی سرعت ظهور گیاهچه شد (جدول ۶). بررسی برهمکنش تغذیه گیاه با فرسودگی بذر نشان داد که تغذیه گیاه با روی و بور سبب شد تا سرعت ظهور گیاهچه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر فرسودگی قرار نگیرد؛ اما در شرایط عدم تغذیه، فرسودگی سبب کاهش معنی‌دار سرعت ظهور گیاهچه شد (شکل B۲). سرعت ظهور گیاهچه با هدایت الکتریکی بذر و روز تا ۹۰ درصد ظهورگیاهچه همبستگی منفی و با سایر صفات مورد بررسی همبستگی مثبت داشت (جدول ۵).

[1] Alloway
[2] Ghassemi-Golezani
[3] Kamaei
[4] Ghofran Maghsud
[5] Rerkasem and Loneragan

جدول ۳. مقایسه میانگین برهمکنش گرمای انتهای فصل و تغذیه با روی و بور برخی شاخص‌های بذر و گیاهچه گندم

Table 3. Mean comparisons for the interaction of late-season heat stress and nutrition with zinc and boron on some seed and seedling indices of wheat

تنش گرما Heat stress	تغذیه Nutrition	هدایت الکتریکی Electrical conductivity [(µs/cm)/g]	سرعت ظهور گیاهچه Emergence rate (seedling/day)	روز تا ۹۰ درصد ظهور D90	وزن خشک بخش هوایی Shoot dry weight (mg/seedling)
بدون تنش گرما Control	Control	77.38 b*	4.77 c	8.93 b	71.00 a
	Zinc	66.00 b	8.97 a	8.21 b	87.50 a
	Boron	66.42 b	7.82 b	8.35 b	83.33 a
تنش گرمای انتهای فصل Late-season heat stress	Control	101.98 a	2.84 d	10.67 a	44.67 b
	Zinc	70.62 b	8.53 ab	9.16 b	86.17 a
	Boron	77.67 b	5.31 c	8.8 b	77.83 a

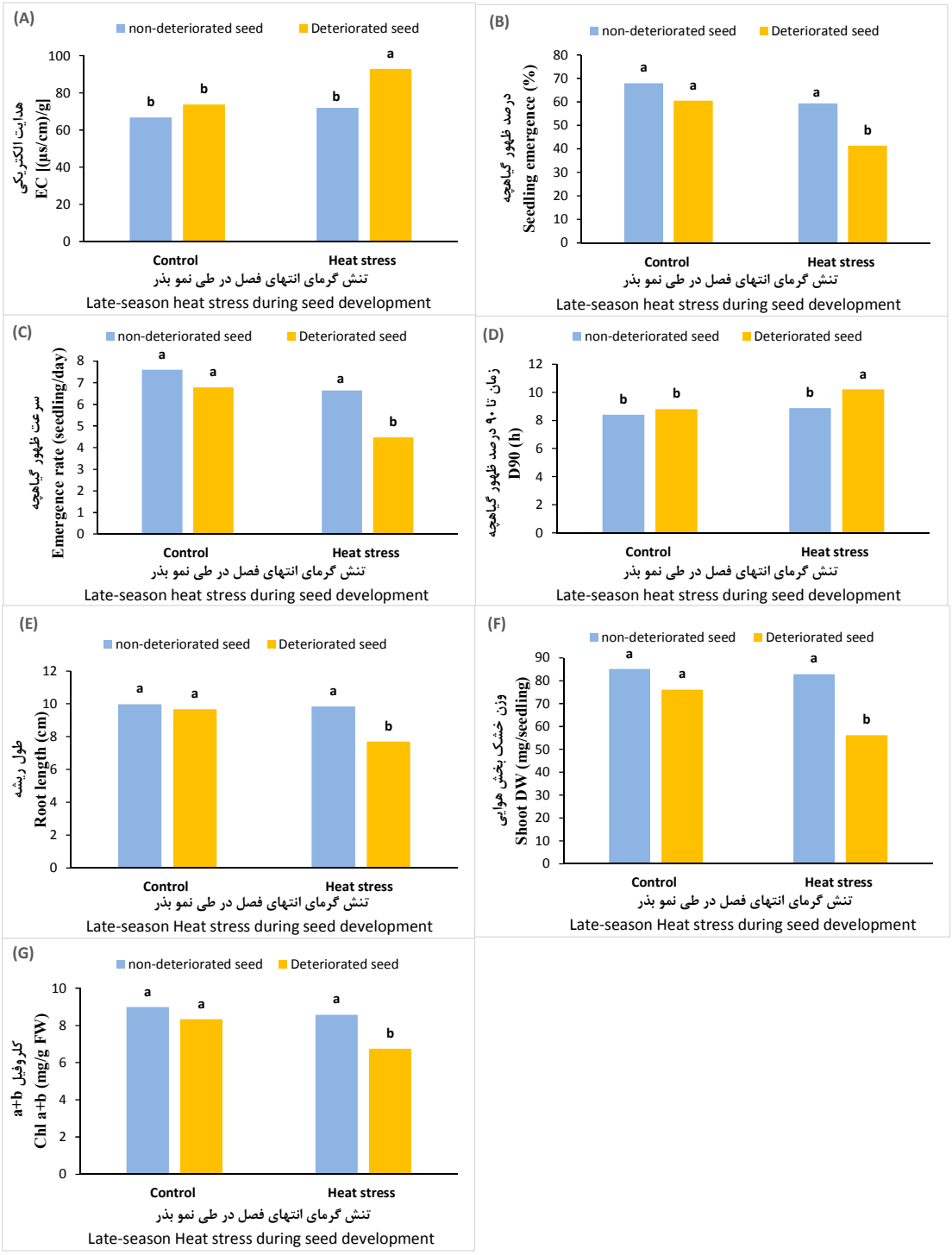
* در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.
In each column, means with at least one common letter are not significantly different according to LSD (P=0.05)

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش تنش گرمای انتهای فصل، تغذیه با روی و بور و فرسودگی بذر بر وزن خشک ریشه گندم

Table 4. Mean comparisons for interactions of late-season heat stress, plant nutrition (zinc, and boron) and seed deterioration on root dry weight of wheat seedling

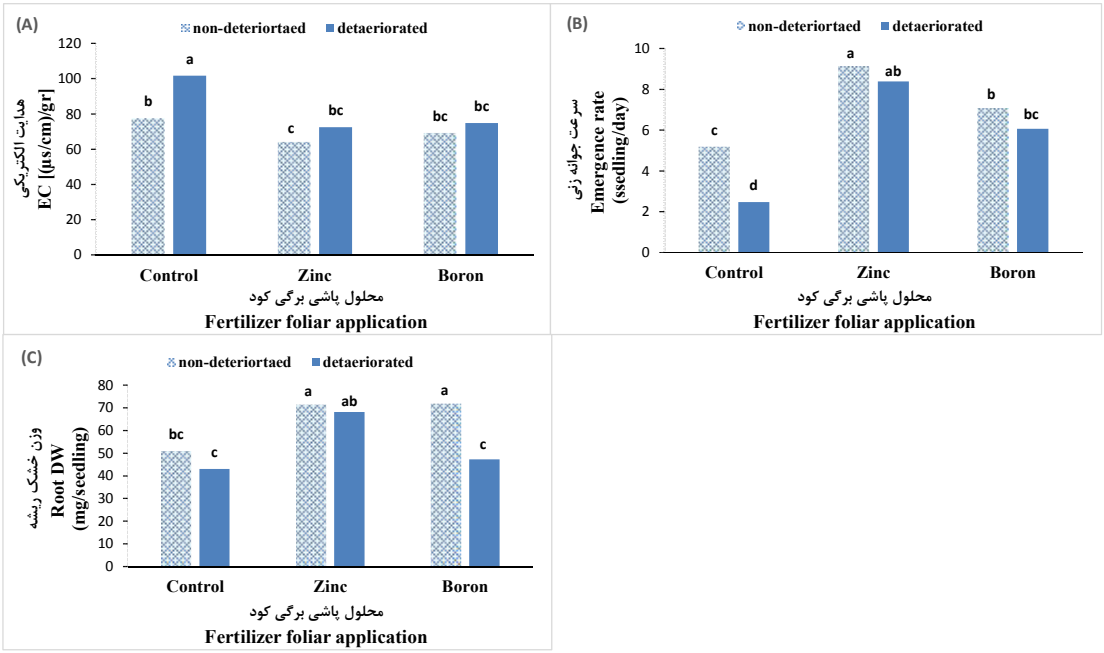
تنش گرما Heat stress	تغذیه Nutrition	فرسودگی بذر Seed deterioration	وزن خشک ریشه Root dry weight (mg/seedling)
بدون تنش گرما Control	Control	Non-deteriorated	63.3 abc
	Control	Deteriorated	48.3 cd
	Zinc	Non-deteriorated	75.0 ab
	Zinc	Deteriorated	77.6 a
	Boron	Non-deteriorated	67.0 ab
	Boron	Deteriorated	57.6 bc
تنش گرمای انتهای فصل Late-season heat stress	Control	Non-deteriorated	38.6 d
	Control	Deteriorated	37.6 d
	Zinc	Non-deteriorated	67.6 ab
	Zinc	Deteriorated	58.6 bc
	Boron	Non-deteriorated	76.6 a
	Boron	Deteriorated	37.0 d

* در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.
In each column, means with at least one common letter are not significantly different according to LSD (P=0.05)



شکل ۱. مقایسه میانگین برهمکنش تنش گرمای انتهای فصل و فرسودگی بذر بر برخی صفات بذر و گیاهچه گندم

Fig. 1. Mean comparison for interaction of late-season heat stress and seed deterioration on some seed and seedling traits of wheat



شکل ۲. مقایسه میانگین برهمکنش تغذیه گیاه مادری (با روی و بور) و فرسودگی بذر بر برخی صفات بذر و گیاهچه گندم

Fig. 2. Mean comparison for interaction of plant nutrition (with zinc and boron) and seed deterioration on some seed and seedling traits of wheat

جدول ۵. ضریب همبستگی پیرسون بین صفات بررسی شده

Table 5. Pearson correlation coefficient between the evaluated traits

	کلروفیل Chl (a+b)	درصد ظهور گیاهچه Seedling emergence percentage	سرعت ظهور گیاهچه Seedling emergence rate	زمان تا ۹۰ درصد ظهور گیاهچه D90	طول ریشه Root Length	تعداد ریشه No. of root	وزن خشک ریشه Root DW	وزن خشک اندام هوایی Shoot DW	هدایت الکتریکی بذر EC
کلروفیل (a+b) Chl (a+b)	1								
درصد ظهور گیاهچه Seedling emergence percentage	0.71**	1							
سرعت ظهور گیاهچه Seedling emergence rate	0.68**	0.61**	1						
زمان تا ۹۰ درصد ظهور گیاهچه D90	-0.68**	-0.76**	-0.69**	1					
طول ریشه Root Length	0.65**	0.72**	0.62**	-0.75**	1				
تعداد ریشه No. of root	0.74**	0.723**	0.68**	-0.67**	0.67**	1			
وزن خشک ریشه Root DW	0.63**	0.53**	0.76**	-0.61**	0.51**	0.59**	1		
وزن خشک اندام هوایی Shoot DW	0.66**	0.64**	0.79**	-0.77**	0.64**	0.62**	0.73**	1	
هدایت الکتریکی بذر EC	-0.74**	-0.68**	-0.73**	0.79**	-0.74**	-0.79**	-0.52**	-0.67**	1

**: معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد

**: significant at P<0.01

جدول ۶. درصد تغییرات صفات ناشی از تنش گرمای انتهای فصل و کاربرد روی و بور بر صفات بررسی شده بذر و گیاهچه گندم

Table 6. Percentage of the changes in the traits due to heat stress, and zinc and boron applications in seed and seeding of wheat

	درصد ظهور گیاهچه Seedling emergence percentage	سرعت ظهور گیاهچه Seedling emergence rate	زمان تا ۹۰ درصد ظهور D90	یکنواختی ظهور گیاهچه GU	طول ریشه Root length	تعداد ریشه Number of root	وزن خشک ریشه Root DW	وزن خشک اندام هوایی Shoot DW	هدایت الکتریکی بذر EC	میزان کلروفیل Chlorophyll content
درصد تغییر ناشی از تنش گرمای انتهای فصل Change (%) due to late-season heat stress	-21.6	-22.5	12.2	23.6	-10.8	-21.1	-18.6	-13.7	19.2	-11.5
درصد تغییر ناشی از کاربرد روی Change (%) due to zinc application	21.1	56.4	-12.7	-33.0	13.1	19.2	32.6	33.4	-31.2	19.7
درصد تغییر ناشی از کاربرد بور Change (%) due to boron application	23.3	41.9	-14.4	-28.9	17.4	11.1	21.1	28.2	-24.4	15.0
درصد تغییر ناشی از فرسودگی بذر Change (%) due to seed deterioration	-17.9	-23.4	9.4	26.5	-10.3	-17.7	-23.9	-23.3	17.3	-10.2

تغذیه گیاه با روی می‌تواند اثرات مضر تنش گرما در گندم بر رشد دانه و کارکرد کلروپلاست را کاهش دهد (پک و مکدونالد، ۲۰۱۰) لذا ممکن است محلول پاشی روی توانسته باشد از این طریق بر کیفیت بذر اثر گذاشته و به تبع آن سرعت ظهور گیاهچه افزایش یافته باشد. استفاده از بور سبب افزایش معنی دار عملکرد بذر و جوانه زنی می‌شود. در یونجه تأثیر بور بطور عمده بواسطه افزایش تعداد غلاف در گل آذین و وزن بذرها بود. سطح ضروری بور برای تولید علوفه کمتر از میزان مورد نیاز برای تولید بذر است. میزان ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول پاشی این عنصر اثرات مثبتی بر تولید بذر و کیفیت یونجه داشته است (دورداس[1]، ۲۰۰۶). در آزمایش بنی‌عباس شهری[2] و همکاران (۲۰۱۲) روی آفتابگردان نیز تیمارهایی که سولفات روی بیشتری دریافت کرده بودند از محتوای نسبی آب برگ بالاتری برخوردار بودند. بور با افزایش تجمع پرولین در برگ یک مکانیزم سریع برای حفاظت سلولی و تورژسانس بافت‌ها در پاسخ به تنش ایجاد می‌کند (معینیان[3] و همکاران، ۲۰۱۱). بور همچنین در بسیاری از فرایندها در طول رشد گیاه مانند طویل شدن سلول، تقسیم سلولی، بیوسنتز دیواره سلولی، فعالیت غشاء و فرایندهای غشایی، متابولیسم نیتروژن، فتوسنتز برگ و سنتز اوراسیل دخالت دارد (ژائو[4] و همکاران، ۲۰۱۱). افت درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین افزایش حساسیت گیاه گندم به تنش انتهای فصل می‌تواند به علت کاهش یکپارچگی غشای پلاسمایی، تغییر ساختمان مولکولی اسیدهای نوکلئیک و کاهش فعالیت آنزیم‌ها باشد که در زمان فرسودگی بذر ایجاد می‌شوند؛ که با نتایج قاسمی گلعذانی و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد.

روز تا ۹۰ درصد ظهورگیاهچه: اثرات اصلی تیمارهای تنش گرمای انتهای فصل، عناصر ریزمغذی و فرسودگی بذر، برهم‌کنش تنش گرمای انتهای فصل و عنصر ریزمغذی بر این صفت در سطح یک درصد و همچنین برهمکنش تنش گرما و فرسودگی بذر بر این صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). تنش گرما و فرسودگی بذر به ترتیب سبب افزایش ۱۲ و ۹/۴ درصدی زمان تا ۹۰ درصد ظهور گیاهچه شدند در حالیکه محلول‌پاشی روی و بور به ترتیب ۱۲/۸ و ۱۴/۵ درصد آن را کاهش دادند (جدول ۶). مقایسات میانگین دوجانبه تنش گرما در تغذیه نشان داد در صورت عدم تغذیه گیاه مادری با روی و یا بور، تنش گرمای انتهای فصل به‌طور معنی‌داری روز تا ۹۰ درصد ظهور گیاهچه

[1] Dordas
[2] Baniabbass Shahri
[3] Moeinian
[4] Zhao

را افزایش داد (جدول ۳). تفاوت روی با بور از نظر اثر بر روز تا ۹۰ درصد ظهور گیاهچه، معنی‌دار نبود (جدول ۳). بررسی اثر دوجانبه تنش گرما و فرسودگی بذر نشان داد که بذرهای تولید شده در شرایط تنش گرما به فرسودگی حساس‌تر بوده و بیشترین زمان تا ۹۰ درصد ظهور گیاهچه را داشتند (شکل D۱).

افزایش توان گیاه در اثر مصرف روی می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله افزایش بیوسنتز اکسین، افزایش بیوسنتز کلروفیل، بهبود عملکرد فتوسیستم‌ها، افزایش فعالیت فسفوانوال پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و افزایش جذب نیتروژن و فسفر رخ دهد. تمامی عوامل مذکور در افزایش شاخص‌های رشد مؤثر است و می‌توانند سبب بهبود کیفیت بذر شوند. همچنین بواسطه نقش مهمی که هر دو عنصر روی و بور در متابولیسم سلول دارند (آراویند و پراسد، ۲۰۰۴؛ مارشنر، ۱۹۹۵)، محلول‌پاشی روی و بور توانسته به افزایش کیفیت بذر کمک نماید و آن را در برابر فرسودگی مقاوم نماید.

طول ریشه: اثر تنش گرمای انتهای فصل، عناصر ریزمغذی، فرسودگی بذر و برهمکنش تنش گرما با فرسودگی بذر بر طول ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). گرمای انتهای فصل طی نمو بذر سبب کاهش ۱۰/۸ درصدی طول ریشه گیاهچه حاصل از این بذرها شد (جدول ۶). استفاده از روی و بور بر گیاه مادری به ترتیب سبب افزایش ۱۳ و ۱۷/۴ درصدی طول ریشه گیاهچه (جدول ۲ و ۶). تفاوت روی و بور از این نظر معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش گرما در فرسودگی بذر نشان داد که بذرهای تولید شده در شرایط گرما به فرسودگی حساس‌تر بوده و طول ریشه گیاهچه حاصل از آنها به‌طور معنی‌داری نسبت به بذرهای تولید شده در شرایط عدم گرما کمتر بود (شکل E۱). طول ریشه با زمان تا ۹۰ درصد ظهور گیاهچه و هدایت الکتریکی همبستگی منفی و با سایر صفات مورد بررسی همبستگی مثبت داشت (جدول ۵).

تنش‌های محیطی طی نمو بذر با اثرات منفی که بر گیاه مادری می‌گذارند بطور طبیعی رشد و نمو بذر را نیز متأثر خواهند کرد. علاوه بر این، رشد بذر خود مشتمل بر فرایندهای مختلف متابولیکی است و تحت تأثیر تنش‌ها بویژه گرما قرار خواهد گرفت. گزارش شده است که تنش گرما طی نمو بذر گندم سبب خسارت به ساختار میتوکندری در بذرهای تولیدی می‌شود (گراس و بوریس، ۱۹۹۵b). اختلالات غشایی از دلایل اصلی فرسودگی بذر است که در نتیجه آن سلول‌های بذر توانایی نگهداری موقعیت و وظیفه طبیعی‌شان را نخواهند داشت. عامل اصلی این اختلالات افزایش سطح اسیدهای چرب آزاد و تولید رادیکال‌های آزاد از طریق پراکسیداسیون لیپیدها می‌باشد. هنگامی که فرسودگی بذر افزایش می‌یابد غشای سلولی نفوذپذیری خود را از دست داده و به متابولیت‌های سیتوپلاسمی اجازه ورود به درون فضای بین سلولی را می‌دهد. تخریب غشا هم از طریق هیدرولیز فسفولیپیدها توسط فسفولیپاز و هم به‌وسیله اکسیداسیون فسفولیپیدها اتفاق می‌افتد (ال-مسکری[1] و همکاران، ۲۰۰۴).

کاربرد روی به‌صورت محلول‌پاشی و خاک کاربرد در گندم تحت تنش خشکی می‌تواند از طریق بهبود سیستم آنتی اکسیدانت و کاهش لیپیدپراکسیداسیون سبب کاهش اثر تنش بر فتوسنتز شود. روی می‌تواند سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانتی را در سطح نسخه برداری ژنتیکی در پاسخ به خشکی تنظیم کند. همچنین کود روی میزان عنصر روی دانه را نیز افزایش می‌دهد (ما[2] و همکاران، ۲۰۱۷). در گیاه خردل وزن هزاردانه با کاربرد کود بور افزایش پیدا کرد (ورما[3] و همکاران، ۲۰۱۲) و در گندم مصرف دو کیلوگرم کود بور در هکتار سبب افزایش وزن هزاردانه و افزایش بنیه گیاهچه حاصل از بذر تولیدی شد اما بر درصد جوانه‌زنی تاثیری نداشت (محمود[4] و همکاران، ۲۰۱۴).

تعداد ریشه : اثر تنش گرمای انتهای فصل، محلول پاشی عناصر ریزمغذی و فرسودگی بذر بر تعداد ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش گرما و فرسودگی بذر به ترتیب سبب کاهش ۲۱/۲ و ۱۷/۷ درصدی تعداد ریشه شدند (جدول ۶).

در مقابل، کاربرد عناصر ریزمغذی روی و بور سبب افزایش معنی‌دار تعداد ریشه شدند (جدول ۲) که در این

[1] Al-Maskri
[2] Ma
[3] Verma
[4] Muhmood

میان نقش روی بیشتر بود (جدول ۶). تعداد ریشه بیشترین همبستگی مثبت را با میزان کلروفیل داشت البته با هدایت الکتریکی و زمان تا ۹۰ درصد ظهور گیاهچه همبستگی منفی داشت (جدول ۵).

نظر به اهمیت تعداد ریشه در افزایش سطح تماس ریشه با خاک و بنابراین افزایش توان جذب آب و عناصر (بوون و رویرا[1]، ۱۹۷۱)، ممکن است بذرهایی که گیاه مادری آنها با روی و بور تغذیه شده است از این منظر نیز کیفیت مطلوب‌تری داشته باشند. بهبود کیفت بذر از این جنبه نیز به نقش مهم این دو عنصر در متابولیسم و همچنین نقش ویژه روی در بهبود دفاع آنتی اکسیدانتی گیاه می‌تواند مرتبط باشد. به نحوی که گیاه مادری در شرایط نرمال و تنش بواسطه کاربرد این دو ریزمغذی وضعیت بهتری داشته و به لحاظ تأمین اسمیلات و خنثی‌سازی اثر تنش گرما (پک و مکدونالد، ۲۰۱۰) موفق بوده است. لذا با توجه به اینکه میزان روی موجود در بذرهای حاصل از گیاهان تیمار شده با روی می‌تواند بیشتر باشد (ما و همکاران، ۲۰۱۷) به‌واسطه نقش روی در افزایش اکسین (مارشنر، ۱۹۹۵) سبب افزایش تعداد ریشه‌ها شده است.

وزن خشک ریشه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن خشک ریشه تحت تأثیر تیمارهای تنش گرمای انتهای فصل، عناصر ریزمغذی و فرسودگی بذر در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۱). همچنین برهمکنش دوگانه تغذیه و فرسودگی بذر و سه گانه تنش گرما×تغذیه×فرسودگی نیز بر این صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). تنش گرما در مرحله نمو بذر سبب کاهش ۱۸/۶۸ درصدی وزن خشک ریشه شد (جدول ۶). روی و بور هردو سبب بهبود وزن خشک ریشه شدند اما روی نسبت به بور در این خصوص موثرتر بود (جدول ۶). بررسی اثر سه گانه نشان داد که تیمار عدم تنش گرمای انتهای فصل+کاربرد روی+ بدون اعمال فرسودگی بذر، بیشترین وزن خشک ریشه را داشت و تیمار تنش گرمای انتهای فصل+عدم کاربرد عناصر ریزمغذی+ اعمال فرسودگی بذر کمترین وزن خشک ریشه را داشت (جدول ۴).

محلول‌پاشی عناصر کم مصرف باعث بهبود رشد گیاه می‌شوند که این احتمالاً به دلیل بهبود جذب کربن، افزایش سنتز متابولیت‌ها و حفظ و نگهداری وضعیت آب در بافت‌های گیاه است (صادقی‌پور و آقایی[2]، ۲۰۱۲). به نظر می‌رسد بذرهایی که در شرایط بدون تنش و همچنین محلول پاشی روی و بور تولید شدند علاوه بر کیفیت بهتر، محتوی این عناصر نیز در آنها بیشتر باشد و لذا در رشد گیاهچه مورد استفاده قرار گرفته و در بهبود رشد ریشه تأثیر گذار بوده‌اند. حیدریان[3] و همکاران (۲۰۱۱) با محلول پاشی عناصر کم مصرف آهن و روی اظهار نمودند که وزن دانه سویا به طور معنی‌داری افزایش یافت. ایشان گزارش نمودند که عناصر کم مصرف باعث افزایش سطح برگ و دوام آن می‌شوند، در نتیجه مقدار بیشتری آسیمیلات تولید می‌کنند و دانه‌ها که مخزن اصلی آسیمیلات‌ها هستند با جذب آنها افزایش وزن می‌یابند. گزارش شده است که در گندم گیاهچه حاصل از بذرهای بزرگتر علاوه بر شاخص‌های متعدد جوانه‌زنی، وزن خشک ریشه نیز بیشتر است (فروزی[4] و همکاران، ۲۰۱۵).

وزن خشک بخش هوایی گیاهچه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش گرمای انتهای فصل، عناصر ریزمغذی و فرسودگی بذر در سطح یک درصد و اثرات دوگانه این عوامل در سطح پنج درصد بر وزن خشک بخش هوایی گیاهچه معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش گرما و فرسودگی بذر به ترتیب ۱۸/۷ و ۲۳/۹ درصد وزن خشک بخش هوایی را کاهش دادند در حالی‌که محلول پاشی روی و بور به ترتیب ۳۲/۶ و ۲۱/۱ درصد آن را افزایش دادند (جدول ۶). بررسی اثر دوگانه تنش گرما و تغذیه نشان داد که کاربرد روی و بور در شرایط بدون تنش گرما تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک بخش هوایی گیاهچه نداشت اما در شرایط تنش گرما هم روی و هم بور سبب افزایش معنی‌دار این صفت شدند اما تفاوت معنی‌داری بین روی و بور وجود نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش گرما و فرسودگی نشان داد که بذرهای تولید شده در شرایط گرما به فرسودگی حساس‌تر بوده و لذا کاهش معنی‌داری در وزن خشک

[1] Bowen and Rovira

[2] Sadeghipour and Aghaei
[3] Heidarian
[4] Forouzi

بخش هوایی نشان دادند (شکل F1). این نتیجه با گزارش گراس و بوریس (۱۹۹۵a) همخوانی دارد. آن‌ها دلیل این موضوع را تغییرات ساختاری و کارکردی میتوکندری ذکر کرده‌اند که در نهایت سبب کاهش تولید ادنوزین تری فسفات[1] شده است. بررسی اثر دوگانه تغذیه در فرسودگی نشان داد بذرهایی که گیاه مادری آنها با روی و یا بور تغذیه نشده بود در برابر فرسودگی ضعیف بوده و لذا گیاهچه حاصل از بذر فرسوده آنها کاهش معنی‌داری در وزن خشک بخش هوایی نشان داد (شکل C2). میزان رشد گیاهچه یکی از آزمون‌های پیشنهاد شده برای ارزیابی کیفیت بذر است (ایسلی[2]، ۱۹۵۷) بنابراین با توجه به همبستگی مثبت این صفت با سایر صفاتی چون میزان کلروفیل، طول ریشه و تعداد انشعابات آن، درصد و سرعت ظهور گیاهچه و همبستگی منفی با هدایت الکتریکی، می‌توان آزمون هدایت الکتریکی را از این منظر نیز مورد تاکید قرار داد. از آنجا که همین تیمارها اثر مثبتی بر میزان کلروفیل، طول ریشه و انشعابات ریشه نیز داشتند چنین نتیجه‌ای برای وزن خشک بخش هوایی نیز قابل انتظار است. توسعه بیشتر ریشه، افزایش توان جذب آب و عناصر غذایی بیشتر از حجم وسیع‌تری از خاک را امکان پذیر می‌سازد. بامری[3] و همکاران (۲۰۱۲) با کاربرد عناصر آهن، روی و منگنز در گیاه گندم نشان دادند که تعداد پنجه در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت با کاربرد این عناصر به طور معنی‌داری افزایش یافتند.

میزان کلروفیل: اثر تنش گرمای انتهای فصل، محلول پاشی عناصر ریزمغذی و فرسودگی بذر بر میزان کلروفیل در سطح یک درصد و اثر دوگانه گرما و فرسودگی بذر بر این صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). تنش گرما و فرسودگی بذر به ترتیب ۱۱/۶ و ۱۰/۲ درصد کلروفیل را کاهش دادند. محلول پاشی روی و بور بر گیاه مادری به‌طور معنی‌داری میزان کلروفیل گیاهچه را افزایش دادند (جدول ۲) این افزایش برای روی و بور به ترتیب ۱۹/۸ و ۱۵ درصد بود (جدول ۶). بررسی اثر دوگانه گرما و فرسودگی بذر نشان داد بذرهای تولید شده در شرایط گرما به فرسودگی حساس‌تر بوده و میزان کلروفیل در گیاهچه حاصل از آنها بطور معنی‌داری در اثر فرسودگی بذر کاهش یافت. درحالیکه در بذرهای تولید شده در شرایط عدم تنش گرما، کاهش کلروفیل ناشی از فرسودگی بذر معنی‌دار نبود (شکل G1).

تنش گرما سبب تسریع پیری برگ، تجزیه کلروفیل می‌شود (اختر و اسلام، ۲۰۱۷). تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، افزایش تجمع پرولین (کومار و همکاران ۲۰۱۲)، افزایش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش شاخص پایداری غشای سلول (مولاسیوتیس[4] و همکاران، ۲۰۰۶) می‌شود. این رادیکال‌های آزاد سبب تجزیه کلروفیل می‌شوند که با کاهش شاخص کلروفیل تغییرات زیادی در مقدار تولید گیاهان بوجود می‌آید (صادقی‌پور و آقایی، ۲۰۱۲). لذا بذری که در شرایط تنش گرما نمو می‌یابد به لحاظ بنیه ضعیف است (گراس و بوریس، a ۱۹۹۵) و این ضعف می‌تواند سبب کاهش کلروفیل گیاهچه می‌شود. قاسمی گلعذانی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که با افزایش قدرت بذر میزان کلروفیل در گیاهچه‌های تولید شده افزایش می‌یابد.

تغذیه با روی می‌تواند اثرات مضر دوره‌های کوتاه تنش گرما بر کارکرد کلروپلاست را در گندم کاهش دهد (پک و مکدونالد، ۲۰۱۰). با توجه به نقش کلیدی کلروپلاست و کلروفیل در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک، ممکن است محلول‌پاشی روی از طریق حفظ راندمان سیستم فتوسنتزی در نهایت منجر به تولید بذرهای قوی‌تری شده است و لذا گیاهچه حاصل از این بذرها کلروفیل بیشتری را تولید کرده است.

نتیجه‌گیری

تنش گرمای انتهای فصل به دلیل منطبق بودن بر مرحله زایشی و به‌ویژه اثر بر پرشدن بذر، سبب کاهش کیفیت بذر و در نتیجه گیاهچه حاصل از آن شد. بذرهایی که در شرایط گرما تولید شده بودند به تیمار

[1] ATP
[2] Isely
[3] Bameri
[4] Molassiotis

زوال مصنوعی حساس‌تر بودند و نتیجه آن در صفاتی چون سلامت غشا، درصد و سرعت ظهور گیاهچه، زمان تا ۹۰ درصد ظهور، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و میزان کلروفیل بخوبی نمایان بود. این موضوع ریشه در اثرات منفی گرما طی مرحله زایشی بر کیفیت بذر دارد. کاربرد عناصر ریزمغذی روی و بور در بسیاری موارد سبب بهبود کیفیت بذر شدند و نقش آنها در تخفیف اثرات منفی تنش گرما بر کیفیت بذر به‌خوبی مشاهده شد. در این میان نقش روی پررنگ‌تر از بور بود. با توجه به همبستگی منفی بالا میان نشت مواد از بذر (هدایت الکتریکی) و صفات مرتبط با کیفیت گیاهچه، توصیه می‌شود از آزمون هدایت الکتریکی به‌عنوان یک آزمون تکمیلی (علاوه بر آزمون جوانه‌زنی) برای تعیین کیفیت بذرها بویژه آن‌هایی که در مناطق تحت تنش تولید شده‌اند استفاده شود. اگرچه آزمونهای متعدد دیگری در بحث بنیه بذر مطرح هستند اما علت تاکید بر روی آزمون هدایت الکتریکی در اینجا سهولت در انجام، پرتابل بودن دستگاه مورد استفاده و ارزان بودن این روش می‌باشد.

منابع

Abdoli, M., Esfandiari, E. Mousavi, B., Sadeghzadeh, B. and Saeidi, M. 2016. The effect of seed zinc internal content and foliar application of zinc sulfate on yield and storage compositions of wheat grain. Crop Physiology Journal, 7(28): 91-106.

Agrawal, R.L. 2004. Seed technology. Oxford and IH publishing Co. LTD. New Delhi. 13: 104-106.

Akter, N. and Islam, M. R. 2017. Heat stress effects and management in wheat. A Review. Agronomy for Sustainable Development, 37(5): 1-17. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0443-9

Alloway, B.J. 2004. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association Communications. Brussels: IZA Publications.

Al-Maskri, A.Y., Khan, M.M., Javed Iqbal, M. and Abbas, M. 2004. Germinability, vigour and electrical conductivity changes in acceleratedly aged watermelon (*Citrullus lanatus* T.) seeds. Journal of Food, Agriculture and Environment, 2(3): 100-103.

Aravind, P. and Prasad M.N.V. 2004. Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L., a fresh water macrophyte. Plant Science, 166(5): 1321-1327. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.01.011

Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23:112-121.

Asad, A., Blamey, F.P.C. and Edwards, D.G. 2003. Effects of boron foliar applications on vegetative and reproductive growth of sunflower. Annals of Botany, 92: 565-570. https://doi.org/10.1093/aob/mcg179

Bameri, M., Abdolshahi, R., Mohammadi-Nejad, G., Yousefi, K. and Tabatabaie, M. 2012. Effect of different microelement treatment on wheat (*Triticum aestivum*) growth and yield. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3(1): 219-223.

Baniabbass Shahri, Z., Zamani, G. and Sayyari, M. 2012. Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Advances in Environmental Biology, 6: 518-525. [In Persian with English Summary].

Basra, S.M.A., Ahmad, N., Khan, M.M., Iqbal, N. and Cheema, M.A. 2003. Assessment of cottonseed deterioration during accelerated aging. Seed Science and Technology, 31: 531-540. https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.02

Bowen G.D. and Rovira A.D. 1971. Relationship between morphology and nutrient uptake. Pp. 293-303. In: R.M. SAMISH, (ed.) Recent advances in plant nutrition. Proceedings 6th

International Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems, Vol. 1. Gordon and Breach Science, London.

Delouche J.C. and Baskin, C.C. 1973. Accelerated ageing technique for predicting relative storability of seed lots. Seed Science and Technology, 1: 427-52.

Dias A.S. and Lidon F.C. 2009. Evaluation of grain filling rate and duration in bread and durum wheat under heat stress after anthesis. Journal of Agronomy Crop Science, 195(2): 137-147. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00347.x

Dordas, C. 2006. Foliar boron application improves seed set, seed yield, and seed quality of alfalfa. Agronomy Journal, 98(4): 907-913. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0353

FAO. 2020. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

Farooq M., Bramley H., Palta J.A. and Siddique K.H.M. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. Critical Reviews in Plant Sciences, 30: 491-507. https://doi.org/10.1080/07352689.2011.615687

Forouzi, M., Ehteshami, S.M.R., Esfahani, M. and Rabiee, M. 2015. Effect of seed size on emergence rate, germination indices, seedling growth and yield of four bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Cereal Research, 5(1):67-82.

Ghaderi Far, F. and Soltani, A. 2010. Seed control and certification, Mashhad University, 139p. [In Persian].

Ghassemi-Golezani, K., Bakhshy, J., Raey, Y. and Hossinzadeh-Mahootchy, A. 2010. Seed vigor and field performance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. Notulae Botanicae Horti Agrobotanci Cluj-Napoca, 3: 146-150.

Ghassemi-Golezani, K., Khomari, S., Valizadeh, M. and Alyari, H. 2008. Effect of seed vigour and the duration of cold acclimation on freezing tolerance of winter oilseed rape. Seed Science and Technology, 36(3): 767-775. https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.3.26

Ghofran Maghsud, S., Mobasser H.R. and Fanaei H.R. 2014. Effect of foliar application and time foliar application microelements (Zn, Fe, Mn) on safflower. Journal of Novel Applied Sciences, 3(4): 396- 399.

Grass, L. and Burris, J.S. 1995a. Effect of heat stress during seed development and maturation on wheat (*Triticum durum*) seed quality. I. Seed germination and seedling vigor. Canadian Journal of Plant Science, 75(4): 821-829. https://doi.org/10.4141/cjps95-138

Grass, L. and Burris, J.S. 1995b. Effect of heat stress during seed development and maturation on wheat (*Triticum durum* L.) seed quality. II. Mitochondrial respiration and nucleotide pools during early germination. Canadian Journal of Plant Science, 75(4): 831-839. https://doi.org/10.4141/cjps95-139

Hafeez, B., Khanif, Y.M. and Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition-A review. American Journal of Experimental Agriculture, 3(2): 374-391. https://doi.org/10.9734/AJEA/2013/2746

Heidarian, A.R., Kord, H., Mostafavi, Kh., Lak, P. and Amini Mashhadi F. 2011. Investigating Fe and Zn foliar application on yield and its components of soybean (*Glycine max* L.) at different growth stages. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development, 3(9): 189-197.

Isely, D. 1957. Vigor tests. In Proceedings of Association of Official Seed Analysts, 47: 176-182.

Kamaei, H., Eisvand, H.R. and Nazarian, F. 2018 a. Effects of planting date, biofertilizer containing phosphate solubilizing bacteria and foliar application of zinc and boron on physiological and agronomic traits of bread wheat (Aflak cultivar). Iranian Journal of Agricultural Research, 16(1): 165-179. [In Persian with English Summary].

Kamaei, H., Eisvand, H.R., Daneshvar, M., Nazarian-Firouzabadi, F. 2018 b. The study effect of potassium, zinc and boron foliar application on canopy temperature, physiological traits and yield of two bread wheat cultivars under optimum and late planting dates. Journal of Crop Production, 10(4): 187-203. [In Persian with English Summary].

Kumar, R., Goswami, S., Sharma, S.K., Singh, K., Gadpayle, K.A., and Kumar, N. 2012. Protection against heat stress in wheat involves change in cell membrane stability, antioxidant enzyme, osmolyte, H_2O_2 and transcript of heat shock protein. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry, 4(4): 83-91. https://doi.org/10.5897/IJPPB12.008

Lizana X.C. and Calderini D.F. 2013. Yield and grain quality of wheat in response to increased temperatures at key periods for grain number and grain weight determination: considerations for the climatic change scenarios of Chile. Journal of Agricultural Science, 151(2): 209-221. https://doi.org/10.1017/S0021859612000639

Ma D., Sun, D., Wang, C., Ding, H. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. Frontiers in Plant Science, 8: 860-860. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00860

Malacotti, M.J. 2005. Sustainable agriculture and increasing yield by optimizing fertilizer consumption in Iran. Agricultural Research Organization. Senate Publications, Tehran, Iran. 200p.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. (2rd ed.). Academic Press, London, 889p.

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 Journal of Agricultural and Environmental Science, 10(4): 593-599.

Mohammadi, M. 2012. Effects of kernel weight and source limitation on wheat grain yield under heat stress. African Journal of Biotechnology, 11(12): 2931-2937. https://doi.org/10.5897/AJB11.2698

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). Environmental and Experimental Botany, 56(1): 54-62. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.01.002

Moori, S. and Eisvand, H. R. 2019. The effect of priming with salicylic acid and ascorbic acid on germination indices and biochemical traits in wheat seed deterioration. Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 6(3): 381-398. [In Persian with English Summary].

Movahhedi dehnavi, M., Modarres-Sanavi, S.A.M. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Industrial Crops and Products, 30: 82-92. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.02.004

Muhmood, A., Javid, S., Niaz, A., Majeed, A., Majeed, T. and Anwar, M. 2014. Effect of boron on seed germination, seedling vigor and wheat yield. Soil and Environment, 33(1): 17-22.

Peck, A.W. and McDonald, G.K. 2010. Adequate zinc nutrition alleviates the adverse effects of heat stress in bread wheat. Plant and Soil, 337: 355-374. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0532-x

Perica, S., Brown, P.H., Connell, J.H., Nyomora, A.M.S., Dordas, C., Hu, H., and Stangoulis, J.C. 2001. Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. HortScience, 36: 714-716. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.4.714

Radmehr, M. 1997. Effect of heat stress on physiology of growth and development of wheat. Ferdowsi University Press. 201p. [In Persian].

Ravi, S., Channal, H.T., Hebsur, N.S., Patil B.N. and Dharmatti, P.R. 2008. Effect of sulphur, Zinc and Iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L). Karnataka Journal of Agricultural Sciences, 21(3): 382-385.

Rerkasem, B. and Loneragan, J.F. 1994. Boron deficiency in two wheat genotypes in a warm, subtropical region. Agronomy Journal, 86(5): 887-890. https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600050024x

Sadeghipour, O. and Aghaei, P. 2012. Response of common bean to exogenous application of salicylic acid under water stress conditions. Advances in Environmental Biology, 6(3): 1160-1168.

Sajedi, N. and Regali, F. 2012. Effect of drought stress, zinc application and mycorrhizal inoculation on uptake of micronutrients in maize. Journal of Soil Research (Formerly Soil and Water Sciences), 25(2): 83-92.

SAS Institute Inc. 2011. Base SAS® 9.3 Procedures Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K. H., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R.K., HanumanthaRao, B., Nair, R. M., Prasad, P.V.V., and Nayyar, H. 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. Frontier in Plant Science, 9: 1705-1705. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01705

Shahi, A., Abdolrahmani, B., Mohebalipour, N. and Valizadeh, Gh. 2013. Effect of nitrogen fertilizer on germination, seed vigor and seedling establishment in wheat plants of Azar-2 cultivar under rainfed conditions in laboratory. Quarterly Journal of Plant Production Sciences, 2(2): 25-30.

Shirani Rad, A. H. 2003. Crop Physiology. Dibagarn Press, Tehran. 360p. [In Persian with English Summary].

Shireen, F., Nawaz, M.A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y. and Bie, Z. 2018. Boron: Functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. International Journal of Molecular Sciences, 19(7): 1856-1856. https://doi.org/10.3390/ijms19071856

Soltani, A. and Maddah, V. 2010. Simple, applied programs for education and research in agronomy. Niak Press, Tehran, 33p. [In Persian].

Verma, C.K, Prasad, K. and Yadav, D. 2012. Studies on response of sulphur, zinc and boron levels on yield, economics and nutrients uptake of mustard (Brassica napus (L.) Czernj & Cosson). Crop Research, 44(1-2): 75-78.

Zhao, A.Q., Bao, Q.L., Tian, X.H., Lu. X.C. and William, J.G. 2011. Combined effect of iron and zinc on micronutrient levels in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Environmental Biology, 32(2): 235-239.

Iranian Journal of Seed Research, 2022, 8(2): 1-19

Research Article

Effect of Zinc and Boron Application on Wheat Mother Plant under Heat Stress on Cell Membrane Integrity of the Produced Seed and Physiological Quality of Seedling

Behzad Nouri Feli [1], Hamid Reza Eisvand [2 *], Naser Akbari [2], Dariush Goodarzi [4]

Extended Abstract

Introduction: Providing important and effective elements such as zinc and boron- especially in areas where the soil for some reason cannot meet the needs of the plant- will be a good solution to improve seed and seedling quality and nutrition, and community health status. A considerable part of the wheat producing regions in the country are faced with late season haet during seed development stages. Thus, the present study will investigate the effect of heat stress and mother plant nutrition with zinc and boron micronutrients on seed deterioration and physiological quality of wheat seedlings.

Material and Methods: In a field experiment, wheat seeds were planted on two suitable planting dates (November 20) and late (January 5) to apply late-season heat stress during the seed development stage with three replications in Ramhormoz, Iran. The nutrition of mother plants with zinc and boron elements was done at three levels (nutrient-free and application of zinc and boron) as a foliar application. After harvest, the seeds were transferred to the laboratory and membrane integrity of seed cells was investigated using an electrical conductivity test as an indicator of deterioration. Another part of the seeds was planted in a factorial pot experiment based on RCBD with three replications to evaluate the quality of seeds and seedlings in the greenhouse.

Results: The results showed that exposure of seeds to heat stress during development reduced seed quality as well as seedlings so that the cell membrane in the seeds produced under heat stress conditions was damaged and their electrical conductivity increased by 19%. Also, these seeds showed more sensitivity to deterioration. The percentage of seedling emergence in the stressed seeds decreased by 21.66%. Heat stress also reduced seedling quality indices such as chlorophyll content, shoot dry weight, and root dry weight. Application of zinc and boron on the mother plant not only led to improved quality of seeds and seedlings under normal conditions but also the negative effects of heat stress on seed and seedling quality were reduced. There was a significant negative correlation between the seed electrical conductivity test and qualitative parameters. Therefore, the use of this test is recommended to determine the quality of seeds, especially seeds produced under late-season heat stress conditions.

Conclusion: Noting the negative effect of heat during seed development on seed quality, planting dates should be adjusted as much as possible so that the seed development stage does not coincide with the late-season heat stress. Due to the beneficial effects of using zinc and boron in the mother plant on many traits related to the quality of seeds and seedlings, their application- especially zinc- in soils with deficiency or the possibility of heat stress at the end of the season is recommended.

Keywords: Plant nutrition, Stress, Seed development, Seed deterioration, Vigor

Highlights:

1- Zinc and boron micronutrients were used to mitigate the harmful effects of heat stress on seed quality.
2- Physiological characteristics of seedlings obtained from seeds produced in the field under late-season heat stress conditions were investigated.

[1] MSc. Student of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Lorestan University, Lorestan, Iran
[2] Associate and Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Lorestan University, Lorestan, Iran
[3] Scientific Member, Department of Plant Production and Genetics, Lorestan University, Lorestan, Iran

* Corresponding author, E-mail: eisvand.hr@lu.ac.ir

(Received: 05.20.2020; Accepted: 09.19.2020)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1400.8.2.4.0

DOI: 10.52547/yujs.8.2.1