نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال سیزدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۷ تا ۳۲

اثر مقادیر مختلف نیتروژن و روی بر صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و محتوای پروتئین دانه گندم در شرایط تنش گرمای انتهای فصل رشد

سید نادر موسویان[1*]، حمداله اسکندری[2] و کامیار کاظمی[1]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۹)

چکیده

تنش گرما در طول دوره پر شدن دانه می‌تواند به کاهش عملکرد دانه گندم منجر شود. بر این اساس، به‌منظور بررسی اثر احتمالی مصرف کود نیتروژن و روی بر کاهش اثرات تنش گرما بر صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و محتوای پروتئین دانه گندم رقم چمران، آزمایشی در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در پاییز سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سه تاریخ کاشت اول آذر، بیستم آذر و دهم دی در کرت‌های اصلی، چهار مقدار نیتروژن (صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره) در کرت‌های فرعی و سه مقدار روی (صفر، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار روی از منبع سولفات روی) در کرت‌های فرعی فرعی بودند. نتایج نشان داد که تأخیر در کاشت (از اول آذر)، منجر به کاهش معنی‌دار ($P\leq0.01$) پروتئین دانه، شاخص سبزینگی برگ، شاخص پایداری غشای سلول، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت شد. مصرف نیتروژن باعث کاهش اثرات تنش گرما بر عملکرد دانه گندم شد به‌طوری که با مصرف ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در کشت بیستم آذر و دهم دی، عملکرد دانه گندم به‌ترتیب ۴۳، ۵۹ و ۶۴، ۵۰، ۷۰ و ۵۵ درصد در مقایسه عدم استفاده از کود نیتروژن بهبود یافت. همچنین مصرف روی باعث کاهش اثرات تنش گرما بر عملکرد دانه گندم شد به‌طوری که با مصرف ۱۰ و۲۰ کیلوگرم روی در هکتار در کشت دیرهنگام و خیلی دیر هنگام، عملکرد دانه گندم به‌ترتیب ۵، ۶، ۳۵ و ۴۰ درصد در مقایسه عدم استفاده از کود روی بهبود یافت. مصرف روی نیز اثرات تنش گرما بر عملکرد دانه گندم را از طریق افزایش وزن دانه کاهش داد و باعث افزایش وزن دانه به میزان ۲۴ درصد شد. شاخص برداشت گندم تحت تأثیر تنش گرما حدود ۱۸ درصد کاهش یافت. به‌طورکلی، در صورت تاخیر در کاشت، استفاده از عناصر غذایی روی (حداقل به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار) و نیتروژن (حداقل به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) می‌تواند اثرات زیانبار ناشی از تنش گرمای انتهای فصل را در شرایط آب و هوای اهواز کاهش داده و موجب بهبود صفات فیزیولوژیک (سبزینگی و پایداری غشای سلول)، زراعی و محتوای پروتئین دانه گندم نان شود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، پروتئین دانه، عملکرد دانه، عناصر کم مصرف

۱. استادیار گروه علمی کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲. دانشیار گروه علمی کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Mosavian@pnu.ac.ir

مقدمه

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی جهان است و نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی جوامع بشری دارد. در خوزستان، گندم رشد زیادی داشته و پتانسیل تولید عملکرد بالایی دارد، اما به‌دلیل افزایش ناگهانی درجه حرارت در ماه‌های اسفند و فروردین و مواجه مراحل گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه با تنش گرمای آخر فصل، عملکرد کمی و کیفی آن به مقدار زیادی کاهش می‌یابد (۲۶). به علاوه، پیش‌بینی می‌شود که به‌دلیل افزایش ۵/۸–۱/۸ درجه سانتی‌گراد دمای زمین در آینده، اثر وقوع تنش گرمایی بر گیاهان بیشتر شده و رشد و تولید را بیش از پیش محدود کند (۱۰). در این مورد پژوهشگران نشان دادند که کاشت گندم در ۲۰ دی ماه (۲۵ روز تاخیر در کاشت)، باعث مواجه شدن گندم با تنش گرمای آخر فصل شده که منجر به کاهش تعداد و وزن دانه و در نهایت افت ۳۴ درصدی عملکرد دانه در منطقه‌ی اهواز می‌شود (۳۰). همچنین گزارش شد که تنش گرما به‌دلیل تحمیل پیری زودرس بر اندام‌های فتوسنتز کننده و کاهش مواد پرورده حاصل از فتوسنتز، باعث کاهش ۴۰ درصدی عملکرد زیستی گندم می‌شود (۶). آسیب به غشای سلولی که با افزایش سیالیت غشای سلولی و نشت الکترولیت‌ها از سلول همراه است و همچنین کاهش محتوای کلروفیلی برگ از اثرات منفی تنش گرما بر دستگاه فتوسنتزی گندم می‌باشد که در نهایت به کاهش عملکرد دانه آن منجر می‌شود (۲۸). با توجه به اینکه دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در مرحله بعد از گرده‌افشانی، برای گندم دمای بحرانی بوده و دماهای بالاتر از آن برای گندم، تنش گرما محسوب می‌شود (۱۹)، ارائه راهکارهای مدیریتی برای کاهش اثرات این تنش محیطی بر عملکرد دانه گندم، ضروری است.

یکی از راهکارهای مدیریتی در کاهش اثرات تنش گرما بر گیاهان زراعی، استفاده موثر از عناصر غذایی است. در این بین، نیتروژن یک عنصر غذایی مهم است که اثر قابل‌توجهی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد و می‌تواند بر کاهش اثرات تنش گرمای آخر فصل بر عملکرد دانه گیاهان زراعی موثر باشد. در این مورد در کلزا مشاهده شد که افزایش مصرف نیتروژن از ۹۰ به ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار می‌تواند با بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک (سبزینگی و سطح برگ) و مورفولوژیک (ارتفاع بوته و تعداد برگ) عملکرد دانه کلزا را در شرایط تاخیر در کاشت (۱۵ روز) که موجب تحمیل تنش گرمای انتهای فصل به گیاه می‌شود، حدود ۱۷ درصد بهبود ببخشد (۷). در ذرت نیز گزارش شد که در شرایط تنش گرما (وقوع دماهای بالای ۳۵ درجه سانتی‌گراد در طول دوره پر شدن دانه) افزایش مصرف نیتروژن از ۱۰۰ به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، با تقلیل اثرات تنش گرما بر ذرت، عملکرد دانه آن را ۳۹ درصد افزایش داد (۳۵).

روی یک عنصر ضروری برای رشد و تولید گیاهان زراعی است چرا که نقش مهمی در ساختار و کارکرد بسیاری از آنزیم‌ها دارد. عنصر روی می‌تواند با محافظت از سلول در برابر گونه‌های فعال اکسیژن، در کاهش اثرات تنش‌های محیطی بر گیاهان زراعی مفید باشد (۳۲). پژوهشگران در یونجه نتیجه گرفتند که محلول‌پاشی ۹۰ میلی‌گرم در لیتر روی قبل از وقوع دماهای بالا، می‌تواند با بهبود پایداری غشای سلولی، مقاومت گیاه در برابر تنش گرمای انتهای فصل را افزایش دهد (۳). در کلم چینی نیز گزارش شد که استفاده از محلول ۰/۸ درصد روی می‌تواند با حفظ پایداری غشای سلولی در برابر اثرات منفی دماهای بالا (۴۰ درجه سانتی‌گراد)، از بروز خسارت بر دستگاه فتوسنتزی جلوگیری کند (۱۳). پژوهشگران، حد بحرانی عنصر روی برای گندم در مزارع آبی را یک میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش دادند (۱۲). به عبارت دیگر، چنانچه غلظت عنصر روی در خاک، کمتر از یک میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، خاک قادر به تامین نیاز گندم به روی نبوده و کمبود روی برای گیاه رخ می‌دهد. بنابراین، تامین میزان مناسب روی برای گندم، برای افزایش مقاومت آن به تنش‌های محیطی، به‌ویژه گرمای انتهای فصل، ضروری به‌نظر می‌رسد.

گندم یک گیاه مهم برای تامین کالری مورد نیاز انسان است. با این حال، برای تامین پروتئین نیز یک منبع مهم به شمار می‌رود، به‌طوری که حدود ۲۰ درصد از نیاز روزانه به پروتئین

از طریق گندم برآورده می‌شود (۳۴). میزان پروتئین دانه گندم تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله تغذیه و دمای محیط قرار می‌گیرد. در یک پژوهش مشاهده شد که بیشترین میزان پروتئین دانه گندم (۵/۵ میلی‌گرم در دانه) با مصرف ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد که ۱۶ و ۲۳ درصد بیشتر از مصرف ۱۲۰ و صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن بود. با این حال، در این آزمایش، مصرف بیش از ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به کاهش پروتئین دانه گندم انجامید به‌طوری که مصرف ۲۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، پروتئین دانه گندم را به ۴/۸ میلی‌گرم در هر دانه کاهش داد (۴). در مزارع گندم آبی، در شرایطی که هیچگونه کمبود نیتروژنی وجود نداشته است، موثرترین عامل بر محتوای پروتئین دانه، دمای هوا در طول دوره پر شدن دانه می‌باشد (۹). در بررسی اثر تنش گرمای آخر فصل بر کیفیت دانه گندم مشخص شد که وقوع دمای تنش گرما (دمای بالاتر از ۳۲ درجه سانتی‌گراد) بعد از مرحله گرده افشانی، باعث افزایش پروتئین دانه گندم از ۱۲ درصد به ۱۴ درصد شد (۱۱).

اگر چه گزارش‌هایی در مورد اثر گرمای آخر فصل بر صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و کیفیت دانه گندم وجود دارد (۲۷). بااین‌حال، اطلاعات کافی در مورد اثر احتمالی برهم‌کنش روی و نیتروژن در کاهش اثرات تنش گرما بر عملکرد دانه گندم در منطقه جنوب غرب ایران وجود ندارد. بر این اساس، در این پژوهش کوشش شده است تا ضمن بررسی اثرات تنش گرمای انتهای فصل بر صفات فیزیولوژیکی، زراعی و محتوای پروتئین دانه گندم نان، راهکار تغذیه‌ای مناسبی برای کاهش اثرات تنش گرمای انتهای فصل و درنتیجه حفظ عملکرد مطلوب گندم در منطقه ارائه شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز در شهر ملاثانی و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۳۴ متر از سطح دریا، اجرا شد. میانگین ماهیانه برخی از شاخص‌های هواشناسی منطقه از زمان کاشت تا برداشت گندم در جدول ۱، زمان وقوع مراحل مختلف رشد در جدول ۲ و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در جدول ۳ ارائه شده است.

آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. عوامل آزمایش شامل تاریخ کاشت (در کرت اصلی)، سطوح نیتروژن (در کرت فرعی) و سطوح روی (در کرت فرعی فرعی) بودند. تاریخ کاشت شامل تاریخ‌های اول آذر، بیستم آذر و دهم دی بود. با توجه به اینکه تاریخ بهینه در منطقه‌ی خوزستان ۱۵ آبان الی ۲۵ آذر می‌باشد (۱۹)، تاریخ کاشت اول آذر تاریخ کاشت بهینه، بیستم آذر تاریخ کاشت دیر و دهم دی تاریخ کاشت خیلی دیر در نظر گرفته شد. سطوح نیتروژن شامل چهار سطح صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره با ۴۶ درصد نیتروژن خالص بود. سطوح روی نیز صفر، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار روی از منبع سولفات روی حاوی ۳۵ درصد روی و ۱۸ درصد گوگرد مورد استفاده قرار گرفت.

عملیات تهیه زمین شامل آبیاری قبل از شخم برای تامین رطوبت مناسب برای عملیات شخم، شخم با گاوآهن برگردان-دار، دیسک، ماله و مرزبندی بود. کرت‌ها به ابعاد ۲×۲ متر، هر کرت فرعی شامل ۱۰ ردیف کشت دو متری به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم (مساحت هر کرت: چهار مترمربع) و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. در این آزمایش، رقم گندم مورد کشت چمران دو که از ویژگی‌های آن می‌توان به تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۹۵ سانتی‌متر، میانگین وزن هزار دانه ۳۹ گرم، میانگین عملکرد دانه ۶ تن در هکتار، زودرس و متحمل بودن به دمای بالا اشاره کرد (۲۴) با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع در عمق ۵-۳ سانتی‌متری کشت شد.

جدول ۱. داده های هواشناسی محل اجرای آزمایش درسال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ (اخذ شده از اداره کل هواشناسی استان خوزستان)

ماه	بارندگی (میلی‌متر)	رطوبت نسبی (درصد)	جمع ساعات آفتابی	دما (درجه سانتی‌گراد)		
				میانگین	حداکثر	حداقل
آذر	۱۸/۷	۵۶/۷	۲۰۶	۱۵/۹	۲۲/۵	۹/۳
دی	۱/۵	۵۳/۱	۲۱۸	۱۶/۰	۲۳/۲	۸/۸
بهمن	۸/۰	۵۳/۵	۱۹۱	۱۶/۶	۲۳/۳	۸/۸
اسفند	۳۶/۶	۵۰/۴	۲۷۵	۲۰/۸	۲۷/۴	۱۴/۲
فروردین	۳۲/۷	۴۳/۳	۱۹۹	۲۵/۶	۳۳/۱	۱۸/۱
اردیبهشت	۱۲/۲	۳۰/۴	۲۶۳	۲۹/۵	۳۶/۳	۲۲/۶

جدول ۲. مراحل مختلف رشد گندم رقم چمران ۲ در تاریخ کاشت‌های مختلف در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷

مرحله رشد	اول آذر	۲۰ آذر	۱ دی
ظهور گیاهچه	۷ آذر (*۷)	۲۷ آذر (۷)	۱۸ دی (۸)
پنجه‌زنی	۱۶ دی (۴۶)	۷ بهمن (۴۷)	۸ اسفند (۲۷)
ساقه‌دهی	۲۱ بهمن (۸۱)	۷ اسفند (۷۷)	۲۳ اسفند (۷۳)
گلدهی	۴ اسفند (۹۴)	۲۴ اسفند (۹۴)	۵ فروردین (۸۵)
رسیدگی دانه	۲۴ فروردین (۱۴۳)	۴ اردیبهشت (۱۳۴)	۱۴ اردیبهشت (۱۲۷)
طول دوره تنش گرمای انتهای فصل (روز)**	۲۴	۳۵	۴۲

* اعداد داخل پرانتز، تعداد روز بعد از کاشت را نشان می‌دهد؛ ** بر اساس دمای بحرانی گندم برای دوره گرده‌افشانی (دماهای بالای ۳۰ درجه‌سانتی‌گراد) محاسبه شده است.

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

پتاسیم (درصد)	آهن (درصد)	روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	فسفر (درصد)	نیتروژن (٪)	مواد آلی (٪)	هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	اسیدیته	بافت خاک	عمق (سانتی متر)
۰/۳۷۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴	۰/۰۵	۰/۰۳۴	۱/۱۳	۲/۵۹	۶/۹۹	لوم رسی شنی	۳۰-۰

در مورد کوددهی نیتروژن، در هر تیمار با توجه به آزمون خاک (جدول ۲) و تیمارهای آزمایش، یک سوم نیتروژن به‌صورت پایه قبل از کاشت، و دو سوم مابقی آن به‌صورت سرک (یک سوم در ابتدای مرحله پنجه‌زنی و یک سوم ساقه‌دهی) به بوته‌ها داده شد. مصرف روی در اواسط مرحله پنجه زنی و به‌صورت خاکی بود. بدین‌صورت که سولفات روی در آب حل شده (آب اضافه شده به میزانی بود که برای حل شدن سولفات روی کفایت کند) و محلول به‌دست آمده در زمان آبیاری به آب

ورودی به کرت اضافه شد. (البته با استفاده از محافظ پلاستیکی در دو طرف کرت از نفوذ محلول‌پاشی به کرت‌های مجاور جلوگیری به عمل آمد) همزمان با تهیه زمین، کود فسفری و پتاسیمی بر اساس نیاز گیاه و آزمون خاک (جدول ۱) و توصیه کودی آزمایشگاه خاک، به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب به‌صورت اکسید فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و اکسید پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم استفاده شد. آبیاری با توجه به نیاز گیاه و شرایط آب و هوایی انجام شد. مبارزه با علف‌های‌هرز داخل کرت‌ها به‌صورت وجین دستی و علف‌های هرز بین کرت‌ها و در جوی آبیاری به‌صورت شیمیایی کنترل شد.

روش اندازه گیری صفات فیزیولوژیک، زراعی و کیفی دانه گندم

صفات زراعی

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی (مرحله ۸۹ مقیاس زادوکس)، (رطوبت دانه ۱۴ درصد) (۳۳)، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، برداشت از مساحتی به اندازه‌ی یک مترمربع از هر کرت انجام شد. تاریخ برداشت برای سه تاریخ کاشت متفاوت شامل تاریخ کاشت‌های اول آذر، ۲۰ آذر و ۱۰ دی به‌ترتیب ۱۵ فروردین، ۲۹ فروردین، ۹ اردیبهشت ماه بود. سپس برای تعیین عملکرد دانه، سنبله‌ها جداسازی و کوبیده شد. سپس دانه‌ها شمارش و وزن شد و بر اساس آن تعداد دانه در مترمربع محاسبه شد. برای تعیین وزن دانه، تعداد ۱۰۰۰ دانه شمارش و توزین شد و با استفاده از آن، عملکرد دانه در هکتار تعیین شد. برای تعیین عملکرد زیستی، بعد از برداشت، تعداد ۱۰ بوته جدا شد و پس از توزین (وزن تر)، برای اندازه‌گیری عملکرد زیستی در هکتار مورد استفاده قرار گرفت. شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیستی به‌دست آمد (۲۷).

صفات فیزیولوژیکی

شاخص سبزینگی برگ

برای تعیین شاخص سبزینگی برگ در شرایط مزرعه، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی در مرحله پر شدن دانه (مرحله ۷۵ مقیاس زادوکس)، به‌طور تصادفی انتخاب و از هر بوته ۵ برگ و از هر برگ ۳ نقطه با دستگاه کلروفیل‌سنج دیجیتال (مدل Minolta 502 plas) عدد را قرائت و عدد میانگین به‌عنوان شاخص سبزینگی برگ ثبت شد (۲۹).

شاخص پایداری غشای سلول

برای تعیین شاخص پایداری غشای سلول، در اوایل مرحله‌ی پر شدن دانه‌ها (مرحله ۷۳ مقیاس زادوکس)، از هر کرت ۱۰ برگ پرچم برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. بعد از شستشوی برگ‌ها با آب مقطر، از هر کدام به‌وسیله‌ی پانج دو دیسک ۲۰ میلی‌متر مربعی گرفته شد (در مجموع ۲۰ دیسک) و در لوله‌های آزمایشی حاوی ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای آزمایشگاه (۲۰ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شد و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، میزان نشت الکترولیت-ها تعیین شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد در دستگاه اتوکلاو قرار داده شد و بعد از آن دوباره هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری شد. برای اندازه-گیری شاخص پایداری غشای سلول از رابطه ۱ استفاده شد (۲۰).

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

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

محتوای پروتئین دانه

برای اندازه‌گیری پروتئین دانه از دستگاه NIR Grain Analyzer (ساخت شرکت Perten سوئد مدل ۷۲۵۰) استفاده شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. جهت مقایسه میانگین ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) استفاده شد.

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات مورد عملکرد اندازگیری شده در تحت تأثیر عوامل آزمایشی

		میانگین مربعات				
منبع تغییر	درجه آزادی	تعداد دانه در متر مربع	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت
بلوک	۳	۱۰۱۲۷۴۰۹	۹/۶۱	۷۰۶۹۰۳	۲۴۰۲۷۷۴	۶/۲۱
تاریخ کاشت	۲	۶۵۸۶۹۶۶۲۸**	۹۵۵**	۶۸۵۶۵۸۳۰**	۳۸۲۴۳۸۵۵۲**	۱۲۳۵**
خطای کرت‌های اصلی	۶	۱۵۶۷۰۰۶۶	۷/۵۳	۱۴۱۷۶۰۰	۱۲۶۷۴۵۴۵	۸۹/۷
نیتروژن	۳	۳۰۰۳۲۰۹۲۱**	۲۹/۲*	۲۷۲۶۲۵۴۵**	۱۸۵۰۴۹۱۴۱**	۷۰/۷**
تاریخ کاشت×نیتروژن	۶	۹۵۷۹۴۹۲	۳۵/۶*	۲۸۲۶۸۳	۶۲۸۶۳۲۸۱	۵۶/۲*
خطای کرت های فرعی	۲۷	۲۱۴۸۵۹۷۸	۹/۳۴	۸۹۳۳۸۶	۸۱۵۷۱۹۳	۲۳/۴
روی	۲	۸۳۲۴۷۸	۲۵/۸**	۵۱۲۹۵۸۹**	۱۲۷۷۱۴۴۷	۱۱/۲**
تاریخ کاشت×روی	۴	۵۷۹۰۰۷۷	۵/۶۲	۱۷۷۸۳۰۰*	۶۷۹۷۸۹۸	۵۲/۶
نیتروژن×روی	۶	۹۶۵۹۳۹۴	۸/۰۸*	۱۹۳۶۹۰۳*	۳۰۷۶۵۰۰	۵۹/۶*
تاریخ کاشت×نیتروژن×روی	۱۲	۱۹۶۷۵۶۵۶*	۳۱۲**	۱۹۱۵۳۵۵**	۴۷۷۶۷۷۵	۱۰۵**
خطای کرت‌های فرعی فرعی	۷۲	۹۸۵۷۳۸۵	۳/۳۳	۷۴۷۶۱۷	۴۴۲۲۴۶۷	۲۷/۵۷
(٪) ضریب تغییرات	–	۱۹/۷	۴/۵۷	۱۷/۶	۱۵/۶	۱۴/۳

* و ** به ترتیب یعنی معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

نتایج

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد، برهم‌کنش تاریخ کاشت، نیتروژن و روی بر تعداد دانه در مترمربع معنی‌دار ($P\leq0.05$) بود. با تأخیر در کاشت، تعداد دانه در مترمربع کاهش یافت، به‌طوری که بیشترین تعداد دانه در مترمربع (۲۷۴۱۰) در تاریخ کاشت یکم آذر با مصرف ۲۲۵ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی و کمترین آن (۵۴۹۵) در تاریخ کاشت ۱۰ دی و عدم کاربرد مصرف نیتروژن وروی (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۵). استفاده از عنصر غذایی نیتروژن و روی سبب افزایش تعداد دانه در مترمربع شد به‌طوری که در تاریخ کاشت ۲۰ آذر و ۱۰ دی به‌ترتیب عنصر غذایی نیتروژن و روی توانست به میزان ۳۶ و ۶۶ درصد تعداد دانه در مترمربع را در مقایسه با تیمار شاهد در همین تاریخ کاشت ها افزایش دهد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش تاریخ کاشت، نیتروژن و روی بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین وزن هزار دانه در تاریخ کاشت یکم آذر (۵۰/۹ گرم) با مصرف ۱۵۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی به‌دست آمد.

جدول ۵. مقایسه صفات گیاهی گندم در برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت، نیتروژن و روی

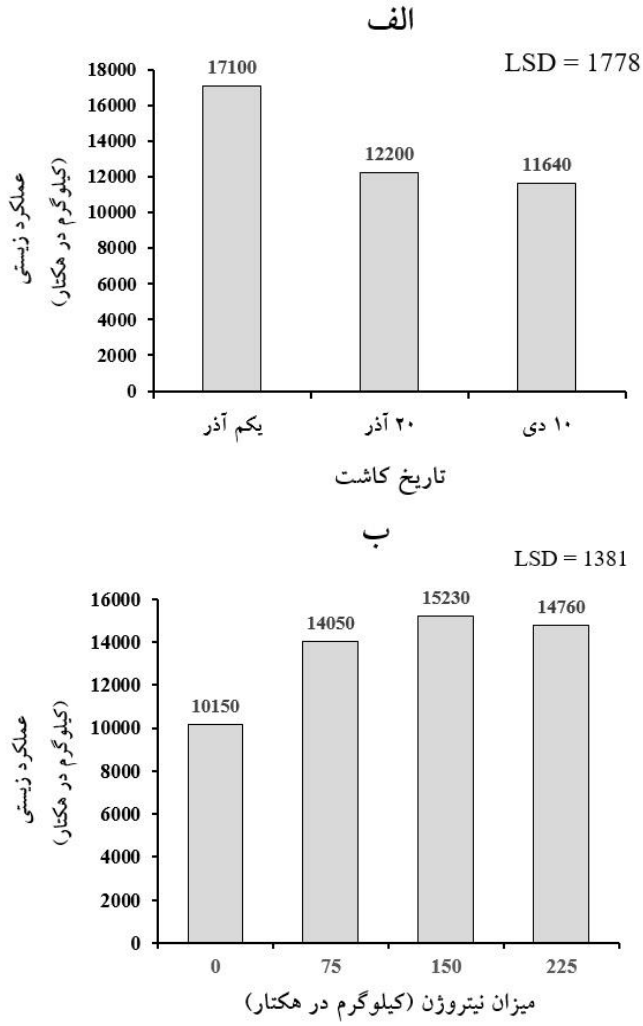
تاریخ کاشت	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	روی (کیلوگرم در هکتار)	تعداد دانه در مترمربع	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)
اول آذر	صفر	صفر	۱۴۵۱۳	۴۲/۱	۴۲۷۵	۳۶/۵
		۱۰	۱۴۹۴۶	۴۳/۲	۵۳۸۳	۳/۱۰
		۲۰	۱۴۶۶۰	۴۲/۴	۴۷۷۶	۳/۶۲
	۷۵	صفر	۱۹۱۷۲	۴۴/۲	۵۲۴۹	۳۵/۲
		۱۰	۱۹۴۶۹	۴۷/۶	۵۳۳۵	۴۳/۳
		۲۰	۲۲۴۵۲	۴۵/۱	۶۰۸۲	۳۶/۵
	۱۵۰	صفر	۲۲۸۷۲	۴۳/۴	۵۷۲۰	۳۴/۷
		۱۰	۲۱۴۰۸	۴۹/۴	۶۴۸۰	۳۸/۵
		۲۰	۲۰۰۰۹	۵۰/۸	۷۳۱۲	۴۶/۳
	۲۲۵	صفر	۲۱۵۸۳	۴۲/۸	۵۵۵۱	۳۶/۸
		۱۰	۲۰۶۱۰	۴۲/۶	۶۷۰۶	۳۵/۳
		۲۰	۲۰۷۴۱	۴۲/۶	۷۴۸۶	۴۳/۱
۲۰ آذر	صفر	صفر	۱۰۸۸۳	۳۶/۹	۳۰۱۴	۳۱/۸
		۱۰	۱۱۹۲۴	۴۰/۲	۳۸۲۱	۴۴/۲
		۲۰	۱۳۶۹۸	۴۱/۱	۳۴۶۱	۴۱/۷
	۷۵	صفر	۱۷۳۶۰	۳۸/۱	۴۱۵۶	۳۹/۹
		۱۰	۱۷۳۶۹	۳۸/۷	۵۶۰۹	۴۱/۱
		۲۰	۱۶۳۹۵	۳۹/۱	۵۰۳۳۱	۴۱/۷
	۱۵۰	صفر	۱۷۴۰۳	۳۸/۳	۵۳۷۸	۳۷/۷
		۱۰	۱۸۶۸۵	۴۰/۶	۵۳۵۵	۳۸/۵
		۲۰	۱۷۳۴۵	۳۹/۵	۵۶۹۱	۳۸/۱
	۲۲۵	صفر	۱۶۰۶۰	۳۸/۴	۵۸۱۰	۴/۱۱
		۱۰	۱۵۰۹۲	۴۱/۱	۴۹۲۱	۴۰/۵
		۲۰	۱۷۱۹۹	۳۸/۰	۶۱۸۱	۴۵/۶
۱۰ دی	صفر	صفر	۵۴۹۵	۳۲/۹	۱۵۳۱	۱۸/۴
		۱۰	۸۶۷۹	۳۸/۱	۲۸۰۴	۳۴/۴
		۲۰	۱۰۲۴۵	۳۵/۵	۳۴۱۷	۳۳/۵
	۷۵	صفر	۱۰۶۵۲	۳۴/۶	۳۱۵۰	۲۹/۷
		۱۰	۱۱۵۰۹	۳۶/۸	۴۶۰۷	۲۹/۴
		۲۰	۱۴۸۵۱	۳۶/۳	۳۸۹۹	۳۳/۸
	۱۵۰	صفر	۱۲۸۳۶	۳۶/۲	۳۸۳۴	۳۲/۸
		۱۰	۱۶۲۵۰	۳۸/۴	۴۵۶۹	۳۱/۳
		۲۰	۱۳۲۳۳	۳۴/۱	۴۸۱۹	۳۲/۸
	۲۲۵	صفر	۱۴۸۰۸	۳۶/۱	۳۳۷۴	۳۴/۱
		۱۰	۱۷۸۹۵	۳۴/۹	۴۱۴۷	۳۱/۳
		۲۰	۱۱۰۹۷	۳۶/۴	۴۵۳۰	۳۵/۳
LSD			۵۵۶۹	۳/۱۰	۱۵۲۱	۷/۲۳

(جدول ۵) که به‌طور معنی‌داری بیشتر از میانگین اعلام شده برای وزن هزار دانه رقم چمران دو (۲۴) بود. کمترین وزن هزار دانه در تاریخ کاشت ۱۰ دی (۳۲/۹ گرم) از تیمار عدم کاربرد مصرف نیتروژن و روی (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۵) که نشان دهنده‌ی اثر هر سه عامل مورد بررسی (تاریخ کاشت، نیتروژن و روی) بر وزن هزار دانه است. تاخیر در کاشت (تاریخ کاشت‌های ۲۰ آذر و ۱۰ دی) موجب کاهش وزن هزار دانه شد با این حال، میانگین وزن هزار دانه در تاریخ کاشت-های بیستم آذر (۴۱ گرم) و ۱۰ دی (۳۸ گرم)، با میانگین اعلام شده برای وزن هزار دانه رقم چمران دو (۳۹ گرم) (۲۴) تفاوت معنی‌داری نداشت. استفاده از عنصر غذایی نیتروژن و روی، وزن هزار دانه را افزایش داد، به‌طوری که در تاریخ کاشت ۲۰ آذر مصرف ۲۲۵ و ۱۰ (کیلوگرم در هکتار) نیتروژن و روی، وزن هزار دانه را ۱۰ درصد و در تاریخ کاشت ۱۰ دی، مصرف ۱۵۰ و ۱۰ (کیلوگرم در هکتار) نیتروژن و روی، وزن هزار دانه را ۱۴ درصد در مقایسه با تیمار شاهد در همین تاریخ‌کاشت‌ها افزایش داد.

برهم‌کنش تاریخ کاشت، نیتروژن و روی بر عملکرد دانه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه گندم (۷۴۸۶ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت یکم آذر و با مصرف ۲۲۵ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی به‌دست آمد (جدول ۵) که اگر چه بیشتر از میانگین اعلام شده برای عملکرد رقم چمران دو (۶ تن در هکتار) (۲۴) می‌باشد ولی تفاوت معنی-داری با آن نداشت. بیشترین عملکرد دانه‌ی گندم در تاریخ کاشت دوم (بیستم آذر) برابر ۶۱۸۱ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف ۲۲۵ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی به‌دست آمد. تاخیر زیاد در کاشت گندم (۱۰ دی) باعث شد که در بهترین شرایط (مصرف ۲۲۵ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی) ۴۶۰۷ کیلوگرم در هکتار دانه به‌دست بیاید (جدول ۵) که به‌طور معنی‌داری کمتر از میانگین عملکرد گندم رقم چمران دو (۲۴) می‌باشد. به عبارت دیگر، در شرایط تاخیر در کاشت، مصرف نیتروژن و روی نیز نمی‌تواند عملکرد را به میانگین اعلام شده برای عملکرد دانه رقم چمران دو برساند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تاریخ کاشت وکاربرد نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تاریخ کاشت یکم آذر و مصرف ۱۵۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱۵۲۹۶ کیلوگرم در هکتار) بیشترین ماده خشک (عملکرد زیستی) (۱۶۷۰۰کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که با تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن اختلاف معنی‌دار نشان نداد. همچنین کمترین مقدار عملکرد زیستی به تاریخ کاشت ۱۰ دی (۱۱۶۴۰کیلوگرم در هکتار) و عدم کاربرد نیتروژن (۱۰۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت که حدوداً ۳۱ درصد کاهش نشان داد (شکل ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش مصرف روی، میزان عملکرد زیستی افزایش یافت و در تیمار ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به ۱۴۰۴۷ کیلوگرم در هکتار رسید، البته بین تیمارهای صفر، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت، با این حال مصرف ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی نسبت به عدم مصرف آن، ماده خشک را حدود هفت درصد افزایش داد.

شاخص برداشت گندم به‌طور معنی‌داری ($P\leq0.01$) تحت تاثیر برهم‌کنش تاریخ کاشت، نیتروژن و روی قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان شاخص برداشت گندم در تاریخ کاشت یکم آذر (۶۴/۶ درصد) با مصرف ۱۵۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی و تاریخ کشت۲۰ آذر (۴۵/۶ درصد) و ۱۰ دی (۳۵/۳ درصد) از تیمار کاربرد نیتروژن و روی با مصرف ۲۲۵ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در تاریخ کاشت یکم آذر ۳۶/۵۲ درصد)، تاریخ کاشت کشت۲۰ آذر (۳۱/۸ درصد) و ۱۰ دی (۱۸/۴ درصد) از تیمار عدم کاربرد مصرف نیتروژن وروی (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۵). به‌طوری که در تاریخ ۲۰ آذر ۱۰ دی به‌ترتیب عنصر غذایی روی و نیتروژن توانست به میزان ۱۹و ۴۷ درصد شاخص برداشت برگ را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد.



شکل ۱. اثر تاریخ کاشت (الف) و نتیروژن (ب) بر عملکرد زیستی گندم

صفات فیزیولوژیک و کیفی گندم

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان داد، برهم‌کنش تاریخ کاشت و کاربرد نیتروژن و روی، بر شاخص پایداری دمایی غشای سلول برگ پرچم گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین میزان شاخص ثبات دمایی غشای سلول برگ پرچم گندم در تاریخ کاشت یکم آذر (۸۷/۳ درصد) با مصرف ۲۲۵ و۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی به‌دست آمد (جدول ۷). تنش گرمای انتهای فصل ناشی از تاخیر در تاریخ کشت باعث کاهش ثبات دمایی غشای سلول شد به‌طوری که تاریخ کاشت ۲۰ آذر (۶۲/۴ درصد) و ۱۰ دی (۳۲/۸ درصد) در شرایط عدم کاربرد مصرف نیتروژن و روی (شاهد)، کمترین میزان ثبات غشایی را دارا بودند (جدول ۷).

اثر متقابل تاریخ کاشت، کاربرد نیتروژن، روی بر شاخص سبزینگی برگ گندم معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان شاخص سبزینگی برگ گندم در تاریخ کاشت اول آذر (۵۱/۰) با مصرف ۲۲۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی و کمترین آن در تاریخ کاشت یکم آذر (۳۰/۶)، ۲۰ آذر (۲۷/۹) و ۱۰ دی (۲۰/۶) از تیمار عدم کاربرد مصرف نیتروژن و روی (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۷). نتایج نشان داد، تاریخ کاشت ۱۰ دی اثر کاهشی بر شاخص سبزینگی برگ گندم داشت، ولی در چنین شرایطی استفاده از عناصر غذایی سبب افزایش شاخص

جدول ۶. تجزیه واریانس صفات مورد عملکرد اندازگیری شده در تحت تأثیر عوامل آزمایشی

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		ثبات دمایی غشایی سلول برگ	شاخص سبزینگی برگ	درصد پروتئین دانه
بلوک		۲۲/۰۴	۱۷/۹	۶/۴۴
تاریخ کاشت	۲	۸۳۲*	۵۲۳**	۵۴/۵**
خطای کرت‌های اصلی	۶	۸۲/۴	۳۶/۵	۲/۷۹
نیتروژن	۳	۱۶۹*	۱۰۵۸**	۳۹/۵**
تاریخ کاشت×نیتروژن	۶	۲۸۷**	۳۷/۵	۴/۳۸
خطای کرت های فرعی	۲۷	۴۴/۵	۲۴/۲	۲/۷۰
روی	۲	۱۰۲۲**	۱۰۲۳**	۲۵/۷**
تاریخ کاشت×روی	۴	۵۷۹**	۵۳۰**	۴/۶۲**
نیتروژن×روی	۶	۲۸۰**	۷۶/۳**	۸/۰۶**
تاریخ کاشت×نیتروژن×روی	۱۲	۲۶۷**	۲۶/۴**	۳/۹۷**
خطای کرت‌های فرعی فرعی	۷۲	۲۶/۴	۱۰/۶	۰/۶۰
ضریب تغییرات (٪)	–	۷/۲۳	۸/۱۰	۷/۵۸

* و ** به ترتیب یعنی معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

سبزینگی برگ می‌شود. به‌طوری که در تاریخ کاشت ۲۰ آذر و ۱۰ دی، کاربرد عناصر غذایی به‌ترتیب ۵۸ و ۵۵ درصد شاخص سبزینگی برگ گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد.

برهم‌کنش تاریخ کاشت، نیتروژن و روی بر محتوای پروتئین دانه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). تاخیر در کاشت، میزان پروتئین دانه گندم را افزایش داد به‌طوری که بیشترین درصد پروتئین دانه گندم (۱۲/۷) در تاریخ کاشت ۱۰ دی به‌دست آمد. به‌علاوه، مصرف عناصر غذایی نیز بر محتوای پروتئین دانه گندم موثر بود به‌طوری که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مصرف و عدم مصرف نیتروژن و روی از نظر پروتئین دانه وجود داشت (جدول ۷).

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که عملکرد دانه گندم رقم چمران ۲ به هر دو جزء عملکرد یعنی تعداد دانه و وزن دانه وابسته است چرا که کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش گرمای انتهای فصل با کاهش هر دو جزء عملکرد دانه همراه بود (جدول ۵). به عبارت دیگر، تنش گرمای آخر فصل با کاهش تعداد و وزن دانه به کاهش عملکرد دانه گندم منجر شد. گزارش شده است که تنش گرما با ایجاد عقیمی در گل‌ها باعث کاهش تعداد دانه و در نهایت عملکرد دانه می شود (۳۶). به‌علاوه، قرارگرفتن دوره پر شدن دانه در شرایط تنش گرمایی، باعث تسریع در فرایند پر شدن دانه و کاهش وزن دانه می‌شود (۳۱). همچنین، تاخیر در کاشت باعث شد که مدت بیشتری از دوره گلدهی و رسیدگی دانه در دوره تنش گرمای انتهای فصل قرار بگیرد به‌طوری که دوره زایشی گندم در تاریخ کاشت‌های ۲۰ آذر و ۱۰ دی به‌ترتیب ۱۱ و ۱۸ روز بیشتر از تاریخ کاشت اول آذر در شرایط تنش گرمای انتهای فصل قرار داشت (جدول ۲) که این امر به کاهش تعداد دانه، به‌دلیل اثرات عقیم‌سازی گرما بر روی گل‌های گندم (۳۶) و کاهش وزن دانه به‌دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه (۳۱) منجر شد. با این حال، به‌نظر می‌رسد که عملکرد دانه گندم بیشتر تحت تأثیر تعداد دانه در واحد سطح باشد چرا که با اعمال تنش گرما (تغییر کاشت از

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک گندم در برهمنکش تیمارهای تاریخ کاشت، نیتروژن و روی

تاریخ کاشت	نیتروژن (کیلو گرم در هکتار)	روی (کیلوگرم در هکتار)	ثبات دمایی غشایی سلول برگ (درصد)	شاخص سبزینگی برگ	پروتئین دانه (درصد)
اول آذر	صفر	صفر	۶۹/۰	۳۰/۷	۷/۱
		۱۰	۶۷/۲	۳۷/۶	۷/۸
		۲۰	۷۵/۲	۳۸/۳	۱۰/۵
	۷۵	صفر	۷۴/۳	۴۱/۹	۷/۵
		۱۰	۸۱/۷	۴۵/۱	۷/۵
		۲۰	۶۵/۸	۴۵/۵	۱۱/۲
	۱۵۰	صفر	۷۴/۲	۴۵/۴	۹/۴
		۱۰	۶۷/۶	۴۸/۳	۸/۸
		۲۰	۷۶/۷	۶۴/۵	۹/۳
	۲۲۵	صفر	۷۴/۷	۴۹/۴	۱۰/۱
		۱۰	۶۴/۹	۵۱/۲	۱۱/۶
		۲۰	۸۷/۳	۴۸/۹	۱۰/۳
۲۰ آذر	صفر	صفر	۶۲/۴	۲۷/۹	۶/۶۰
		۱۰	۷۸/۲	۳۲/۳	۸/۵
		۲۰	۷۳/۷	۳۲/۹	۱۱/۷
	۷۵	صفر	۷۵/۱	۳۸/۹	۹/۴
		۱۰	۷۴/۲	۳۹/۸	۸/۹
		۲۰	۷۵/۸	۴۴/۵	۱۰/۵
	۱۵۰	صفر	۶۹/۴	۳۶/۲	۱۰/۴
		۱۰	۷۲/۱	۳۸/۵	۹/۳۰
		۲۰	۷۲/۷	۳۹/۶	۱۰/۲
	۲۲۵	صفر	۷۰/۳	۴۴/۲	۱۱/۸
		۱۰	۷۳/۷	۵۰/۵	۱۲/۱
		۲۰	۷۸/۶	۴۰/۵	۱۱/۹
۱۰ دی	صفر	صفر	۳۲/۸	۲۰/۶	۸/۵۰
		۱۰	۷۲/۷	۲۸/۹	۱۰/۷
		۲۰	۷۵/۲	۴۲/۸	۹/۳
	۷۵	صفر	۴۳/۵	۲۳/۱	۱۰/۴
		۱۰	۶۳/۹	۳۹/۴	۱۰/۷
		۲۰	۷۳/۶	۴۸/۶	۱۲/۲
	۱۵۰	صفر	۶۰/۸	۲۷/۸	۱۲/۳
		۱۰	۷۳/۴	۴۳/۳	۱۲/۷
		۲۰	۷۲/۸	۴۸/۳	۱۲/۰
	۲۲۵	صفر	۷۴/۷	۳۰/۹	۱۲/۴
		۱۰	۷۷/۵	۴۷/۲	۱۲/۲
		۲۰	۷۳/۶	۴۶/۴	۱۲/۶
LSD			۹/۹۵	۵/۳۱	۱/۱۱

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

اول آذر به ۱۰ دی) درصد کاهش تعداد دانه در واحد سطح (۳۸ درصد) بیشتر از میانگین کاهش وزن دانه (حدود ۲۰ درصد) بود (جدول۵). این یافته‌ها با نتایج سایر پژوهشگران مبنی بر نقش بیشتر تعداد دانه بر عملکرد گندم در شرایط تنش‌های محیطی مطابقت دارد (۱ و ۵).

عملکرد دانه گندم برآیند تعداد دانه در واحد سطح و وزن دانه است. به عبارت دیگر هر فعالیت مدیریتی که باعث افزایش تعداد و وزن دانه شود، در نهایت به بهبودی عملکرد دانه منجر می‌شود. با این حال، در این آزمایش، مصرف نیتروژن باعث افزایش تعداد دانه در واحد سطح شد ولی وزن دانه را ۳/۲۷ درصد کاهش داد (جدول ۵). از آنجا که یک رابطه متقابل بین تعداد و وزن دانه وجود دارد و افزایش یک صفت با کاهش دیگری همراه است، کاهش وزن دانه در شرایط کاربرد نیتروژن منطقی به‌نظر می‌رسد (۱۸). در این مورد گزارش شده است که مصرف نیتروژن با افزایش تعداد دانه باعث کاهش سهم مواد فتوسنتزی رسیده به دانه‌ها شده و درنتیجه به کاهش وزن دانه گندم منجر می‌شود (۱۶). با این حال، در این آزمایش، کاهش وزن دانه ناشی از مصرف نیتروژن به کاهش عملکرد دانه منجر نشد. بلکه مصرف نیتروژن با بهبود تولید دانه، اثرات تنش گرمای انتهای فصل بر عملکرد دانه گندم را کاهش داد چرا که در تاریخ کاشت دیرهنگام و خیلی دیر هنگام مصرف نیتروژن توانست عملکرد دانه‌ی گندم را به‌ترتیب به میزان ۵۱ و ۶۸ درصد در مقایسه با عملکرد دانه گندم را در مقایسه با تیمار شاهد در همین تاریخ کاشت ها افزایش دهد (جدول ۵).

بر خلاف نیتروژن، مصرف روی باعث بهبود هر دو جزء عملکرد دانه (تعداد و وزن دانه) شد (جدول ۵). با این حال، اثر مثبت روی بر تعداد دانه به اندازه نیتروژن نبود به‌طوری که مصرف نیتروژن به‌طور میانگین ۴۸ درصد تعداد دانه در واحد سطح را افزایش داد ولی اثر مثبت روی بر تعداد دانه حدود ۵ درصد بود. گزارش شده است که عناصر روی و نیتروژن با تاثیر مثبت بر سیستم‌های آنزیمی و فیزیولوژیکی گیاه از جمله افزایش توان تولید مواد پرورده فتوسنتزی نقش مهمی در تکامل سنبله و افزایش عملکرد دانه از طریق بهبود اجزای عملکرد دانه، به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی، را دارد (۸ و ۳۷). یافته‌های تحقیق حاضر در خصوص ثبات دمایی غشای سلولی برگ و همچنین سبزینگی (جدول ۷) با این نتایج همخوانی داشت چرا که استفاده از عناصر غذایی نیتروژن و روی در کشت‌های تاخیری (۲۰ آذر و ۱۰ دی) توانست به‌ترتیب ۲۰ و ۵۷ درصد، ثبات دمایی غشایی سلول برگ گندم را افزایش دهد. گزارش شده است که نیتروژن احتمالاً باعث سنتز مولکول‌های پروتئینی بیشتری در ساختار غشاء سلولی شده و این امر باعث افزایش استحکام دیواره سلول و کاهش تخریب ساختار غشاءسلولی و درنتیجه کاهش الکترولیت غشاءسلولی و افزایش پایداری غشاء در شرایط تنش می‌شود (۱۷ و ۲۳). از طرف دیگر، نیتروژن یکی از عناصر اصلی ساختار کلروفیل می‌باشد که فراهمی کافی این عنصر در گیاه باعث افزایش سنتز کلروفیل و در نتیجه بهبود شاخص سبزینگی می‌شود. طبق یافته‌های سایر تحقیقات، با وقوع تنش گرما، محتوای کلروفیل برگ گندم کاهش می‌یابد. دلیل این امر این است که تنش گرما با تاثیر بر فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم نیتروژن در گیاه، محتوای سبزینگی برگ را کاهش می‌دهد (۱۵). این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت، به‌طوری که با تاخیر در کاشت (۲۰ آذر و ۱۰ دی)، گندم به مدت بیشتری در معرض دماهای بحرانی تنش گرما (بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داشت و لذا محتوای کلروفیلی آن نیز با کاهش مواجه شد. اثر این موضوع در تاریخ کاشت ۱۰ دی نمود بیشتری داشت چرا که مراحل رشدی بیشتری از گیاه (شروع گلدهی تا رسیدگی) در معرض تنش گرمای انتهای فصل قرار داشت (جدول ۲). در این پژوهش کاربرد روی و نیتروژن موجب افزایش شاخص سبزینگی برگ شد که به‌نظر می‌رسد باعث کاهش اثرات تنش گرمای انتهای فصل بر دستگاه فتوسنتزی و در نهایت عملکرد دانه گندم شده باشد.

نمود اثرات مثبت عناصر غذایی نیتروژن بر دستگاه فتوسنتزی را می‌توان در عملکرد زیستی گندم مشاهده کرد.

بسیاری از پژوهشگران گزارش کردند که افزایش مصرف نیتروژن از طریق افزایش سطح سبز گیاه و مصرف روی با بهبود فرایندهای رشد گیاه، باعث افزایش عملکرد زیستی گندم می‌شود (۲۴ و ۲۷). تاریخ کاشت مناسب باعث افزایش طول دوره رشد و نمو و بهبود تولید و تجمع ماده خشک گیاهی می‌شود (۲۲). در واقع، تاخیر در کاشت به‌دلیل تسریع ورود گیاه به مرحله رشد زایشی، با کاهش عملکرد زیستی همراه است که پتانسیل گیاه برای تولید دانه را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، شاخص برداشت صفتی است که تابعی از دو ویژگی عملکرد دانه و عملکرد زیستی است. به این معنی که با تغییر این دو ویژگی، شاخص برداشت نیز تغییر خواهد کرد به‌طوری‌که با عملکرد دانه رابط مستقیم و با عملکرد زیست توده رابطهٔ عکس دارد. در این تحقیق شاخص برداشت بیشتر تحت تأثیر عملکرد دانه بوده به‌طوری که در تیمارهایی که عملکرد دانه افزایش داشته، شاخص برداشت نیز افزایش یافت. اگر چه تأخیر در کاشت، باعث کاهش توام رشد رویشی و زایشی گندم می‌شود (۱۵) ولی به‌دلیل وقوع تنش گرما در مرحله رشد زایشی به‌نظر می‌رسد تاثیر کاهش عملکرد دانه بر افت شاخص برداشت بیشتر از کاهش عملکرد زیستی باشد (۲۷). بر اساس نتایج آزمایش (۳۰)، تأخیر یک ماهه در کاشت گندم در خوزستان، باعث کاهش شاخص برداشت تا حدود ۹ درصد شد. برخلاف نتایج آزمایش حاضر، در یک تحقیق (۳۳) با افزایش مصرف روی، شاخص برداشت در ارقام گندم کاهش یافت. در یک پژوهش دیگر مشخص شد که با کاربرد روی، افزایشی در شاخص برداشت گندم مشاهده نشد (۲). این محققین علت را به افزایش ذخیره مواد فتوسنتزی در اندام‌های رویشی و کاهش انتقال مجدد این مواد به اندام‌های زایشی درنتیجه کاربرد روی و متعاقب آن بیشتر شدن سهم کاه و کلش از مواد فتوسنتزی نسبت به عملکرد دانه نسبت دادند (۲). یافته‌های این محققین با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. در آزمایش حاضر، نیتروژن و روی در سه تاریخ کاشت موجب افزایش شاخص برداشت شد که با نقش این عناصر در سهم بیشتر عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه) از کل ماده خشک تجمع یافته قابل توجیه است.

نتایج نشان داد، تاریخ کاشت ۱۰ دی اثر افزایشی بر محتوای پروتئین دانه گندم داشت، علاوه بر این، استفاده از عنصر غذایی نیتروژن و روی نیز سبب افزایش محتوای پروتئین دانه گندم می‌شود. به‌طوری که در تاریخ کاشت ۲۰ آذر و ۱۰ دی به‌ترتیب عنصر غذایی نیتروژن و روی توانست به میزان ۵/۴۶ و ۴/۲ درصد محتوای پروتئین دانه گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد. گزارش شده است که دمای بالای ناشی از تأخیر در کاشت در مراحل پس از گرده‌افشانی، موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه و متعاقب آن افزایش محتوای پروتئین دانه گندم می‌شود (۲۱ و ۲۵) که با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر افزایش محتوای پروتئین دانه در شرایط گرمای انتهای فصل همخوانی داشت. در آزمایش حاضر، کاربرد روی و نیتروژن موجب افزایش محتوای پروتئین دانه در هر سه تاریخ کاشت شد که با توجه با نقش این عناصر در جذب و متابولیسم نیتروژن (مهمترین عنصر در افزایش محتوای پروتئین دانه) و بیوسنتز پروتئین‌ها از طریق تنظیم فعالیت پپتیدازها و کنترل آن‌ها (۱۴) قابل توجیه است.

نتیجه‌گیری

تأخیر در کاشت به‌دلیل تنش گرمای انتهای فصل سبب افزایش ۲۲ درصدی محتوای پروتئین دانه شد اما صفات دیگر مانند، شاخص سبزینگی برگ، شاخص پایداری غشای سلول، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت گندم را کاهش داد. عملکرد دانه در تاریخ کاشت خیلی‌دیر (۱۰ دی) نسبت به تاریخ کاشت اول آذر، به‌طور میانگین حدود ۶۰ درصد کاهش پیدا کرد. با این حال، درصورتی که کشت گندم، دیرهنگام شود می‌توان با کاربرد کود نیتروژن و روی از اثرات گرمای انتهای فصل بر عملکرد دانه گندم کاست به‌طوری که در تاریخ کاشت ۲۰ آذر، مصرف ۲۲۵ و ۲۰ کیلوگرم نیتروژن و روی باعث افزایش دو برابری عملکرد دانه شد. در تاریخ کاشت ۱۰ دی،

مصرف کودهای نیتروژن و روی تاثیر بیشتری بر کاهش اثرات منفی تنش گرما بر عملکرد دانه داشت به‌طوری که مصرف ۱۵۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و روی، عملکرد دانه را تا سه برابر بیشتر کرد. بر این اساس، اثرات مثبت کودهای نیتروژن و روی بر کاهش اثرات منفی گرما بر عملکرد دانه در تاخیرهای بیشتر در کشت، نمود بیشتری داشت و می‌توان درصورت تاخیر در کاشت، برای کاهش اثرات تنش گرما بر تولید دانه گندم استفاده از ۱۵۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰ کیلوگرم در هکتار روی قابل توصیه می‌باشد.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, N., J. Cheraghi and S. Hajinia. 2019. Effect of micronutrients of iron and zinc in nano and chemical foliar on on physiological characteristics and grain yield of two bread wheat cultivars. *Scientific Journal of Crop Physiology*. 43: 85-104. (In Farsi).
2. Abdoli, M., A. Esfandiari, S. B. Mousavi, B. Sadeghzadeh and M. Saeidi. 2016. The effect of seed zinc internal content and foliar application of zinc sulfate on yield and storage compositions of wheat grain. *Scientific Journal of Crop Physiology*. 28: 91-106. (In Farsi).
3. Abdul Kareem, H., M. Hassan, M. Zain, A. Irshad, N. Shakoor, S. Saleem, J. Niu, M. Skalicky, Z. Chen, Z. Guo and Q. Wang. 2022. Nanosized zinc oxide (n-ZnO) particles pretreatment to alfalfa seedlings alleviate heat-induced morpho-physiological and ultrastructural damages. *Environmental Pollution* 303: 119069.
4. Abedi, T., A. S Alemzadeh and S. A. Kazemeini. 2011. Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. *Australian Journal of Crop Science* 5: 330-336
5. Asadalahzadeh, R., A. Hatami and A. Naderi. 2019. Effect of heat tension and water restriction on yield and yield components of wheat cultivars. *Scientific Journal of Crop Physiology* 43: 119-138. (In Farsi).
6. Asakereh, S. and S. Lak. 2017. Evaluation of the effect of planting date on the components of wheat cultivars production in hot and cold climate. *Iranian Journal of Field Crop Science* 47: 551-564. (In Farsi).
7. Bakhshandeh, A. M., A. Hamdi Shangari, M. H. Gharineh and G. Fathi. 2016. Effect of late sowing date and nitrogen levels on seed yield, morphological characteristics and Chlorophyll index of Canola (*Brassica nupus*. L) in Ahvaz climatic condition. *Journal of Plant Production Science* 6: 69-75. (In Farsi).
8. Cakmak, I. and H. Marschner. 2010. Enhanced superoxide radical production in root of zinc deficient plants. *Journal of Experimental Botany*. 39: 1449-1460.
9. Donald, L. 2016. Advances in Agronomy Sparks. Academic Press Language Pages, New York.
10. Farroq, M., H. Bramley, J. A. Palta and K. H. M. Siddique. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain filling phases. *Critcal Reviews in Plant Sciences* 30: 491-507.
11. Fernie, E., D. K. Y. Tan, S. Y. Liu, N. Ullah and A. Khoddami. 2022. Post-anthesis heat Influences grain yield, physical and nutritional quality in wheat: A Review. *Agriculture* 12: 886.
12. Gholami, A., A. R. Jafarinezhad, M. Attar and G. A. Sayyad. 2011. Studying the changes in the concentration of iron and zinc elements in wheat cultivated soils in the north of Khuzestan province. In: Proceeding of the 12th Congress of Soil Sciences of Iran. Tabriz, Iran.
13. Han, W., L. Huang and O. Owojori. 2019. Foliar application of zinc alleviates the heat stress of pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Journal of Plant Nutrition* 43: 194-213.
14. Hansch, R. and R. R. Mendel. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology* 12: 259-266.
15. Kamaei, E. and H. R. Eisvand. 2020. Effect of foliar application of iron, zinc and manganese on physiological, agronomic and protein properties of wheat under stress the heat of the end of the season. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences* 13: 285-295. (In Farsi).
16. Khayat, S. H., M. Mojadam and M. Alavi Fazel. 2014. Effect of nitrogen rates on grain yield and nitrogen use efficiency of durum wheat genotypes in Khouzestan. *Scientific Journal of Crop Physiology* 21: 103-113. (In Farsi).
17. Kumar, R., S. Goswami, S. K. Sharma, K. Singh, K. A. Gadpayle and N. Kumar. 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: 83-91.
18. Kutlu, I. and M. Olgun. 2015. Determination of genetic parameters for yield components in bread wheat. *International Journal of Biosciences*. 12: 61-70.
19. Lotali Ayeneh, G. A., Y. Khajezadeh, G. R. Jamsi, N. Lovaimi, S. Absalan, E. Javaheri, S. H. Mousavi Fazl, S. T. Dadrezaie, I. Lakzadeh, A. A. Rahnama, M. Ghoosheh, S. M. Shetab Boushehri, R. Poorazar, M. R. Eslahi, B.

Andarzian, E. Dehghan, M. J. Afzali, A. Dehghani and H. Shamsi. 2007. Guide to Planting and Harvesting Irrigated Wheat in Khuzestan Province. Agriculture and Natural resources center of Khuzestan, Ahwaz.
20. Lutts, S., J. M. Kinet and J. Bouharmont. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa L.*) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78: 389-398.
21. Madhaj, A. and Q. A. Fathi. 2008. Wheat Physiology. Publications of Shushtar Islamic Azad University, Shushtar. (In Farsi).
22. Momtazy, F. and Y. Imam. 2006. Effect of planting date and plant density on yield and yield components of winter wheat of Shiraz cultivar. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 37: 1-11. (In Farsi).
23. Mondal, S., R. P. Singh, Z. Kehel and E. Autrique. 2015. Characterization of heat- and drought-stress tolerance in high-yielding spring wheat. *Crop Science Society of America* 55: 1-11.
24. Moradi-Telavat, M. R. and S. A. Siadat. 2013. Growth and efficiency of nitrogen uptake and uptake efficiency in wheat (*Triticum aestivum L.*) and wild mustard (*Sinapis arvensis. L.*) to increase nitrogen levels. *Journal of Agriculture* 15: 111-124. (In Farsi).
25. Morgounova, A., V. Zykinb, I. Belanb, L. Roseevab, Y. Zelenskiyc, H. Budakd and F. Bekese. 2010. Genetic gains for grain yield in high latitude spring wheat grown in Western. Siberia in 1900-2008. *Field Crops Resrech* 117: 101-112.
26. Moshattati, A., K. H. Alami-Saied, S. A. Siadat, M. Bakhshandeh and M. R. Jalal-Kamali. 2010. Evaluation of terminal heat stress tolerance in spring bread wheat cultivars in Ahwaz conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences* 12: 85-99. (In Farsi).
27. Moshatati, A. and S. H. Mousavi. 2019. Effect of zinc sulfate application on grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). cv. Chamran under terminal heat stress conditions in Ahvaz. *Iranian Journal of Crop Sciences* 21: 254-267. (In Farsi).
28. Pireivatlou, A. S., B. Dehdar Masjedlou and T. A. Ramiz. 2010. Evaluation of yield potential land stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. *Africian Journal of Agricultural Research* 5: 2829-2836.
29. Reynolds, M. P., S. Nagarajan, M. A. Razzaque and O. A. A. Ageeb. 2001. Heat Tolerance. In: Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT, Mexico.
30. Sayahi, S. S. and F. kamaee. 2017. Evaluation of 38 varieties of bread wheat in heat stress tolerance is calculated based on the season of the untamed STI farm. *Journal of Agronomy and Plant Breeding* 13: 39-49. (In Farsi).
31. Soughi, H., N. Babaeian Jelodar, G. H. Ranzbar and M. Hadi Pahlavani. 2016. Evaluation of heat stress tolerance indices in bread wheat genotypes. *Scientific Journal of Plant Echo Physiology* 24: 63-69. (In Farsi).
32. Sturikova, H., O. Krystofova, D. Huska and V. Adam. 2018. Zinc nanoparticles and plants. *Journal of Hazardous Materials* 349: 101-110.
33. Tabatabaeian, J. 2011. Effect of zinc sulfate spraying and water stress on grain yield of wheat cultivare. *Research in Crop Science* 11: 25-38.
34. Velu, G., C. Guzman, C. Mnodal, J. E. Autrique, J. Huerta and R. P. Singh. 2016. Effect of drought and elevated temperature on grain zinc and iron concentration in CIMMYT spring wheat. *Journal of Cereal Science* 69: 182-186.
35. Wang, J., P. Fu, W. Lu and D. Lu. 2020. Application of moderate nitrogen levels alleviates yield loss and grain quality deterioration caused by post-silking heat stress in fresh waxy maize. *The Crop Journal* 8: 1081-1092.
36. Zaki, R. N. and T. E. Radwan. 2011. Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. *Journal of Applied Sciences Research* 7: 42-58.
37. Zoz, T., F. Steiner, R. Fey, D. D. Castagnara and E. P. Seide. 2012. Response of wheat to foliar application of zinc. *Ciencia Rural* 42: 784-787.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 13, No. 2, Summer 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effect of Nitrogen and Zinc Amount on Physiological Properties, Yield and Protein Content of Wheat Grain under Terminal Heat Stress Condition

S. N. Mousavian[1*], H. Eskandari[2] and K. Kazemi[1]

(Received: January 03-2023; Accepted: May 09-2023)

Abstract

Heat stress during grain filling period can lead to the reduction of grain yield of wheat. Therefore, in order to evaluate the probable mitigative effect of nitrogen and zinc application of heat stress on physiological properties, grain yield and protein content of wheat (Chamran cultivar), a split-split plot experiment based on RCBD in four replications was carried out in an experimental field of Khuzestan Agriculture and Natural Resources University, Ahvaz, Iran during autumn of 2018-19 growing season. Experimental factors were three planting date (22 November, 11 December and 31 December) as main plot, four nitrogen levels (0 as a control, 75, 150 and 225 kg ha^{-1} N from urea 46%) as subplot and zinc levels (0 as a control, 10 and 20 kg ha^{-1} from zinc sulfate) in subplots. The results showed that the delay in planting significantly ($P\leq0.01$) reduced grain protein, leaf chlorophyll index, cell membrane stability index, grain yield, biological yield, and harvest index. Nitrogen application reduced the effects of heat stress on wheat grain yield so that by consuming 75, 150 and 225 kg N ha^{-1} in cultivation, wheat grain yield was improved by 43%, 59% and 64% for 11 December cultivation date and 50%, 70% and 55% for 31 December cultivation date, respectively, compared to control fertilizer. Zinc application also reduced the effects of heat stress on wheat grain yield, where at late and very late cultivation dates, with the application of 10 and 20 kg ha^{-1} zinc, wheat grain yield was improved by 5%, 6%, 35% and 40%, respectively. Consumption of zinc also reduced the effects of heat stress on wheat grain yield by increasing grain weight and caused a 24% increase in grain weight. Wheat harvest index decreased by about 18% due to heat stress. Meanwhile, application of nitrogen and zinc at 150 and 10 kg ha^{-1}, respectively, showed the greatest effect in reducing the adverse effects of terminal heat stress on the agronomical and physiological properties of wheat. In general, in case of delayed cultivation, the use of zinc (at least 10 kg ha^{-1}) and nitrogen (at least 150 kg ha^{-1}) can reduce the harmful effects of terminal heat stress in Ahvaz climate and improve physiological (chlorophyll content and cell membrane stability), agronomic and protein content of bread wheat.

Keywords: Cultivation date, Grain protein, Grain yield, Micro elements

1. Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
*: Corresponding Author, Email: Mosavian@pnu.ac.ir