

اثر تنش خشکی پس از گردهافشانی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و کیفیت دانه

ژنوتیپهای مختلف گندم

شیوا اردلانی^۱، محسن سعیدی*^۲، سعید جلالی‌هنرمند^۳ و محمدقابل قبادی^۴

(۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. (۲، ۳ و ۴) عضو هیات علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

* نویسنده مسئول: Msaeidi667@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۲۲

چکیده

بخش عمده اراضی زیر کشت گندم جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است. در این مناطق نیاز آبی گندم در تمامی مراحل رشد و نمو به‌طور کامل برآورده نمی‌شود. این تحقیق در همین راستا و به منظور بررسی اثر تنش کم آبیاری پس از گردهافشانی بر کمیت و کیفیت عملکرد دانه و برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام مختلف گندم نان انجام شد. این آزمایش به‌صورت گلدانی طی سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱ در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه به‌صورت فاکتوریل سه فاکتوره برای صفات فیزیولوژیک و دو فاکتوره برای کمیت و کیفیت عملکرد و بر پایه طرح بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. سه فاکتور مورد بررسی عبارت بودند از: (۱) تیمار رطوبتی در دو سطح عدم تنش (ظرفیت مزرعه) و تنش کم‌آبی از مرحله گردهافشانی تا پایان دوره رشد (۳۰ درصد ظرفیت مزرعه)، (۲) ژنوتیپهای مختلف گندم (پیشتانز، DN-11، سیوند و مرودشت) و (۳) زمان نمونه‌گیری در دو سطح شامل: ۱۱ و ۱۷ روز بعد از گردهافشانی بودند. نتایج نشان داد که در شرایط تنش و عدم تنش کم‌آبی رقم مرودشت کم‌ترین عملکرد دانه را داشت. در بین دیگر ژنوتیپهای مورد بررسی (در هر دو شرایط رطوبتی)، پیشتانز بالاترین عملکرد دانه را داشت. کم‌ترین افت عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به شرایط عدم تنش نیز مربوط به رقم پیشتانز بود. اعمال تنش کم‌آبی سبب شد که غلظت کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها، حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، شاخص زنده‌مانی و محتوای نسبی آب به‌طور معنی‌داری کاهش یابد. هم‌چنین تنش کم‌آبی سبب کاهش محتوی نشاسته و ماده خشک و افزایش محتوی فیبر و پروتئین دانه ژنوتیپهای مورد بررسی گردید.

واژه‌های کلیدی: گندم، تنش خشکی و کلروفیل.

مقدمه

اگرچه همه تنشهای زیستی و غیرزیستی از عوامل مهم کاهش تولید محسوب میشوند، ولی تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به حساب می‌آید (Debaeke and Abdellah, 2004). در چنین مناطقی وقوع تنش خشکی در مراحل زایشی امری اجتنابناپذیر است و عدم بارش و توزیع نامناسب بارندگی از علل محدودکننده عملکرد غلات زمستانه در این مناطق به شمار میرود. در این بین، کشور ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲۴۹ میلی‌متر در ۳۰ سال گذشته در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه‌بندی میگردد (حیدری شریف‌آباد، ۱۳۸۷). اندازه‌گیری عملکرد دانه یکی از شاخصهای مهم در برنامه‌های اصلاحی گندم جهت تحمل به خشکی میباشد اما به دلیل وراثتپذیری پایین این صفت، اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی مرتبط با تنش خشکی در کنار آن ضروری به نظر میرسد. شاخصهای فیزیولوژیک از آن جهت اهمیت دارند که عملکرد گیاه به‌طور کامل به آن‌ها وابسته است و در هنگام تنش خشکی دچار تغییر میشوند (Ouvrard *et al.*, 1996). در میان شاخصهای فیزیولوژیک، فتوسنتز یکی از مهم‌ترین فرآیندها در رشد و تولید محسوب شده و نگهداری سرعت آسیمیلاسیون کربن تحت شرایط تنش اهمیت اساسی در شکلگیری عملکرد دارد (Lawlor, 1995). فتوسنتز فرآیندی ضروری برای گیاه است و آب یکی از عناصر اصلی جهت انجام آن میباشد. پتانسیل و محتوای نسبی آب برگ بالا، سرعت فتوسنتز را افزایش میدهند و با کاهش میزان آب قابل دسترس سرعت فتوسنتز نیز کاهش مییابد (Tas and Tas, 2007; Siddique *et al.*, 2000). محتوای نسبی آب برگ بالا در نتیجه پتانسیل اسمزی بیش‌تر و یا دسترسی بیش‌تر به آب حاصل میشود (Ritchie *et al.*, 1990). Akram (۲۰۱۱) گزارش کرد که محتوای نسبی آب برگ بالا با افزایش عملکرد و اجزای آن در ارتباط میباشد و تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ میشود. کمبود آبی موجب تغییر در تبادلات گازی و محتوای کلروفیل میشود، به‌طوری‌که در گیاه شوید تنش خشکی اثر معنیداری بر میزان کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئیدهای بخش هوایی داشت، که با افزایش شدت تنش، محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها به‌طور معنیداری کاهش یافتند (Marcin'ska *et al.*, 2013). نتایج آزمایش‌های Mafakheri و همکاران (۲۰۱۰) و Nyachiro و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان داد که تنش خشکی به‌طور معنیداری محتوای کلروفیل کل را به‌ترتیب در نخود و گندم کاهش داد. Talebi و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده نمودند که ژنوتیپهای گندم با عملکرد بالا در شرایط آبیاری مطلوب، محتوای کلروفیل بیش‌تر و دمای کنوپی پایین‌تری در این شرایط داشتند. کاهش غلظت کلروفیل به‌ویژه در شرایط تنش به دلیل تجزیه کلروفیل در اثر فعالیت آنزیمهای کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی میباشد (Silva *et al.*, 2007). اختصاص مواد به دانه علاوه بر کنترل ژنتیکی، وابستگی زیادی به شرایط محیطی مانند تنش خشکی دارد (Lopez-Castaneda *et al.*

1977; Spiertz, 1996; *al.*). به طوری که Hui و همکاران (۲۰۰۷) با اعمال تیمار تنش خشکی و شرایط بهینه رطوبتی در مرحله پرشدن دانه گندم، افزایش پروتئین دانه به میزان قابل توجه و افت کیفیت گلوتن نیز بر اثر افزایش چشم گیر نسبت گلیادین به گلوتنین را در شرایط تنش گزارش کردند. با توجه به اثرات مختلف تنش خشکی بر گیاهان زراعی، این تحقیق با هدف ارزیابی اثر تنش خشکی پس از گردهافشانی بر عملکرد دانه و برخی از ویژگی های فیزیولوژیک سهیم در شکلگیری قدرت منبع و مخزن و ویژگی های کیفی بذور تولیدی ژنوتیپهای گندم اجرا شد.

مواد و روشها

این تحقیق در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه به صورت آزمایش گلدانی انجام شد. این منطقه در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۱۹ متر است. این بررسی به صورت آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره برای صفات فیزیولوژیک و دو فاکتوره برای کمیت و کیفیت عملکرد دانه و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه ای اجرا گردید. دلیل اجرای آزمایش به صورت بلوک های کامل تصادفی در گلخانه، شیب حرارتی ناشی از سیستم خنک کننده گلخانه بود. فاکتورهای مورد بررسی عبارت بودند از: (۱) تیمار رطوبتی در دو سطح عدم تنش (نگهداری رطوبت گلدانها در ظرفیت مزرعه در تمامی مراحل رشد) و تنش کم آبی از مرحله گردهافشانی تا پایان دوره رشد (به نوعی که رطوبت گلدانهای تحت این تیمار تا زمان گردهافشانی در ظرفیت مزرعه و از زمان گردهافشانی به بعد در ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری گردیدند)، (۲) چهار ژنوتیپ گندم نان رایج در استان کرمانشاه (پیشتاز، DN-11، سیوند و مروشدت) و (۳) زمان نمونه گیری در دو سطح شامل: ۱۱ و ۱۷ روز بعد از گردهافشانی. زمان گردهافشانی طبق روش Ehdai و همکاران (۲۰۰۶) تکمیل ۵۰ درصد گردهافشانی سنبله های هر ژنوتیپ به طور جداگانه لحاظ شد. به منظور اعمال تیمارهای رطوبتی، گلدانها به صورت هم وزن با خاک پر و به آرامی تا خروج کامل هوای موجود در خلل و فرج خاک با آب تیمار شدند. بعد از پوشاندن سطح گلدانها به وسیله فویل آلومینیومی (جهت جلوگیری از تبخیر از سطح خاک) آن ها به مدت ۴۸ ساعت روی سطوح مشبک جهت زهکشی و رسیدن به ظرفیت مزرعه قرار داده شدند. در ادامه گلدانها وزن شده و خاک آن ها جهت خشک شدن کامل در دمای ۱۰۴ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار داده شدند. سپس وزن خشک آن ها اندازه گیری شد. پس از آن با استفاده از رابطه ۱ زیر درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه محاسبه گردید:

$$\theta_{FC}^m = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه، θ_{FC}^m درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، M_w وزن رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه که از طریق کاهش وزن خاک در ظرفیت مزرعه از وزن خاک خشک شده در آون به دست می آید و M_s وزن خاک خشک شده در آون میباشند (Schonfeld *et al.*, 1988).

در ادامه وزن گلدانها در شرایط ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه با استفاده از رابطه ۲ به ترتیب زیر محاسبه گردید:

$$A_i/30 = F/30 \times (FC100\% \times DW) + DW + \text{Pot Weight} + \text{Plant Weight} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه، $A_i/30$ وزن کل گلدان همراه با بوته در ۳۰ درصد وزنی رطوبت ظرفیت مزرعه، $F/30$ مقدار درصد وزنی رطوبت مورد نیاز نسبت به ظرفیت مزرعه، $FC/100$ درصد رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، DW وزن خاک خشک گلدان، Pot weight وزن گلدان و Plant weight وزن بوتههای هر گلدان میباشد (Schonfeld *et al.*, 1988). با استفاده از معادله بالا و وزن کردن گلدانها (دو بار در روز) درصد رطوبت خاک در تیمار تنش خشکی در حدود ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. در تیمار شاهد نیز با استفاده از همین روش درصد رطوبت خاک تا پایان دوره رشد در حدود ظرفیت مزرعه نگهداری شد. پس از شروع تیمار تنش هر پنج روز یک بار در تعدادی از گلدانهای اضافی وزن بوتهها محاسبه شده و میانگین وزنی آنها در معادله بالا وارد میگردد. بدین ترتیب اضافه وزن بوتهها در زمانهای مختلف پس از گردهافشانی در معاله بالا اعمال می‌شد.

به منظور کاشت، بذور ژنوتیپهای مورد بررسی در ۲۵ اسفندماه ۱۳۹۰ در گلدانهای پلاستیکی با قطر دهانه ۲۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر حاوی ۳ کیلوگرم خاک که شامل ترکیبی از خاک مزرعه و کود حیوانی با نسبت ۳ به ۱ کشت و بلافاصله آبیاری شدند. در هر گلدان ۱۰ عدد بذر در عمق چهار سانتیمتری کاشته شدند. در مرحله سه برگی و پس از اطمینان از استقرار کامل بوتهها، با تنک کردن بوتههای اضافی تنها به پنج بوته در هر گلدان اجازه رشد داده شد و علفهای هرز نیز در این مرحله وجین گردیدند. به منظور کافی بودن تعداد گلدانها در هر تیمار جهت نمونهگیریهای متعدد، شش گلدان به هر ژنوتیپ اختصاص پیدا کرد. بنابراین ۲۸۸ عدد گلدان در این آزمایش کشت شدند. میزان رطوبت و متوسط دمای هوا در طول فصل زراعی مورد نظر در جدول ۱ ارائه گردیده است. به منظور بررسی روند تغییرات محتوای نسبی آب برگ، رنگدانههای فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل در ۱۱ و ۱۷ روز پس از اعمال تنش کمآبی صفات فوق اندازهگیری شدند.

جدول ۱: وضعیت هواشناسی محل اجرای آزمایش از اسفندماه تا تیرماه سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰

پارامترها	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
بارندگی (میلیمتر)	۳۴/۳	۳۵/۴	۲۵/۲	۰	۰
تبخیر (میلیمتر)	-	۸۲/۲	۱۲۰/۵	۳۰۴/۶	۳۶۱/۲
حداکثر دما (سانتی‌گراد)	۲۲	۱۹/۲	۲۶/۵	۲۳/۷	۲۶/۹
حداقل دما (سانتی‌گراد)	-۱۱/۲	۴/۷	۱۹/۳	۱۴/۲	۱۷

منبع: سایت هواشناسی کشور، ایران.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگها، از برگ پرچم چهار بوته به‌طور تصادفی نمونهبرداری انجام شد. ابتدا وزن تر برگها بلافاصله اندازه‌گیری شد و به منظور تعیین وزن آماس به مدت ۱۶ ساعت در دمای اتاق و داخل آب مقطر قرار

داده شدند و پس از خشک کردن آب روی برگها، وزن شدند، سپس برگها در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و پس از آن وزن خشک آنها نیز به دست آمد و در نهایت محتوای آب نسبی برگها از رابطه ۳ محاسبه شد (Schonfeld *et al.*, 1988):

$$\text{RWC (\%)} = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100 \quad \text{رابطه ۳:}$$

که در آن FW: وزن تر، DW: وزن خشک و TW: وزن آماس کامل (تورژسانس) میباشد.

استخراج و اندازه‌گیری رنگدانه‌ها

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها از روش تغییر یافته Arnon (۱۹۴۹) استفاده شد. طبق این روش ۰/۲۵ گرم برگ تر را درهاون چینی با نیتروژن مایع پودر کرده سپس با چهار میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد در تاریکی کاملاً هموژنیزه گردید. به منظور یکنواخت شدن محلول به دست آمده، لوله‌ها چندین بار و به شدت تکان داده شدند و در ادامه به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس مقدار ۲۵۰ میکرولیتر از مایع رویی این نمونه‌ها در داخل چاهک پلیتهای دستگاه پلیت ریدر (Bio Tek Powerwave) ریخته و سپس در طول موجهای ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ نانومتر مقدار جذب نور در هر یک از نمونهها قرائت گردید و با استفاده از روابط ۴، ۵، ۶ و ۷ غلظت کلرفیل a، کلروفیل b، کلرفیل کل و کاروتنوئیدها محاسبه شد (Lichtenthaler, 1987):

$$\text{Chl a} = 12/21 (A_{663}) - 2/81 (A_{646}) \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$\text{Chl b} = 20/13 (A_{646}) - 5/1 (A_{663}) \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$\text{Chl T} = \text{Chl a} + \text{Chl b} \quad \text{رابطه ۶:}$$

$$\text{Car} = (1000 A_{470} - 3/27 [\text{Chl a}] - 104 [\text{Chl b}]/227) \quad \text{رابطه ۷:}$$

اندازه‌گیری کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II

اندازه‌گیری حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II و شاخص زنده ماندنی، در ساعت ۱۰ الی ۱۲ صبح به صورت تصادفی از نمونههای انتخاب شده از سه برگ به عمل آمد؛ به طوری که قسمت میانی برگ پرچم با زدن گیره مخصوص به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفته و سپس با استفاده از دستگاه فلورومتر (استرس سنچ) قابل حمل مدل OS-30 مقدار فلورسانس کلروفیل برگها ثبت گردید (Bilger, 1995).

اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی دانه

اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی دانه شامل درصد پروتئین خام، نشاسته، ماده خشک و فیبر خام موجود در دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در تیمارهای مختلف در بخش تحقیقات دامپروری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی

کرمانشاه و توسط دستگاه تجزیه فوق سریع مدل DA-7200 ساخت شرکت Perten (کشور سوئد) و بر اساس روش NIR اندازهگیری شد (Osborne *et al.*, 2007).

عملکرد دانه

برای محاسبه عملکرد دانه در مرحله رسیدگی کامل (۱۵ تیر ۱۳۹۱) اقدام به برداشت بوتههای هر گلدان در تیمارهای اعمال شده گردید (در هر تیمار دو گلدان و مجموعاً در ۱۰ بوته). محاسبات آماری با استفاده از نرم افزارهای MSTAT-C و SAS و مقایسات میانگینها نیز با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

بر طبق نتایج به دست آمده، تنش خشکی به طور معنیداری موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ (حدوداً ۱۲ درصد) در ژنوتیپهای مورد بررسی شد (جدولهای ۲ و ۳). مطابق با نتایج این تحقیق، Umebese و Adejare در سال ۲۰۰۷ نیز بیان داشتند که وقوع تنش خشکی در مراحل گردهافشانی و خمیری دانه موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپهای گندم نان و دوروم شد. ژنوتیپها نیز از نظر محتوای نسبی آب برگ با هم تفاوت معنیدار داشتند، به طوری که ژنوتیپ پیشتاز با افت کم تر عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبی نسبت به شرایط عدم تنش در مقایسه با دیگر ژنوتیپها (جدول ۸). هم چنین محتوای نسبی آب برگ بیش تری نسبت به سایر ژنوتیپها داشت (جدول ۳). در همین ارتباط، Akram (۲۰۱۱) در بررسی ارقام مختلف گندم نان در شرایط تنش خشکی گزارش کرد که محتوای نسبی آب برگ بالا در شرایط تنش خشکی با عملکرد دانه بالاتر مرتبط میباشد. محتوای نسبی آب برگ به عنوان یکی از مهمترین شاخص های انتخاب در شرایط تنش خشکی مد نظر میباشد. با توجه به وراثت پذیری بالایی که در گندم دارد و اندازه گیری آسان آن، میتواند به عنوان یک صفت فیزیولوژیک مهم در گزینش ارقام مختلف گندم مورد استفاده قرار گیرد (Siosemardeh *et al.*, 2006). برهمکنش رژیم رطوبتی در مراحل مختلف نمونه گیری نشان داد که در هر دو شرایط محیطی با افزایش سن گیاه و گذشت زمان میزان محتوای نسبی آب برگ کاهش معنیداری داشت (جدول ۴). هم چنین پاسخ ژنوتیپها نیز در مراحل مختلف رشد متفاوت بود. به طوری که در تمامی ژنوتیپها به جز ژنوتیپ سیوند با گذشت زمان میزان محتوای نسبی آب برگ کاهش معنیداری داشت (جدول ۵). در همین راستا Sairam و Saxena (۲۰۰۰) گزارش کردند که محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپهای مختلف گندم تحت وضعیت تنش و آبیاری مطلوب با گذشت زمان کاهش پیدا کرد. آن ها دلیل کاهش محتوی نسبی آب برگ را در این شرایط افزایش سن برگها (پیری برگها) و تفاوت ژنتیکی ژنوتیپهای مورد بررسی مرتبط دانستند.

جدول ۲: تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر رژیم رطوبتی، ژنوتیپ و مراحل نمونه‌گیری بر برخی از صفات فیزیولوژیکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	شاخص زنده‌مانی	میانگین مربعات			
				حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
بلوک	۲	۹/۶۳ ^{ns}	۰/۲۰۱ ^{ns}	۰/۰۱۳*	۴/۴۳*	۰/۴۳۴*	۷/۶۴*
رژیم رطوبتی	۱	۱۰/۷۹**	۴۵/۳**	۰/۰۷۰**	۱۵/۱**	۱/۹۲**	۲۷/۸**
ژنوتیپ	۳	۵۵/۸*	۷/۱۵**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۱/۹۲ ^{ns}	۱/۲۷ ^{ns}	۳/۰ ^{ns}
ژنوتیپ × رژیم رطوبتی	۳	۱۶/۳*	۳/۴۳*	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۲۵۶ ^{ns}	۰/۰۳۵ ^{ns}	۰/۴۸۶ ^{ns}
مراحل نمونه‌گیری	۱	۱۰/۷۳**	۱۵/۴**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۹/۸۴**	۰/۷۴**	۱۵/۹**
مراحل نمونه‌گیری × رژیم رطوبتی	۱	۱۷۴**	۱/۹۲ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۳۲۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۳۹۱ ^{ns}
مراحل نمونه‌گیری × ژنوتیپ	۳	۱۸۱*	۰/۶۵۲ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۱۱۹ ^{ns}	۰/۰ ^{ns}	۰/۱۱۹ ^{ns}
مراحل نمونه‌گیری × رژیم رطوبتی × ژنوتیپ	۳	۵۲/۷ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۳/۱۲ ^{ns}	۱/۰۱ ^{ns}	۰/۰۷۸ ^{ns}	۱/۵۹ ^{ns}
خطا	۳۰	۱۴/۹	۱/۰۹	۰/۰۰۳	۱/۲۷	۰/۰۸۸	۱/۹۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۵/۲۳	۲۳/۷	۷/۸۵	۲۰/۱	۱۴/۸	۱۸/۵

ns, * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر ساده رژیم رطوبتی، ژنوتیپ و مراحل نمونه‌گیری بر برخی از صفات فیزیولوژیکی

تیمارها	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	شاخص زنده‌مانی	حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئیدها
ژنوتیپ‌ها							
پیش‌تاز	۷۷/۰a	۳/۹۳b	۰/۶۹۴a	۵/۷۹a	۲/۰۸a	۷/۸۷a	۱/۲۷a
DN-11	۷۳/۳b	۴/۲۲b	۰/۶۸۴a	۵/۵۲a	۲/۰۰a	۷/۵۲a	۱/۲۱a
سیوند	۷۲/۳b	۳/۹۶b	۰/۶۷۷a	۵/۰۵a	۱/۸۵a	۶/۹۱a	۱/۱۱a
مرودشت	۷۲/۶b	۵/۵۶a	۰/۶۷۶a	۵/۹۷a	۲/۰۶a	۸/۰۴a	۱/۲۶a
مراحل نمونه‌گیری							
۱۱ روز بعد از اعمال تنش	۷۸/۵a	۳/۸۵b	۰/۶۹۰a	۶/۰۴a	۲/۱۳a	۸/۱۷a	۱/۲۷a
۱۷ روز بعد از اعمال تنش	۶۹/۱b	۴/۹۹a	۰/۶۷۶a	۵/۱۳b	۱/۸۸b	۷/۰۱b	۱/۱۷a
رژیم رطوبتی							
بدون تنش	۷۸/۵a	۵/۳۹a	۰/۷۲۱a	۶/۱۴a	۲/۲۰a	۸/۳۵a	۱/۳۵a
تنش کم‌آبی	۶۹/۰b	۳/۴۴b	۰/۶۴۵b	۵/۰۲b	۱/۸۰b	۶/۸۳b	۱/۰۷b
درصد تغییرات	-۱۲	-۳۶	-۱۱	-۱۸	-۱۸	-۱۸	-۲۱

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۴: مقایسه میانگین برهمکنش رژیم رطوبتی و مراحل نمونه‌گیری بر محتوای نسبی آب برگ و شاخص زنده‌مانی

رژیم رطوبتی	مراحل نمونه‌گیری	محتوای نسبی آب (درصد)	شاخص زنده‌مانی
بدون تنش	۱۱ روز بعد از اعمال تنش	۸۱/۳a	۴/۶۲b
	۱۷ روز بعد از اعمال تنش	۷۵/۷b	۶/۱۶a
تنش کم‌آبی	۱۱ روز بعد از اعمال تنش	۷۵/۷b	۳/۰۷c
	۱۷ روز بعد از اعمال تنش	۶۲/۴c	۳/۸۱bc

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵: مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ و مراحل نمونه‌گیری بر محتوای نسبی آب برگ و شاخص زنده‌مانی

ژنوتیپ	مراحل نمونه‌گیری	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	شاخص زنده‌مانی
پیش‌تاز	۱۱ روز بعد از اعمال تنش	۸۳/۷a	۳/۲۸c
	۱۷ روز بعد از اعمال تنش	۷۰/۲cd	۴/۵۸bc
DN-11	۱۱ روز بعد از اعمال تنش	۷۶/۶b	۳/۴۶bc
	۱۷ روز بعد از اعمال تنش	۶۹/۹cd	۴/۷۹b
سیوند	۱۱ روز بعد از اعمال تنش	۷۴/۶bc	۳/۷۱bc
	۱۷ روز بعد از اعمال تنش	۷۰/۰cd	۴/۲۰bc
مرودشت	۱۱ روز بعد از اعمال تنش	۷۹/۱b	۴/۷۶b
	۱۷ روز بعد از اعمال تنش	۶۶/۱d	۶/۳۶a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II

نتایج نشان داد که تنش خشکی پس از گردهافشانی حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) را به میزان ۱۱ درصد کاهش داده که با شرایط بدون تنش اختلاف معنی‌داری دارد (جدول‌های ۲ و ۳). در بررسی Yooyongwech و همکاران (۲۰۱۲) در گیاه برنج، تغییرات F_v/F_m و سرعت فتوسنتز خالص به‌طور معنی‌داری تحت شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد. نتایج ممنوعی و سیدشریفی (۱۳۸۹) نیز نشان داد که در شرایط محدودیت آبی، اختلاف بین F_0 و F_m یعنی F_v کاهش پیدا میکند و این امر به خاطر افزایش F_0 و کاهش F_m بوده است، به همین دلیل در بین تیمارهای مختلف آبیاری نیز با افزایش محدودیت آب، نسبت F_v/F_m کاهش می‌یابد. کاهش نسبت فوق بیانگر تغییرات راندمان تبدیل فتوشیمیایی است و منجر به بازدارندگی نوری در گیاه میشود (Habibi, Ranjbarfordoei et al., 2006). در بررسی گیاه جو تحت شرایط تنش خشکی گزارش نمود که وقوع تنش خشکی منجر به کاهش سرعت فتوسنتز برگها میشود. او دلیل این امر را بازدارندگی نوری فتوسنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای و محدودیت CO_2 اتافک روزنه‌ای جهت انجام فرآیند فتوسنتز ذکر نمود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، تنش خشکی در مرحله زایشی شاخص زندهمانی را به‌طور معنی‌داری کاهش (۳۶ درصد) داد (جدول ۳). در بین ژنوتیپها نیز از لحاظ این صفت تفاوت معنی‌دار وجود داشت به‌طوری‌که ژنوتیپ مرودشت کم‌ترین میزان شاخص زندهمانی را داشت (جدول‌های ۲ و ۳). با توجه به برهمکنش تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، شاخص زندهمانی تغییر معنی‌داری نداشت ولی در شرایط بدون تنش با گذشت زمان و افزایش سن گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). واکنش ژنوتیپها در مراحل مختلف رشد از نظر شاخص زندهمانی متفاوت بود. افزایش شاخص زندهمانی با گذشت زمان تنها در ژنوتیپ مرودشت معنی‌دار بود (جدول ۵).

غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئیدها

تنش خشکی پس از گردهافشانی موجب کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها (به‌ترتیب ۱۸، ۱۸ و ۱۸ درصد) شد (جدول‌های ۲ و ۳). کاهش غلظت کلروفیل در هنگام مواجه گیاهان با تنش خشکی بر اثر تولید گونه‌های فعال اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل است (Xiao et al., 2008). Oliveira-Neto و همکاران (۲۰۰۹) دلیل کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش خشکی در گیاه سورگوم را تغییرات متابولیکی اعلام نمودند، بنابر گزارش آن‌ها کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات عامل کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیلها میباشد. هم‌چنین اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه، تسریع پیری برگ و تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی را در پی دارد (Silva et al., 2007). روند تغییرات غلظت رنگدانه‌ها نشان داد که به جزء کاروتنوئیدها، غلظت کلروفیل a، b و کل با گذشت زمان و افزایش سن گیاه کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۳). در بین

ژنوتیپ‌ها از نظر غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). Talebi (۲۰۱۲) گزارش داد که ژنوتیپ‌های گندم با عملکرد بالا در شرایط آبیاری مطلوب غلظت کلروفیل بالاتری داشتند و علاوه بر این بین عملکرد و غلظت کلروفیل همبستگی مثبتی وجود داشت.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از جدول ۶ نشان داد که تیمار تنش کم‌آبی در سطح یک درصد روی عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت. نتایج حاصل از برهمکنش تنش کم‌آبی در ژنوتیپ بر عملکرد دانه نشان داد که کم‌ترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ مرودشت بود و بین سه ژنوتیپ دیگر از این نظر تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. تنش کم‌آبی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد (جدول ۸). مقدار کاهش عملکرد دانه در این شرایط در ژنوتیپ‌های مورد بررسی یکسان نبود به طوری که بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ DN-11 (۴۸ درصد) بود و ژنوتیپ‌های پیش‌تاز و سیوند در شرایط تنش کم‌آبی بیش‌ترین عملکرد دانه را دارا بودند. کم‌ترین کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به شرایط عدم تنش مربوط به رقم پیش‌تاز بود (۲۳ درصد). کاهش عملکرد دانه تحت تنش کم‌آبی پس از گردهافشانی در گزارش Savic و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش شده است. در این ارتباط Chalab-Yani و Rashidi (۲۰۱۲) گزارش کردند که در گندم، عملکرد دانه به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت اثر تنش کم‌آبی انتهای فصل کاهش می‌یابد و بر اساس مطالعات انجام شده توسط Abdoli و Saeidi (۲۰۱۳) تنش کم‌آبی پس از گردهافشانی عملکرد دانه را در حدود ۱۸ درصد نسبت به شرایط عدم تنش کاهش داد. بروز تنش خشکی پس از گردهافشانی، احتمالاً عملکرد دانه را از طریق کاهش ذخیره‌سازی مواد پرورده در دانه‌ها و یا کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی دانه‌ها کاهش می‌دهد (Blum and Ebercon, 1976; Wang et al., 1999).

ویژگی‌های کیفی دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس ویژگی‌های کیفی دانه بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای رطوبتی و ژنوتیپ‌ها بود و هم‌چنین برهمکنش تیمار رطوبتی در ژنوتیپ در مورد درصد فیبر دانه معنی‌دار گردید (جدول ۶). مقایسه میانگین ویژگی‌های کیفی دانه در ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی (جدول ۷) نشان داد که محتوی پروتئین و فیبر خام دانه در شرایط عدم تنش کم‌آبی به ترتیب ۱۲/۷ و ۲/۷۶ درصد بود در حالی که این مقادیر در شرایط تنش کم‌آبی به ترتیب به ۱۳/۳ و ۳/۰۶ درصد افزایش پیدا کرد. بنابراین تنش کم‌آبی پس از گردهافشانی به ترتیب موجب چهار و ۱۱ درصد افزایش در میزان پروتئین دانه و فیبر خام ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد. Pierre و همکاران (۲۰۰۸) با اعمال تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه در ۹ ژنوتیپ گندم نان گزارش کردند که کاهش میزان آب باعث افزایش میانگین محتوای پروتئین دانه از

۱۱/۶ به ۱۲/۸ درصد شد. آن‌ها همچنین اعلام کردند که در مناطقی که وقوع تنش خشکی آخر فصل معمول است، احتمال اینکه ژنوتیپهای زودرس کیفیت دانه پایدارتری داشته باشند، بیش تر است. Hui و همکاران (۲۰۰۷) با اعمال تیمار تنش کمآبی در مرحله رشد دانه گندم، افزایش محتوی پروتئین دانه را گزارش نمودند. در مطالعه‌های دیگر Ozturk و Aydin (۲۰۰۴) در اعمال پنج سطح تیمار تنش کمآبی روی چند ژنوتیپ گندم نان اعلام کردند که تنش خشکی اثر قابل توجهی بر اغلب خصوصیات کیفی گندم داشت. به طوری که در تمامی تیمارهای تنش کمآبی محتوی پروتئین دانه نسبت به تیمار آبیاری کامل به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد.

جدول ۶: تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر رژیم رطوبتی و ژنوتیپ بر عملکرد دانه و برخی از ویژگی‌های کیفی دانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد دانه	پروتئین دانه	نشاسته دانه	فیبر خام دانه
بلوک	۲	۰/۹۱ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۸۷ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}
ژنوتیپ	۳	۱/۹۳ ^{ns}	۰/۸۷۴ [*]	۱۸/۱ [*]	۰/۲۰۹ [*]
رژیم رطوبتی	۱	۴۳/۸ ^{**}	۱/۸۲ [*]	۵۲/۳ [*]	۰/۵۱۶ [*]
رژیم رطوبتی × ژنوتیپ	۳	۲/۱۲ [*]	۰/۰۸۵ ^{ns}	۳/۸۷ ^{ns}	۰/۰۷۳ [*]
خطا	۱۴	۰/۶۱	۰/۱۱۰	۱/۷۰	۰/۰۱۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۱/۰	۲/۵۴	۲/۰۶	۳/۸۶

ns, * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد میباشند.

جدول ۷: مقایسه میانگین اثرات ساده رژیم رطوبتی و ژنوتیپ بر عملکرد دانه و برخی از ویژگی‌های کیفی دانه

تیمارها	عملکرد دانه (گرم در بوته)	پروتئین دانه (درصد)	نشاسته دانه (درصد)	فیبر خام دانه (درصد)	ماده خشک دانه (درصد)
ژنوتیپ					
پیش‌تاز	۱/۶۸a	۱۲/۸bc	۶۴/۳a	۲/۷۳c	۹۰/۱a
DN-11	۱/۵۷ab	۱۳/۴a	۶۱/۳b	۳/۱۴a	۸۹/۲c
سیوند	۱/۶۷a	۱۲/۶c	۶۵/۰a	۲/۷۸c	۸۹/۷ab
مروودشت	۱/۴۱b	۱۲/۲ab	۶۲/۲b	۲/۹۷b	۸۹/۶bc
رژیم رطوبتی					
بدون تنش	۱/۸۸a	۱۲/۷b	۶۴/۷a	۲/۷۶b	۹۰/۰a
تنش کمآبی	۱/۲۸b	۱۳/۳a	۶۱/۷b	۳/۰۶a	۸۹/۳b
درصد تغییرات	-۲۲	+۴	-۵	+۱۱	-۱

میانگینهای با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌های دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

- و + به ترتیب کاهش و افزایش نسبت به شرایط بدون تنش.

جدول ۸: مقایسه میانگین برهمکنش رژیم رطوبتی و ژنوتیپ بر عملکرد دانه و فیبر خام دانه

ژنوتیپ	عملکرد دانه (گرم در بوته)		درصد تغییرات	فیبر خام دانه (درصد)	
	بدون تنش	تنش کمآبی		بدون تنش	تنش کمآبی
پیش‌تاز	۱/۹۳a	۱/۴۸bc	-۲۳	۲/۶۹de	۲/۷۸cde
DN-11	۲/۰۱a	۱/۰۷d	-۴۸	۲/۸۴cde	۳/۴۴a
سیوند	۱/۹۴a	۱/۴۰bc	-۲۸	۲/۶۳e	۲/۹۳bc
مروودشت	۱/۶۰b	۱/۱۱cd	-۳۰	۲/۸۹bcd	۳/۰۷b

میانگینهای با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌های دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

درصد فیبر خام دانه در ژنوتیپ DN-11 (۳/۱۴ درصد) به طور معنیداری بیش تر از سایر ژنوتیپها بود (جدول ۷). مقایسه میانگینهای ویژگیهای کیفی دانه در ژنوتیپهای گندم مورد بررسی نشان دادند که تنش خشکی پس از گردهافشانی به ترتیب موجب پنج و یک درصد کاهش درصد نشاسته و ماده خشک ژنوتیپهای مورد بررسی شد (جدول ۷). وقوع تنش خشکی در دوره پرشدن دانه، موجب کاهش ذخیره نشاسته در دانه (به دلیل کاهش معنیدار فراوانی آنزیمهای سنتز نشاسته در شرایط تنش) میشود و به دنبال آن باعث بهم خوردن نسبت پروتئین به نشاسته میشوند (Garcia del Moral *et al.*, 1995). Baker و Ahmadi (۲۰۰۱) نیز در بررسی اعمال تنش خشکی روی ژنوتیپهای مختلف گندم به این نتیجه دست یافتند که سازوکارهای سنتز نشاسته در شرایط تنش خشکی، حساستر از سازوکارهای سنتز پروتئین هستند و بنابراین در شرایط تنش خشکی افت سنتز نشاسته قابل توجهتر است. در مطالعه‌های دیگر اعمال تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه گیاه جو اثر معنیداری بر ذخایر دانه داشت به طوری که در شدیدترین سطح تنش مقدار نشاسته دانه ۱۷ درصد در شرایط گلدانی و ۲۰ درصد در آزمایش مزرعه‌های کم تر از تیمار آبیاری کامل بود (برادران فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۸۹).

متوسط میزان ماده خشک در شرایط بدون تنش ۹۰ درصد بود در حالی که در شرایط تنش به ۸۹/۳ درصد کاهش پیدا کرد. در همین راستا Zhang و Yang (۲۰۰۶) بیان نمودند که تنش خشکی تجمع ماده خشک در مرحله پرشدن دانه را به طور منفی تحت اثر قرار میدهد. در میان ژنوتیپهای مورد بررسی، سیوند با ۶۵ درصد و ژنوتیپ پیشتاز با ۶۴/۳ درصد میزان نشاسته بیش تری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر داشتند. هم چنین ژنوتیپ پیشتاز میزان ماده خشک دانه بیش تری نسبت به ژنوتیپهای DN-11 و مرودشت داشت (جدول ۷).

نتیجه‌گیری

نتایج کلی حاصل از این تحقیق نشان داد که صفات فیزیولوژیکی از جمله حداکثر کارایی فتوسیمیایی فتوسیستم II و غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی طی تنش خشکی به شدت افت یافتند و محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی و با افزایش سن گیاه از مرحله گردهافشانی به بعد کاهش پیدا کرد و ارقام سیوند و پیشتاز کم ترین میزان این پارامتر را داشتند. از دیدگاه اقتصادی رقم مرودشت در شرایط تنش و کنترل رطوبتی کم ترین عملکرد دانه را داشت. اگرچه افت عملکرد دانه این رقم کم تر از سایر ارقام مورد بررسی بود ولی از دیدگاه اقتصادی (یا دیدگاه زارعین) نسبت به سایر ارقام مورد بررسی مناسب نبود. در شرایط عدم تنش کم آبی رقم پیشتاز عملکرد دانه بالاتری نسبت به دیگر ارقام مورد بررسی داشت. این رقم در شرایط تنش کم آبی پس از گردهافشانی نسبت به شرایط عدم تنش کاهش عملکرد دانه کم تری نسبت به دیگر ارقام داشت (متحمل به خشکی). بنابراین از نظر اقتصادی جهت کشت در شرایط آب و هوایی مورد بررسی

مناسبت به نظر رسید. رقم DN-11 در شرایط تنش رطوبتی پس از گردهافشانی بیشترین کاهش عملکرد دانه را از خود نشان داد (حساس به تنش خشکی بین ارقام مورد بررسی). وقوع تنش خشکی پس از گردهافشانی بر ویژگی‌های کیفی بذور تولیدی اثر معنی‌دار داشت. به طوری که درصد پروتئین دانه و فیبر خام را افزایش و موجب کاهش درصد نشاسته و ماده خشک دانه گردید.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از دانشگاه رازی کرمانشاه به دلیل حمایت مالی و فراهم نمودن امکانات و همچنین از مساعدت بخش تحقیقات دامپروری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

برادران فیروزآبادی، م.، حمزهئی، ج. و اسفندیاری، ع. ۱۳۸۹. اثر مدیریت تغذیه نیتروژن و تنش خشکی بر ذخایر کربوهیدرات و نیتروژن بذر و قدرت گیاهچه حاصل از آن در جو (*Hordeum vulgare L.*). مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۳ (۲): ۱۴-۱.

حیدری شریف‌آباد، ح. ۱۳۸۷. استراتژی‌های کاهش خسارت خشکسالی در بخش کشاورزی. مقالات کلیدی دهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. ص: ۴۷-۶۰.

ممنوعی، ا. و سیدشریفی، ر. ۱۳۸۹. بررسی اثر کمبود آب بر شاخصهای فلورسانس کلروفیل و میزان پرولین در شش ژنوتیپ جو و رابطه آن با دمای آسمانه و عملکرد. زیست‌شناسی گیاهی. ۲ (۵): ۶۲-۵۱.

Abdoli, M. and Saeidi, M. 2013. Evaluation of water deficiency at the post anthesis and source limitation during grain filling on grain yield, yield formation, some morphological and phenological traits and gas exchange of bread wheat cultivar. *Albanian Journal Agriculture Sciences* 12 (2): 255-265.

Adejare, F.B. and Umebese, C.E. 2007. Stomatal resistance to low leaf water potential at different growth stages affects plant biomass in *Glycine max L.* *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 2: 136 -141.

Ahmadi, A. and Baker, D.A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. *Journal of Agriculture Sciences* 136: 257-269.

Akram, M. 2011. Growth and yield components of wheat under water stress of different growth stage. *Bangladesh Journal Agriculture Research* 36(3): 455-468.

Arnon, D.T. 1949. Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.

Bilger, W. 1995. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis. In: Schulze, E.D. and Caldwell, M.M. (Eds), *Ecophysiology of Photosynthesis*, Springer, Berlin, pp. 49-70.

Blum, A. and Ebercon, A. 1976. Genotypic responses in sorghum to drought stress: III. Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Science* 16: 428-431.

Chalab-Yani, S. and Rashidi, V. 2012. Selection indices in the improvement of wheat grain yield on drought stress conditions. *African Journal of Agriculture Research* 7 (7): 1177-1183.

Debaeke, P. and Abdellah, A. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy* 21: 433-446.

Ehdaei, B., Alloush, G.A., Madore, M.A. and Waines, J.G. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Post-anthesis changes in internodes water soluble carbohydrates. *Crop Science* 46: 2093-2103.

Garcia del Moral, L.F., Bounjenna, A., Yanez, J.A. and Ramos, J.M. 1995. Forage production, grain yield and protein content in dual-purpose triticale grown for both grain and forage. *Agronomy Journal* 87: 902-908.

Habibi, G. 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. *Acta Agriculture Slovenica* 101 (1): 31-39.

Hui, J., Bo, D.T., Qi, J., Dong, J. and Xing, C.W. 2007. Effects of post-anthesis high temperature and water stress on activities of key regulatory enzymes involved in protein formation in two wheat cultivars. *Acta Agronomica Sinica* 33 (12): 2021-2027.

Lawlor, D.W. 1995. The effect of water deficit on photosynthesis. In Smirnof, N. (ed.) *Environment and Plant Metabolism, Flexibility and Acclimation*. BIOS Scientific Publisher. London, pp. 129-160.

Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.

Lopez-Castaneda, C., Richards, R.A., Farquhar, D.G. and Williamson, R.E. 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Science* 36: 1257-1266.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C. and Sohrabi, E. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Sciences* 4 (8): 580-585.

Marcin'ska, I., Czyczyło-Mysza, I., Skrzypek, E., Filek, M., Grzesiak, S., Grzesiak, M. T., Janowiak, F., Hura, T., Dziurka, M., Dziurka, K., Nowakowska, A. and Quarrie, S. A. 2013. Impact of osmotic stress on physiological and biochemical characteristics in drought-susceptible and drought-resistant wheat genotypes. *Acta Physiology Plant* 35: 451-461.

Nyachiro, J.M., Briggs, K.G., Hoddinott, J. and Johnson-Flanagan, A.M. 2001. Chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and water deficit in spring wheat. *Cereal Research Commun* 29: 135-142.

Oliviera-Neto, C.F., Silva-Lobato, A.K., Goncalves-Vidigal, M.C., Costa Santos, R.C.L., Filho, B.G.R., Alves, G.A., Silva-Maia, W.J.M., Cruz, F.J.R., Neres, H.K.B. and Santos Lopes, M.J. 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Science and Technology* 7: 588-593.

Osborne, B.G., Henry, R. and Southan, M.D. 2007. Assessment of commercial milling performance of hard wheat by measurement of the rheological properties of whole grain. *Journal of Cereal Science* 45: 122-127.

Ouvrard, O., Cellier, F., Ferrare, K., Tusch, D., Lamaze, T., Du-puis, J.M. and Casse-Delbart, F. 1996. Identification and expression of water stress and abscisic acid-regulated genes in a drought-tolerant sunflower genotype. *Plant Molecular and Biology* 31: 819-829.

Ozturk, A. and Aydin, F. 2004. Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Sciences* 190: 93-98.

Pierre, C.S., Peterson, J., Rossa, A., Ohma, J., Verhoevena, M., Larsona, M. and Hoefera, B. 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. *Agronomy Journal* 100: 412-420.

Ranjbarfordoei, A., Samson, R. and Van-Damme, P. 2006. Chlorophyll fluorescence performance of sweet almond [*Prunus dulcis* (Miller) D. Webb] in response to salinity stress induced by NaCl. *Photosynthetica* 44: 513-522.

Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Holaday, A.S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30: 105-111.

Sairam, R.K. and Saxena, D.S. 2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. *Journal Agronomy Crop Sciences* 184: 55-61.

Savic, J., Dodig, D., Kandic, V., Gelamoclija, D. and Quarrie, S. 2012. Bread wheat traits related to yield under post anthesis stress. Original Scientific Paper. Proceedings. 47th Croatian and 7th Inter. Symp, Agriculture Opatija, Croatia. 539-542.

Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F. and Mornhinweg, D.W. 1988. Water relations winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science* 28: 526-531.

Siddique, B.M.R., Hamid, A. and Islam, M.S. 2000. Drought stress effect on water relation of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 41: 35-39.

Silva, M.A., Jifon, J.L., Silva, J.A.G. and Sharma, V. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19: 193-201.

Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Postini, K. and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98: 222-229.

Spiertz, J.H.J. 1977. The influence of temperature light intensity on grain growth in relation to the carbohydrate and nitrogen economy of the wheat plant. *Netherlands Journal of Agriculture and Sciences* 25: 182-197.

Talebi, R. 2012. Evaluation of chlorophyll content and canopy temperature as indicators for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Australian Journal of Basic and Applied Science* 5 (11): 1457-1462.

Talebi, R., Fayaz, F. and Mohammad-Naji, A. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology* 35: 64-74.

Tas, S. and Tas, B. 2007. Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidy in Turkey. *World Journal Agriculture Sciences* 3 (2): 178-183.

Wang, R.Y., Yu, Z.W. and Pan, Q.M. 1999. Changes of endogenous plant hormone contents during grain development in wheat. *Acta Agronomy Sinica* 25: 227-231.

Xiao, X., Xu, X. and Yang, F. 2008. Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cothayana* populations. *Silva Fennica* 42: 705-719.

Yang, J. and Zhang, J. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist* 169 (2): 223-236.

Yooyongwech, S., Chaum, S. and Supaibulwatana, K. 2012. Proline related genes expression and physiological changes in indica rice response to water-deficit stress. *Plant Omics Journal* 5 (6): 597-603.