

تأثیر دمای محیط و نیتروژن خاک بر برخی صفات فیزیولوژیکی و تولید ماده خشک در گندم

رقم بهار (*Triticum aestivum* cv. Bahar)

نگین محمدی^۱، حمید رضا عشقی زاده^{۱*}، پرویز احسان زاده^۱، حسین شریعتمداری^۲ و سیاوش برده جی^۱

^۱گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

^۲گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۸/۰۳)

چکیده

گندم مهم ترین غله جهان و نیز ایران محسوب می شود. در تحقیقات مربوط به اثر تغییر اقلیم بر تولید گندم درجه حرارت به عنوان عاملی تأثیر گذار بر رشد و عملکرد مورد ارزیابی قرار می گیرد. از سوی دیگر نیتروژن نیز از مهم ترین و تعیین کننده ترین مواد مغذی گیاه برای تولید محصول است و مدیریت صحیح کودهای حاوی نیتروژن بسیار حائز اهمیت است. این مطالعه طی یک آزمایش گلخانه ای به منظور ارزیابی اثرات دمای محیط و سطوح مختلف نیتروژن بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی رقم گندم بهار در سال ۱۳۹۴ به اجرا درآمد. این آزمایش با چهار سطح نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم از منبع نیترات آمونیوم با ۳۳ درصد نیتروژن) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دو محیط با دماهای معمول (3 ± 25 درجه سلسیوس) و دمای افزایش یافته (3 ± 34 درجه سلسیوس) انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش دما، مقدار صفات اندازه گیری شده به جز غلظت نیتروژن اندام هوایی کاهش یافت. افزایش دما در سطوح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب وزن خشک اندام هوایی هر بوته را به مقدار ۱/۱۶ گرم یا ۵۰ درصد، ۰/۴۷ گرم یا ۲۱ درصد، ۰/۴۵ یا ۱۶ درصد و ۰/۸۱ یا ۲۶ درصد کاهش داد. بیشترین ماده خشک اندام هوایی در دمای معمول در غلظت ۱۵۰ میلی گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک و در دمای افزایش یافته در غلظت ۱۰۰ میلی گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به دست آمد. به نظر می رسد افزایش دما بازدهی مصرف کود نیتروژن را در گندم در مرحله رشد سنبله کاهش می دهد.

کلمات کلیدی: تغییر دما، سطح برگ، غلظت نیتروژن، هدایت روزنه ای

مقدمه

که جمعیت جهان در سال ۲۰۲۵ به ۸/۵ میلیارد نفر برسد که این رشد جمعیت نیاز به افزایش بیشتر تولیدات کشاورزی دارد. افزایش عملکرد غلات در پاسخ به افزایش تقاضا برای تأمین مواد غذایی جهان تا سال ۲۰۵۰ حدود ۷۰ درصد پیش بینی شده است که جوابگوی نیاز غذایی بشر در آینده نیست (Semenov et al., 2014).

گندم از نظر مساحت زیر کشت مهم ترین محصول جهان و نیز ایران به شمار می رود (Evans, 1998). گندم حدود ۲۰ درصد انرژی و ۲۵ درصد نیاز پروتئینی جمعیت دنیا را تأمین می کند. علاوه بر این گندم سهم زیادی در تغذیه دام های شیری و گوشتی دارد (کوچکی و حسینی، ۱۳۸۵). پیش بینی شده است

می‌تواند بر مقدار پروتئین گندم و در نتیجه بر کیفیت آرد حاصل از آن تأثیر بگذارد (Karien *et al.*, 1996). نیتروژن از جمله عناصر تشکیل‌دهنده کلروفیل می‌باشد، بنابراین افزایش میزان نیتروژن در محیط رشد گیاه، باعث افزایش مقدار کلروفیل برگ می‌شود (Bauer and Black, 1994). بنابراین به واسطه ارتباط مستقیم بین غلظت نیتروژن و کلروفیل برگ، افزایش در مقدار نیتروژن گیاه، شاخص مقدار کلروفیل را هم افزایش می‌دهد (Shafee *et al.*, 2011). افزایش میزان نیتروژن مصرفی در شرایط مطلوب باعث کاهش معنی دار افزایش دما در ژنوتیپ‌های گندم می‌شود که به نظر می‌رسد به دلیل افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق در سطح گیاه و کاهش دما در سطوح بالای نیتروژن باشد (Ayeneh *et al.*, 2002). اگرچه همه گیاهان زراعی (به جز بقولات) جهت افزایش بازده تولید نیاز به مقدار زیادی نیتروژن دارند اما ۶۰ درصد از کود نیتروژن در جهان تنها برای تولید سه محصول غذایی عمده شامل برنج، گندم و ذرت استفاده می‌شود. کاهش و یا افزایش مصرف نیتروژن هر دو می‌تواند مسائل مهمی در سطح جهانی به وجود بیاورند. کاهش این عنصر موجب به خطر انداختن امنیت غذایی شده و افزایش مصرف آن آلودگی‌های زیست محیطی را به همراه دارد (Hakeem *et al.*, 2012). بنابراین مدیریت صحیح کودی و افزایش کارایی مصرف کودها به ویژه کود نیتروژن بسیار حائز اهمیت است (Rakshit *et al.*, 2015).

مدحج و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند که در هر دو شرایط بهینه و تنش گرمای انتهای فصل، کاهش مقدار نیتروژن باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گندم شد. افزایش دما در مرحله پر شدن دانه، میانگین عملکرد دانه و وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های گندم را به ترتیب ۲۴ و ۳۱ درصد کاهش داد و کاهش مقدار نیتروژن باعث افزایش کارایی زراعی مصرف نیتروژن گردید. همچنین عملکرد پروتئین دانه در واحد سطح در شرایط تنش گرمای پایان فصل در مقایسه با شرایط بهینه ۹ درصد کاهش یافت (مدحج و همکاران، ۱۳۸۸).

با توجه به آنچه گفته شد این آزمایش با هدف ارزیابی

آنچه این روزها از آن به عنوان گرمایش جهانی نام برده می‌شود، در حقیقت افزایش میانگین درجه حرارت جو زمین در نزدیکی سطح آن است (Florides and Christodoulides, 2009). تغییر اقلیم موجب افزایش دمای میانگین جو زمین شده، به طوریکه متوسط جهانی دمای سطح زمین و سطح دریا بین سال‌های ۱۹۰۴ تا ۲۰۰۵، ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش پیدا کرده است و پیش بینی شده که ۱/۸ تا ۴ درجه سلسیوس برای سال‌های ۲۰۹۰ تا ۲۰۹۹ افزایش یابد (Cheng *et al.*, 2009; IPCC, 2007). تحقیقات دانشمندان نشان می‌دهد در طول یک صد سال گذشته میانگین دمای هوا در نزدیکی سطح زمین بین ۰/۱۸ تا ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است (IPCC, 1992). بر حسب سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، افزایش درجه حرارت ناشی از تغییرات اقلیمی در اغلب نقاط جهان پیش بینی شده و نتایج مختلفی ارائه گردیده است (IPCC, 2007). تغییر اقلیم و پدیده گرمایش جهانی، پیامدهای قابل توجهی بر تولید محصولات زراعی دارند (Farooq *et al.*, 2011). گرم شدن زمین باعث افزایش شدت تبخیر می‌شود و به تبع آن نیاز محصولات کشاورزی به آب افزایش می‌یابد. از سوی دیگر مقدار آب برای مصارف کشاورزی کم می‌شود و در نتیجه خشکسالی، امنیت غذایی به خطر می‌افتد (بنایان اول و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج آزمایشات در محیط‌های کنترل شده نشان داده است که به ازای هر درجه سلسیوس افزایش دما از میزان دمای مطلوب مقدار ۳ تا ۵ درصد از عملکرد گندم کاهش می‌یابد و این کاهش در سطح مزرعه بیش از این مقدار گزارش شده است (Gibson and Paulsen, 1999). Gur و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند پایداری غشای سلولی، حفظ محتوای کلروفیل و هدایت روزنه‌ای از جمله صفات مؤثر بر تحمل گیاه در برابر گرما می‌باشند که می‌توان از آن‌ها به عنوان معیار ارزیابی تحمل به گرما استفاده نمود.

نیتروژن دو تا پنج درصد وزن خشک گیاه را تشکیل می‌دهد و جزء تشکیل‌دهنده اولیه برای ترکیبات آلی زیادی نظیر اسیدهای آمینه و اسیدهای نوکلئیک است. این عنصر نقش عمده‌ای در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه به عهده دارد. نیتروژن

هدایت روزنه‌ای برگ به شکل غیرتخریبی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری این صفت، با استفاده از دستگاه پرومتر (Leaf prometer model SC-1) در ساعات ۹ تا ۱۱ صبح در یک روز آفتابی و بدون ابر انجام شد، به این صورت که برگ درون اتاقک اندازه‌گیری، طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگ به طرف بالا قرار گیرد، تا نور کافی دریافت کند. سپس صفت هدایت روزنه‌ای براساس میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)، گزارش شد.

سپس در تاریخ ۱۳۹۴/۲/۱۴ بوته‌ها برداشت شدند. در ادامه غلظت کلروفیل a و b، غلظت کاروتنوئید بوته‌ها اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین بین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (LSD 5%) توسط نرم‌افزار MSTATC انجام شد. رسم جداول توسط نرم‌افزارهای Excel و Word صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی: تأثیر برهمکنش دما و نیتروژن بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در شرایط دمای معمول، وزن خشک اندام هوایی در سطح ۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با عدم مصرف کود (۲/۳۱ گرم در بوته)، بدون تغییر معنی‌دار و در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب ۲۵ و ۳۶ درصد افزایش یافت در حالیکه در شرایط دمای افزایش یافته در مقایسه با شاهد (۱/۱۵ گرم در بوته) در سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب ۵۴، ۱۱۲ و ۱۰۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). در مطالعه صالح (۱۳۹۴) بر روی گندم با افزایش دمای محیط (۲۷+۷ در مقابل ۲۷ درجه سلسیوس)، وزن خشک اندام هوایی ۵/۴ درصد کاهش یافت. در مطالعه بابایی مفتاح (۱۳۹۵) اثر افزایش دمای محیط (میانگین ۲۵ درجه سلسیوس در مقابل میانگین ۲۰ درجه سلسیوس) بر دو گونه گیاه مرتعی علف

تأثیر افزایش دمای هوا و مقادیر مختلف نیتروژن بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم رقم بهار انجام گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش روی گندم رقم بهار که به خشکی آخر فصل متحمل بوده و در گروه متوسط رس‌ها قرار می‌گیرد در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دو محیط متفاوت از نظر سطح دمایی (معمول و افزایش یافته) و چهار سطح کودی نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) در واحدهای پژوهشی تحصیلات تکمیلی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در بهار ۱۳۹۴ انجام شد.

به منظور فراهم کردن محیط رشد مناسب گیاه، ستون‌های پلی‌اتیلنی با طول ۶۰ سانتی‌متر، قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر و حجم ۱۰ کیلوگرم خاک (نسبت ۱:۱ خاک زراعی و ماسه) آماده شد. غلظت نیتروژن بستر مورد استفاده بر اساس روش Novozamsky و همکاران (۱۹۷۴)، ۰/۰۳ درصد بود. ستون‌ها روی میز درون اتاقک‌های رشد قرار داده شدند (شکل ۱). دو اتاقک رشد مجزا دارای دو محیط متفاوت از نظر دما (دمای معمول یا 3 ± 25 درجه سلسیوس و افزایش یافته یا 3 ± 34 درجه سلسیوس) بود.

تعداد ۱۰ بذر گندم در هر ستون در تاریخ ۱۳۹۳/۱۲/۱۹ کشت شد. سپس در مرحله دو برگی به چهار بوته تنک گردید. در ادامه گیاهچه‌های چهار برگی تنک شده و به دو بوته در هر ستون کاهش یافت. نحوه آبیاری و تأمین عناصر غذایی گیاه براساس نیاز گیاه از طریق نمونه برداری از ستون خاک انجام شد. همچنین تیمار نیتروژن به مقدار ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع نیترات آمونیوم ($N=35$) در سه مرحله‌ی ابتدای کاشت، مرحله چهار برگی و مرحله طویل شدن ساقه از طریق آب آبیاری به خاک اضافه شد.

وزن خشک گیاه در زمان برداشت اندازه‌گیری شد و در مرحله‌ی ظهور سنبله سطح برگ و از برگ‌های بالایی گیاه



شکل ۱- نحوه چیدمان ستون‌های پلی اتیلنی در اتاق‌های رشد

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوا بر صفات مورد اندازه‌گیری تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن در گندم رقم بهار

کارایی مصرف نیتروژن اندام هوایی	میانگین مربعات						سطح برگ	وزن خشک اندام هوایی	منابع تغییرات	درجه آزادی	در
	غلظت نیتروژن اندام هوایی	غلظت پروتئین برگ	غلظت کارتنوئید	غلظت کلروفیل b	غلظت کلروفیل a	هدایت روزنه‌ای برگ					
۲۱/۵**	۰/۰۴۴**	۰/۰۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۳۳**	۰/۱۶۷ ^{ns}	۰/۶۴۱**	۹۱۲۹**	۱۲۳**	۳/۱۵**	۱	دما (د)	
۰/۶۸۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱**	^{ns}	۰/۰۲۴ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۲۳۳ ^{ns}	۰/۲۷۴ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۴	تکرار	
۲۰/۶**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۴۴**	۰/۹۶۷**	۲/۰۴**	۸۵۹۹**	۳۶/۵**	۱/۴۶**	۳	نیتروژن (ن)	
۴۵/۵**	۰/۰۲۲**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۸*	۰/۳۱۲**	۰/۲۴۸**	۱۰۵۲۴**	۱۴/۳**	۰/۱۶۷*	۳	(د) × (ن)	
۳/۲۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۹	۰/۱۳۴	۰/۷۵۲	۰/۰۳۴	۱۲	خطا (E)	
۹/۲۹	۴/۷۸	۴/۴۴	۹/۹۲	۸/۳۸	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۸/۳۸	۸/۱۷		ضریب تغییرات	

^{ns} و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

افزایش تنفس نوری و کاهش تولید فتوستنتز خالص در این گیاهان می‌شود. در حالیکه افزایش دما در گیاهان C₃ و C₄ گرمسیری ممکن است در شرایطی که سایر عوامل محدود کننده وجود نداشته باشد، منجر به افزایش فتوستنتز، رشد و عملکرد آن‌ها شود. بدین ترتیب که افزایش و یا کاهش دما می‌تواند بر توانایی فتوستنتزی گیاه از طریق افزایش و یا کاهش در سرعت واکنش انتقال الکترون مؤثر باشد که تأثیر آن در

گندمی کردار و علف پشمکی، میانگین وزن خشک اندام هوایی ۲۳/۵ درصد نسبت به مقدار شاهد (۰/۵۲۳ گرم تک پایه) کاهش یافت. تغییرات دما در گیاهان مختلف اثرات متفاوتی در فعالیت‌های حیاتی دارد، به طوریکه با افزایش درجه حرارت در گیاهان C₃ سردسیری، بالاتر از درجه حرارت مطلوب آن‌ها (۲۵-۲۰ درجه سلسیوس)، میل ترکیبی رابیسکو با اکسیژن در مقایسه با دی‌اکسیدکربن، افزایش یافته و سبب

جدول ۲- برهمکنش اثر دمای محیط و کود نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری شده گندم رقم بهار

عوامل آزمایش				
هدایت روزنه‌ای برگ ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	سطح برگ ($\text{cm}^2 \text{plant}^{-1}$)	وزن خشک اندام هوایی (g plant^{-1})	کود نیتروژن (mg kg^{-1})	دمای محیط (درجه سلسیوس)
۱۹۱	۱۲/۱۰	۲/۳۱	۰	
۶۱ (-/۶۸)	۱۱/۱ (-/۸)	۲/۲۴ (-/۳)	۵۰	
۷۷ (-/۶۰)	۱۵/۱ (%/۲۵)	۲/۸۹ (%/۲۵)	۱۰۰	25 ± 3
۲۰/۹ (-/۸۹)	۱۱/۹ (-/۲)	۳/۱۴ (%/۳۶)	۱۵۰	
۴۰/۱	۴/۵۳	۱/۱۵	۰	
۹۴/۹ (%/۱۳۶)	۵/۱۸ (%/۱۴)	۱/۷۷ (%/۵۴)	۵۰	
۲۴/۵ (-/۳۹)	۱۱/۱ (%/۱۴۵)	۲/۴۴ (%/۱۱۲)	۱۰۰	34 ± 3
۳۵/۱ (-/۱۲)	۱۱/۴ (%/۱۵۲)	۲/۳۲ (%/۱۰۲)	۱۵۰	
۰/۶۱۰	۱/۴۴	۰/۳۰۷		LSD (5%)

در هر سطح از دمای محیط، اعداد داخل پرانتز تفاوت مقدار صفت مورد نظر را با شاهد یا عدم مصرف کود شیمیایی نیتروژن نشان می‌دهد.

بیانگر آن است که افزایش دما، وزن خشک اندام هوایی در سطوح مختلف نیتروژن خاک را کاهش داد ولی میزان کاهش به سطح نیتروژن وابسته بود. افزایش دما در سطوح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی به مقدار ۱/۱۶ گرم یا ۵۰ درصد، ۰/۴۷ گرم یا ۲۱ درصد، ۰/۴۵ یا ۱۶ درصد و ۰/۸۱ یا ۲۶ درصد شد. تحت شرایط این آزمایش مقدار بهینه غلظت نیتروژن جهت تولید بیشترین ماده خشک اندام هوایی در دمای معمول ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک و در دمای افزایش یافته ۱۰۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک بود (جدول ۲). تحمل گرما شامل مکانیزم‌هایی است که با بکارگیری آنها گیاه درجه حرارت زیاد محیط را به بهای از دست دادن پروتئین‌ها، چربی‌ها و موادی که برای حفظ ساختمان خود به وجود آورده است تحمل می‌کند (Peiqin *et al.*, 2006). سطح برگ و رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط دمای افزایش یافته نقش بارزتری در تولید ماده

گیاهان C₄ در دمای پایین و C₃ در دمای بالا مشهود است (مشتقی و همکاران، ۱۳۸۹). از سوی دیگر کاربرد نیتروژن موجب افزایش تجمع ماده خشک در بخش رویشی گیاه می‌شود. نیتروژن باعث افزایش ارتفاع، محتوای کلروفیل و در نتیجه ایجاد پتانسیل بیشتر در عملکرد محصولات زراعی می‌شود (Li *et al.*, 2012). البته لازم به ذکر است میزان این افزایش تا یک سطح معینی در گیاه رخ می‌دهد و بعد از آن افزایشی در وزن خشک گیاه دیده نمی‌شود. در مطالعه محمدی (۱۳۹۴) وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱۵۰ در مقایسه با سطح ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن در محلول غذایی ۹۴ درصد افزایش یافت. Sioulas و Dordas (۲۰۰۸) در آزمایشی بر روی گلرنگ گزارش نمودند که با افزایش کاربرد نیتروژن وزن خشک اندام هوایی افزایش یافت که بیشترین مقدار افزایش وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کمترین مقدار آن در تیمار بدون کاربرد کود مشاهده شد. به عبارت دیگر نتایج برهمکنش اثرات دما و نیتروژن

دما در شرایط عدم مصرف و مصرف کود نیتروژن در خاک سطح برگ گیاه را کاهش داد. ولی مصرف کود نیتروژن در خاک اثرات منفی افزایش دما بر رشد بخش هوایی گیاه را تعدیل نمود. همچنین همبستگی سطح برگ با وزن خشک اندام هوایی در شرایط دمای افزایش یافته بسیار قوی ($r = 0.9^{**}$) ولی در دمای معمول معنی‌دار نبود (جدول ۵). بنابراین به نظر می‌رسد تحت شرایط دمای بالا حفظ سطح برگ در رقم گندم بهار برای دستیابی به عملکرد بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

هدایت روزنه‌ای برگ: تأثیر برهمکنش دما و نیتروژن بر هدایت روزنه‌ای برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در شرایط دمای معمول، هدایت روزنه‌ای برگ در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با عدم مصرف کود نیتروژن (۱۹۱ میلی‌مول در مترمربع درثانیه)، به ترتیب ۶۸، ۶۰ و ۸۹ درصد کاهش و در شرایط دمای افزایش یافته در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با شاهد (۴۱/۱ میلی‌مول در مترمربع درثانیه) به ترتیب ۳۹ و ۱۲ درصد کاهش ولی در سطح ۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک ۱۳۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). به عبارت دیگر افزایش مصرف کود نیتروژن در شرایط متفاوت دمایی هدایت روزنه‌ای برگ را کاهش داده است. افزایش دما در شرایط عدم مصرف کود یا شاهد نیز هدایت روزنه‌ای برگ را ۱۵۱ میلی‌مول در مترمربع درثانیه یا حدود ۷۹ درصد کاهش داده است. بنابراین به نظر می‌رسد افزایش دما بازدهی مصرف کود نیتروژن را در گندم کاهش می‌دهد.

غلظت کلروفیل a: تأثیر برهمکنش دما و نیتروژن بر غلظت کلروفیل a در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در شرایط دمای معمول، غلظت کلروفیل a در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با عدم مصرف کود (۱/۹ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) به ترتیب ۵۴، ۵۸ و ۴۳ درصد و در شرایط دمای افزایش یافته در مقایسه با شاهد (۱/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) به ترتیب

خشک اندام هوایی گیاه داشتند. ضرایب همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این صفات با ماده خشک اندام هوایی (جدول ۵) گویای این موضوع است.

سطح برگ: تأثیر برهمکنش دما و نیتروژن بر سطح برگ گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در شرایط دمای معمول، سطح برگ در سطوح ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با عدم مصرف کود (۱۲/۱ سانتی‌متر مربع در بوته) تغییر معنی‌داری نشان نداد ولی در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک، ۲۵ درصد افزایش یافت (جدول ۲). در مطالعه بابایی مفتح (۱۳۹۵) با افزایش دمای محیط (میانگین ۲۵ درجه سلسیوس در مقابل میانگین ۲۰ درجه سلسیوس) بر دو گونه گیاه مرتعی علف گندمی کرکدار و علف پشمکی، میانگین سطح برگ ۱۴/۹ درصد نسبت به مقدار شاهد (۲۸/۸ سانتی‌متر مربع در بوته)، کاهش یافت. در مطالعه‌ی Adiku و همکاران (۲۰۰۶) بر روی جو و Asadi و همکاران (۲۰۰۹) بر روی گندم، افزایش دما به طور معنی‌داری موجب کاهش سطح برگ ژنوتیپ‌های جو و گندم شد. به نظر می‌رسد در شرایط این آزمایش نیز با افزایش دمای محیط و به دنبال آن کاهش دسترسی به آب توسط گیاه سطح برگ کاهش یافته است. از سوی دیگر نتایج مطالعه محمدی (۱۳۹۴) بر روی ارقام مختلف گندم نشان داد که سطح برگ در سطح ۱۵۰ در مقایسه با سطح ۷۵ میلی‌گرم برلیتر نیتروژن در محلول غذایی ۵۸ درصد افزایش یافت. Li و همکاران (۲۰۱۲) در آزمایش خود نشان دادند که سطوح نیتروژن ۲/۸۵ و ۷/۱۴ نسبت به سطح ۱/۴۲ میلی‌مولار، به ترتیب باعث افزایش ۱۰ و ۳۵ درصدی سطح برگ ژنوتیپ برنج هیبرید Shanyou 63 در مرحله گیاهچه‌ای شد.

به عبارت دیگر نتایج برهمکنش اثرات دما و نیتروژن بیانگر آن است که افزایش دما در سطوح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب سطح برگ گیاه را ۷/۶ (۰/۶۲٪)، ۵/۹ (۰/۵۳٪)، ۴ (۰/۲۶٪) و ۰/۵ (۰/۴٪) سانتی‌متر مربع در بوته کاهش داد (جدول ۲). بنابراین افزایش

۷/۹۶ درصدی در مقدار کلروفیل a نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود شیمیایی) شده است. بنابراین به واسطه ارتباط مستقیم بین غلظت نیتروژن و کلروفیل برگ، افزایش در مقدار نیتروژن گیاه، شاخص مقدار کلروفیل را نیز افزایش می‌دهد (Shafee et al., 2011).

غلظت کلروفیل b: تأثیر برهمکنش دما و نیتروژن بر غلظت کلروفیل b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در شرایط دمای معمول، غلظت کلروفیل b در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با عدم مصرف کود (۰/۷۳۷ میلی‌گرم درگرم وزن‌تر) به ترتیب حدود ۷۵، ۹۴ و ۷۸ درصد افزایش یافت در حالیکه در شرایط دمای افزایش یافته در مقایسه با شاهد (۰/۶۴۴ میلی‌گرم درگرم وزن‌تر) در سطح ۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک ۱۵ درصد کاهش ولی در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب ۱۷۹ و ۷۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). در مطالعه صالح بر روی گندم، غلظت کلروفیل b در اثر افزایش دما ۱۰ درصد کاهش یافت (صالح، ۱۳۹۴). همچنین در آزمایش Shanmugan و همکاران (۲۰۱۳) بر روی گیاه جو افزایش دمای محیط باعث کاهش ۳۰ درصدی غلظت کلروفیل b در برگ شد. براساس این نتایج کلروفیل a در مقایسه با کلروفیل b به میزان کمتری تحت تأثیر افزایش دما قرار گرفته است. از سوی دیگر در مطالعه محمدی (۱۳۹۴) بر روی گیاه گندم، غلظت کلروفیل b در سطح ۱۵۰ در مقایسه با سطح ۷۵ میلی‌گرم برلیتر نیتروژن در محلول غذایی ۶۸ درصد افزایش یافت. Dordas و Sioulas (۲۰۰۸) در آزمایش خود در رابطه با تأثیر سطوح مختلف نیتروژن (۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم درهکتار) بر غلظت کلروفیل افزایش این صفت را گزارش کردند.

به عبارت دیگر نتایج برهمکنش اثرات دما و نیتروژن بیانگر آن است که افزایش دما در سطوح صفر، ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب غلظت کلروفیل b را ۰/۰۸۹ (۱۲٪)، ۰/۷۴۴ (۵۸٪) و ۰/۱۹ (۱۴٪) میلی‌گرم درگرم وزن‌تر کاهش ولی در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کود

۴۷، ۱۱۶ و ۸۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). به عبارت دیگر نتایج برهمکنش اثرات دما و نیتروژن بیانگر آن است که افزایش دما در سطوح صفر، ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب غلظت کلروفیل a را ۰/۴۷ (۲۵٪)، ۰/۸۳ (۲۸٪)، ۰/۱ (۴٪) میلی‌گرم درگرم وزن‌تر کاهش ولی در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک ۰/۰۸ (۳٪) میلی‌گرم درگرم وزن‌تر برگ افزایش داد (جدول ۳). بنابراین در هر دو شرایط دمای معمول و افزایش یافته بیشترین غلظت کلروفیل a در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به دست آمد. همچنین همبستگی کلروفیل a با وزن خشک اندام هوایی در شرایط دمای افزایش یافته بسیار قوی ($r=0/95^{**}$) ولی در دمای معمول معنی‌دار نبود (جدول ۵).

در مطالعه صالح (۱۳۹۴) بر روی گندم، غلظت کلروفیل a در طول مرحله رشدی گیاه در اثر افزایش دما نسبت به تیمار شاهد (۷+۲۷ در مقابل ۲۷ درجه سلسیوس) ۶/۱ درصد کاهش یافت. در آزمایش Shanmugan و همکاران (۲۰۱۳) افزایش دمای محیط (بیش‌تر از ۴۰ درجه سلسیوس) باعث کاهش محتوای کلروفیل برگ در گندم شد. از سوی دیگر نیتروژن از جمله عناصر تشکیل دهنده کلروفیل می‌باشد، بنابراین افزایش نیتروژن در محیط رشد گیاه، باعث افزایش غلظت کلروفیل برگ می‌شود (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۷). در مطالعه محمدی (۱۳۹۴) بر روی ارقام مختلف گندم نیز غلظت کلروفیل a در سطح ۱۵۰ در مقایسه با سطح ۷۵ میلی‌گرم برلیتر نیتروژن در محلول غذایی ۵۶ درصد افزایش یافت. در مطالعه ایشان همچنین غلظت کلروفیل a گندم رقم بهار در سطح ۱۵۰ در مقایسه با سطح ۷۵ میلی‌گرم برلیتر نیتروژن در محلول غذایی ۱۱ درصد افزایش یافت. مطالعه یوسف‌پور و همکاران (۱۳۹۳) بر روی آفتابگردان نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a (۳۷/۱ میلی‌گرم برگرم وزن‌تر برگ) مربوط به تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مورد نیاز و کمترین مقدار آن (۱/۱۳ میلی‌گرم برگرم وزن‌تر برگ) مربوط به تیمار شاهد بود. ایشان بیان نمودند که مقادیر کاربرد ۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد کود شیمیایی مورد نیاز، به ترتیب باعث افزایش ۲۱/۳، ۱۰/۶ و

جدول ۳- برهمکنش اثر دمای محیط و کود نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری شده گندم رقم بهار

غلظت کارتنوئید	غلظت کلروفیل b (mg g ⁻¹ FW)	غلظت کلروفیل a	عوامل آزمایش	
			کود نیتروژن (mg kg ⁻¹)	دمای محیط (درجه سلسیوس)
۰/۴۴۳	۰/۷۳۷	۱/۹۰	۰	۲۵ ± ۳
۰/۵۶۳ (%۲۸)	۱/۲۹ (%۷۵)	۲/۹۳ (%۵۴)	۵۰	
۰/۴۹۴ (%۱۱)	۱/۴۳ (%۹۴)	۳/۰۱ (%۵۸)	۱۰۰	
۰/۵۳۵ (%۲۱)	۱/۳۱ (%۷۸)	۲/۷۱ (%۴۳)	۱۵۰	۳۴ ± ۳
۰/۲۵۹	۰/۶۴۴	۱/۴۳	۰	
۰/۵۴۴ (%۱۱۰)	۰/۵۴۶ (-/۱۵)	۲/۱۰ (%۴۷)	۵۰	
۰/۴۶۷ (%۸۰)	۱/۸۰ (%۱۷۹)	۳/۰۹ (%۱۱۶)	۱۰۰	LSD (5%)
۰/۴۶۷ (%۸۰)	۱/۱۲ (%۷۴)	۲/۶۱ (%۸۲)	۱۵۰	
۰/۰۷۴	۰/۲۴۷	۰/۱۵۸		

در هر سطح از دمای محیط، اعداد داخل پراتز تفاوت مقدار صفت مورد نظر را با شاهد یا عدم مصرف کود شیمیایی نیتروژن نشان می‌دهد.

در سطح ۱۵۰ در مقایسه با سطح ۷۵ میلی‌گرم برلیتر نیتروژن در محلول غذایی ۸۴ درصد افزایش یافت. بر این اساس کمبود و زیاد بود نیتروژن باعث ایجاد تنش شده و افزایش کارتنوئیدها با افزایش ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی برگ، باعث کاهش رادیکال‌های آزاد تولید شده در برگ شده و از این طریق آسیب به مرکز واکنشی و غشاها کاهش می‌یابد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۷).

به عبارت دیگر نتایج برهمکنش اثرات دما و نیتروژن بیانگر آن است که افزایش دما در سطوح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب غلظت کارتنوئید را ۰/۱۸۴ (%۴۱)، ۰/۰۱۹ (%۳)، ۰/۰۲۷ (%۵) و ۰/۰۶۸ (%۱۳) میلی‌گرم درگرم وزن تر کاهش داد (جدول ۳). در مطالعه‌ی Gilberton و همکاران (۲۰۰۸) بر تعدادی ژنوتیپ گندم نیز، افزایش ۷ درجه‌ای دما، غلظت کارتنوئید را در مقایسه با دمای معمول ۵ درصد کاهش داد ولی در مطالعه صالح (۱۳۹۴) بر روی گندم، تأثیر افزایش دما (۲۷+۷ در مقابل ۲۷ درجه سلسیوس) بر غلظت کارتنوئید معنی‌دار نگردید.

به نظر می‌رسد در شرایط این مطالعه با افزایش غلظت نیتروژن خاک اثرات منفی افزایش دما در کاهش غلظت کارتنوئید برگ تعدیل شده است. همبستگی کارتنوئید با وزن

نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب آن را ۰/۳۷ (%۲۶) میلی‌گرم درگرم وزن تر افزایش داد (جدول ۳). Silveira و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تعداد مولکول کلروفیل در واحد سطح ثابت است و با کاهش سطح برگ در تنش‌های ملایم مقدار کلروفیل افزایش می‌یابد. این در حالی است که Guo و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش گرما باعث کاهش مقدار کلروفیل برگ می‌شود. همچنین همبستگی کلروفیل b با وزن خشک اندام هوایی در شرایط دمای افزایش یافته قوی ($r=0.75^{**}$) ولی در دمای معمول معنی‌دار نبود (جدول ۵).

غلظت کارتنوئید: تأثیر برهمکنش دما و نیتروژن بر غلظت کارتنوئید در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در شرایط دمای معمول، غلظت کارتنوئید در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با عدم مصرف کود ۰/۴۴۳ میلی‌گرم درگرم وزن تر) به ترتیب ۲۸، ۱۱ و ۲۱ درصد افزایش و در شرایط دمای افزایش یافته در مقایسه با شاهد (۰/۲۵۹ میلی‌گرم درگرم وزن تر) در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب ۸۰، ۱۱۰ و ۸۰ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). در مطالعه محمدی (۱۳۹۴) بر روی گیاه گندم، غلظت کارتنوئید

نیتروژن و تنش گرمای باعث تأثیر معنی دار بر درصد پروتئین گیاه شد و عملکرد پروتئین در واحد سطح در شرایط تنش گرمای پایان فصل در مقایسه با شرایط بهینه ۹ درصد کاهش یافت.

غلظت نیتروژن اندام هوایی: تأثیر برهمکنش دما و نیتروژن بر غلظت نیتروژن اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۱). در شرایط دمای معمول، غلظت نیتروژن اندام هوایی در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با عدم مصرف کود (۰/۲۳۲) گرم در کیلوگرم، به ترتیب ۶، ۲۷ و ۲۱ درصد کاهش یافت در حالیکه در شرایط دمای افزایش یافته در مقایسه با شاهد (۰/۱۵۱) گرم در کیلوگرم در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم به ترتیب ۱۰۳، ۱۰۳ و ۱۵۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). مقایسه نتایج غلظت نیتروژن اندام هوایی با غلظت پروتئین اندام هوایی موید تجزیه پروتئین ها به اجزای ساختاری در اثر دمای بالا است. به شکلی که افزایش نیتروژن در خاک در شرایط دمایی مناسب تولید پروتئین را تسریع نموده ولی در شرایط دمای بالا تولید آمینواسیدها و افزایش غلظت نیتروژن در گیاه را در پی داشته است.

به عبارت دیگر نتایج برهمکنش اثرات دما و نیتروژن بیانگر آن است که غلظت نیتروژن اندام هوایی در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن در اثر افزایش دما، ۰/۰۸۲ گرم در کیلوگرم یا ۳۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴). در حالیکه در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک افزایش دما به ترتیب منجر به افزایش ۰/۰۸۹ گرم در کیلوگرم یا ۴۱ درصد، ۰/۱۳۸ گرم در کیلوگرم یا ۸۲ درصد و ۰/۲۰۲ گرم در کیلوگرم یا ۱۱۰ درصد در غلظت نیتروژن اندام هوایی شد (جدول ۴). Yu و همکاران (۲۰۱۳) در آزمایش خود نشان دادند که سطح نیتروژن ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به عدم کاربرد کود در مراحل ساقه رفتن، خوشه دهی و رسیدگی به ترتیب باعث افزایش ۱۶۹، ۱۴۶ و ۲۷۱ درصدی در تجمع نیتروژن در کل گیاه شد. در مطالعه Han و همکاران (۲۰۱۵) بر روی گندم، افزایش کاربرد نیتروژن (اوره) از ۲۵ به ۹۵

خشک اندام هوایی در شرایط دمای افزایش یافته قوی ($r=0/62^{**}$) ولی در دمای معمول معنی دار نبود (جدول ۵). با توجه به نقش احتمالی کارتنوئید در کاهش اثرات تنش های محیطی افزایش غلظت این رنگدانه در شرایط دمای بالا قابل توجه است.

غلظت پروتئین برگ: تأثیر برهمکنش دما و نیتروژن بر غلظت پروتئین برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۱). در شرایط دمای معمول، غلظت پروتئین در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با عدم مصرف کود (۰/۱۱۵) میلی گرم در گرم وزن تر) به ترتیب ۱۸، ۲۵ و ۲۳ درصد افزایش یافت در حالیکه در شرایط دمای افزایش یافته در مقایسه با شاهد (۰/۱۴۶) میلی گرم در گرم وزن تر) در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب ۲۱، ۲۰ و ۲۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). در مطالعه Zhou و Xu (۲۰۰۶) بر روی گراس چند ساله *Leymus chinensis* حجم پروتئین محلول در دمای ۳۲ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۲۳ درجه سلسیوس، ۲۷ درصد کاهش یافت. معمولاً گیاه برای تحمل تنش هایی مثل دمای بالا مولکول های بزرگ شبیه پروتئین ها را به اجزای کوچکتر مانند آمینواسید پرولین تجزیه کرده و از این طریق مکانیسم دفاعی خود را اعمال می نماید. بنابراین به نظر می رسد در شرایط این آزمایش رقم گندم بهار نیز از مکانیسم مشابهی استفاده نموده است.

به عبارت دیگر نتایج برهمکنش اثرات دما و نیتروژن بیانگر آن است که افزایش دما در سطح شاهد یا عدم مصرف کود نیتروژن، غلظت پروتئین برگ را ۰/۰۳۱ (۰/۲۷) میلی گرم در گرم وزن تر افزایش و در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب غلظت پروتئین برگ را، ۰/۰۲۱ (۰/۱۵)، ۰/۰۲۷ (۰/۱۹) و ۰/۰۳۵ (۰/۲۵) میلی گرم در گرم وزن تر کاهش داد (جدول ۴). بنابراین با افزایش غلظت نیتروژن خاک اثرات منفی افزایش دما بر کاهش غلظت پروتئین برگ افزایش یافته است. مدحج و همکاران (۱۳۸۸) نیز در آزمایشی بر روی گیاه گندم نشان دادند که اثر متقابل مقدار

جدول ۴- برهمکنش اثر دمای محیط و کود نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری شده گندم رقم بهار

کارایی مصرف نیتروژن اندام هوایی	غلظت نیتروژن اندام (g kg^{-1} هوایی)	غلظت پروتئین (g kg^{-1})	عوامل آزمایش	
			کود نیتروژن (mg kg^{-1})	دمای محیط (درجه سلسیوس)
۹/۰۲	۰/۲۳۲	۰/۱۱۵	۰	۲۵ ± ۳
۹/۳۵ (%۴)	۰/۲۱۸ (%۶)	۰/۱۳۶ (%۱۸)	۵۰	
۱۱/۹ (%۳۲)	۰/۱۶۸ (%۲۷)	۰/۱۴۴ (%۲۵)	۱۰۰	
۱۱/۳ (%۲۵)	۰/۱۸۲ (%۲۱)	۰/۱۴۱ (%۲۳)	۱۵۰	۳۴ ± ۳
۱۵/۱	۰/۱۵۱	۰/۱۴۶	۰	
۶/۷۱ (%۵۵)	۰/۳۰۷ (%۱۰۳)	۰/۱۱۵ (%۲۱)	۵۰	
۶/۹۵ (%۵۴)	۰/۳۰۶ (%۱۰۳)	۰/۱۱۷ (%۲۰)	۱۰۰	LSD (5%)
۵/۳۰ (%۶۵)	۰/۳۸۴ (%۱۵۴)	۰/۱۰۶ (%۲۷)	۱۵۰	
۲/۹۸	۰/۰۱۶	۰/۰۰۹		

در هر سطح از دمای محیط، اعداد داخل پراکنش تفاوت مقدار صفت مورد نظر را با شاهد یا عدم مصرف کود شیمیایی نیتروژن نشان می‌دهد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین ماده خشک اندام هوایی و سایر ویژگی‌های فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده در شرایط دمای معمول و افزایش یافته

کارایی مصرف نیتروژن اندام هوایی	غلظت نیتروژن اندام هوایی	غلظت پروتئین برگ	غلظت کارتنوئید	غلظت کلروفیل b	غلظت کلروفیل a	هدایت روزنه‌ای برگ	سطح برگ	وزن خشک اندام هوایی	صفات
-۰/۳۵ ^{ns}	-۰/۶۵*	۰/۵۲ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۴۷ ^{ns}	۰/۳۰ ^{ns}	۰/۵۶ ^{ns}	-۰/۳۵ ^{ns}	-	دمای معمول
-۰/۳۳ ^{ns}	۰/۸۵**	-۰/۷۸**	۰/۶۲**	۰/۷۵**	۰/۹۵**	-۰/۳۲ ^{ns}	۰/۹۰**	-	دمای افزایش یافته

نیتروژن به میزان ۴۰ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش یافت.

کارایی مصرف نیتروژن اندام هوایی: تأثیر برهمکنش دما و نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در شرایط دمای معمول، کارایی مصرف نیتروژن اندام هوایی در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با عدم مصرف کود نیتروژن (۹/۰۲) به ترتیب حدود ۴، ۳۲ و

کیلوگرم درهکتار باعث افزایش غلظت نیتروژن در گیاه به مقدار ۳/۶، ۳/۶ و ۳/۹ درصد به ترتیب در مراحل ساقه رفتن، گرده افشانی و رسیدگی شد. Dordas (۲۰۱۲) با مطالعه اثر نیتروژن بر گیاه جو افزایش معنی‌دار محتوای نیتروژن اندام هوایی در بافت‌های مختلف گیاه در مرحله گلدهی و بلوغ را گزارش کرد. کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم درهکتار نیتروژن، محتوای نیتروژن اندام هوایی بوته‌های جو را حدود ۶۲ درصد افزایش داد. علاوه بر این، انتقال مجدد ماده خشک در تیمار کاربرد

در مطالعه ایشان کارایی مصرف نیتروژن اندام هوایی رقم گندم بهار در سطح ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم برلیتر به ترتیب ۹/۹۰ و ۶/۸۵ درصد بود.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق نشان داد که مقدار نیتروژن خاک جهت دستیابی به بالاترین تولید در رقم گندم بهار به طور بارزی به دمای محیط وابسته بود و مقدار بهینه غلظت نیتروژن جهت تولید بیشترین ماده خشک اندام هوایی در دمای معمول (25 ± 3 درجه سلسیوس)، ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک و در دمای افزایش یافته (34 ± 3 درجه سلسیوس)، ۱۰۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک بود. همچنین تأثیر افزایش دما بر کارایی مصرف نیتروژن در اندام هوایی وابسته به غلظت نیتروژن خاک بود.

۲۵ درصد افزایش یافت در حالیکه در شرایط دمای افزایش یافته در مقایسه با شاهد (۱۵/۱) در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب ۵۵، ۵۴ و ۶۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). به عبارت دیگر تأثیر افزایش دما بر کارایی مصرف نیتروژن در اندام هوایی به غلظت نیتروژن خاک وابسته بود. در شرایط شاهد یا عدم کاربرد کود نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن اندام هوایی در اثر افزایش دما، ۶/۰۸ واحد یا ۶۷ درصد افزایش ولی در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب ۲/۶۴ واحد یا ۲۸ درصد، ۴/۹۵ واحد یا ۴۱ درصد و ۶/۰ واحد یا ۵۳ درصد کاهش یافت (جدول ۴). در مطالعه محمدی (۱۳۹۴) بر روی ارقام مختلف گندم در سطح ۱۵۰ در مقایسه با سطح ۷۵ میلی‌گرم برلیتر نیتروژن در محلول غذایی کارایی مصرف نیتروژن اندام هوایی ۳۸ درصد کاهش یافت. همچنین

منابع

- بابایی مفتاح، ع. (۱۳۹۵) بررسی تأثیر عوامل محیطی (رطوبت، دما و غلظت دی‌اکسیدکربن) بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک دو گونه‌ی مرتعی (*Bromous tomentellus* Boiss و *Agropyron trichophorum* (Link) Richt)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- بنایان اول، م. نعمت‌الهی، ا. و مقدم، ح. (۱۳۹۱) رشد و نمو گیاهان و تغییر اقلیم. مرکز نشر دانشگاهی، مشهد.
- ردی، کی. آر. و هاج، زاچ. اف. (۱۳۸۵) تغییر اقلیم و تولیدات زراعی در جهان. ترجمه کوچکی، ع. و حسینی، ح. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
- رودز، جی. دی. (۱۳۷۸) استفاده از آب‌های شور و نیمه شور برای آبیاری. ترجمه نوروزی، م. ماهرانی، م. و مسچی، م. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران.
- صالح، م. (۱۳۹۴) تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و دمای محیط بر پاسخ ارقام گندم در شرایط تنش شوری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- کوچکی، ع. و ح. حسینی، (۱۳۸۵) تغییر اقلیم و تولیدات زراعی در جهان. دانشگاه فردوسی مشهد.
- کوچکی، ع. نصیری محلاتی، م. شریفی، ح. زند، ا. و کمالی، غ. (۱۳۸۰) شبیه‌سازی رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد. مجله بیابان ۶: ۱۱۷-۱۲۷.
- کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ. (۱۳۸۷) فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
- محمدی، س. (۱۳۹۴) پاسخ ارقام گندم به شوری و نیتروژن در شرایط معمول و غنی شده‌ی دی‌اکسیدکربن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

مدحج، ع. نادری، ح. امام، ی. آینه‌بند، ا. و نورمحمدی، ق. (۱۳۸۸) اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد دانه، محتوی پروتئین دانه و کارایی زراعی مصرف نیتروژن در ژنوتیپ‌های گندم در دو شرایط بهینه و تنش گرمای پس از گرده افشانی، مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۲۵: ۳۵۳-۳۷۱.

مشتقی، م. عالمی سعید، خ. سیادت، س. ع. بخشنده، ع. م. و کمالی، م. ر. (۱۳۸۹) ارزیابی تحمل ارقام گندم نان بهاره به تنش گرمای انتهای فصل در شرایط اهواز، مجله علوم زراعی ایران ۱۲: ۸۵-۹۹.

یوسف پور، ز. یدوی، ع. بلوچی، ح. ر. و فرجی، م. (۱۳۹۳) بررسی عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و فنولوژیک آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن و فسفر، نشریه بوم‌شناسی کشاورزی ۶: ۵۰۸-۵۱۹.

Adiku, S. G. K. Reichstein, M. Lohila, A. Dinh, N. Q. Aurelab, M. Laurila, T. Lueers, J. and Tenhunen, J. D. (2006) PIXGRO: A model for simulating the ecosystem CO₂ exchange and growing of spring barley. *Ecological Modelling* 190: 260-276.

Asadi, A. Mahmoody, R. Kermani, B. and Pirani, M. (2009) Effects of elevated CO₂ on wheat growth in salinity stress. *Agronomy Journal* 104: 144-152.

Ayeneh, A. Van Ginkel, M. Reynolds, M. P. and Ammar, K. (2002) Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research* 79: 173-184.

Bauer, A. and Black, A. L. (1994) Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Science Society of America Journal* 58: 185-193.

Cheng, W. Sakai, H. Yagi, K. and Hasegawa, T. (2009) Interactions of elevated CO₂ and night temperature on rice growth and yield. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 51-58.

Dordas, C. A. (2012) Variation in dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in barley as affected by fertilization, cultivar, and source-sink relation. *European Journal of agronomy* 37: 31-42.

Dordas, C. A. and Sioulas, C. (2008) Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Industrial Crops and Products* 27: 75-85.

Evans, L. T. (1998) *Feeding the Ten Billion*. Cambridge University Press, Cambridge.

Farooq, M. Bramley, H. Palta, J. A. and Siddique, H. M. (2011) Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30: 491-507.

Florides, G. A. and Christodoulides, P. (2009) Global warming and carbon dioxide through sciences. *Environment International* 35: 390-401.

Gibson, L. R. and Paulsen, G. M. (1999) Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. *Crop Science* 39: 1841-1846.

Gilbertson, S. Gitz, D. C. and Spencer, T. F. (2008) Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in wheat under elevated CO₂. *Environmental and Experimental Botany* 64: 234-247.

Guo, Y. P. Zhou, H. F. and Zhang, L. C. (2006) Photosynthetic characteristics and protective mechanisms against photooxidation during high temperature stress in two citrus species. *Scientia Horticulturae* 108: 260-267.

Gur, A. Demirel, U. Ozden, M. Kahraman, A. and Copur, O. (2010) Diurnal gradual heat stress affects antioxidant enzymes, proline accumulation and some physiological components in cotton (*Gossypium hirsutum L.*). *African Journal of Biotechnology* 9: 1008-1015.

Hakeem, K. R. Chandna, R. Ahmad, A. and Iqbal, M. (2012) Physiological and molecular analysis of applied nitrogen in rice genotype. *Rice Science* 19: 213-222.

Han, X. Hao, X. Lam, S. K. Wang, H. Li, Y. Wheeler, T. Ju, H. and Lin, E. (2015) Yield and nitrogen accumulation and partitioning in winter wheat under elevated CO₂: A 3-year free-air CO₂ enrichment experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 209: 132-137.

IPCC, (2007) Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press 881.

IPCC, (1992) First assessment report, Climate Change: the 1990 and 1992. IPCC assessment (working group 1: scientific assessment of climate change) WMO, UNEP.

Karien, D. L. Hunt, P. G. and Matheny, T. A. (1996) Fertilizer nitrogen recovery by corn, wheat, and cotton grown with and without preplant tillage on Norfolk loamy sand. *Crop Science* 36: 975-981.

Li, Y. X. Ren, B. Shen, Q. and Guo, Sh. (2012) Why nitrogen use efficiency decrease under high nitrogen supply in rice (*Oryza sativa L.*) seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation* 31: 47-52.

Novozamsky, I. van Eck, R. van Schouwenburg, J. Ch. and Walinga, I. (1974) Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol blue method. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 22: 3-5.

- Peiqin, C. Songlin, Y. Yanni, Z. and Xiliang, K. (2006) A review on plant heat stress physiology. Chinese Agricultural Science Bulletin 5: 059.
- Rakshit, A. Bahadur Singh, H. and Sen, A. (2015) Nutrient use efficiency: from basics to advances. Part V specialised case studies; dynamics of plant nutrients, utilization and uptake, and soil microbial community. In: Crops Under Ambient and Elevated Carbon Dioxide (eds. Singh, S. K., Reddy, V. R. Sharma, M. P. and Agnihotri, R.) Pp. 381-400. Springer, New Delhi Heidelberg New York Dordrecht Londo.
- Semenov, M. A. Stratonovitch, P. Alghabari, F. and Gooding, M. J. (2014) Adapting wheat in Europe for climate change. Journal of Cereal Science 59: 245-256.
- Shafee, L. Safari, M. Emam, Y. and Mohammadinezhad, G. (2011) Effect of nitrogen and zinc fertilizers on leaf zinc and chlorophyll contents, grain yield and chemical composition of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. Seed Plant Production Journal 2: 235-246.
- Shanmugan, S. Kjaer, K. H. Ottosen, C. O. Rosenqvist, E. Kumari Sharma, D. and wollenweber, B. (2013) The alleviating effect of elevated CO₂ on heat stress susceptibility of two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science 199: 340-350.
- Silveira, J. A. G. Araujo, S. A. M. Lima, J. P. M. S. and Viegas, R. A. (2009) Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. Environmental and Experimental Botany 66: 1-8.
- Xu, Z. Z. and Zhou, G. S. (2006) Combined effects of water stress and high temperature on photosynthesis, nitrogen metabolism and lipid peroxidation of a perennial grass *Leymus chinensis*. Planta. 224: 1080-1090.
- Yu, Q. G. Ye, J. Yang, S. N. Fu, J. R. Ma, J. W. Sun, W. C. and Wang, Q. (2013) Effects of nitrogen application level on rice nutrient uptake and ammonia volatilization. Rice Science 20: 139-147.