

تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، پرتو فرابنفش و تنش خشکی بر برخی صفات گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

حمیدرضا بلوچی^۱، *سیدعلی محمدمدرس ثانوی^۲، یحیی امام^۳ و آریا دولت‌بادیان^۱

^۱دانشجوی دکتری گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس، ^۲دانشیار گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس

^۳آستاد بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۸۶/۷/۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۱۴

چکیده

مطالعه فیزیولوژی ارقام گندم تحت تأثیر تغییر عوامل اقلیمی با هدف بهبود تولید آن در آینده دارای اهمیت می‌باشد. هدف از پژوهش گلخانه‌ای حاضر، بررسی برخی از صفات گندم نان تحت تأثیر سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن (۴۰۰ و ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا)، پرتو فرابنفش (A, B, C) و کمبود آب آبیاری (به میزان ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) بوده است. نتایج نشان داد که با افزایش شدت پرتو فرابنفش، غلظت دی‌اکسیدکربن و تنش خشکی درصد کلروفیل، نسبت تغییرات به حداکثر فلئورسانس کلروفیل و عملکرد کاهش یافتند با افزایش دی‌اکسیدکربن تأثیر کمبود آب بر درصد کلروفیل برگ گندم نان جبران شد. با افزایش شدت تابش و کمبود آب تعداد دانه در سنبله کاهش، ولی با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در هر سطح از تابش فرابنفش تعداد دانه در سنبله افزایش یافت. در کل با افزایش شدت تابش و کمبود آبیاری عملکرد گندم نان کاهش یافت، ولی تغییرات عملکرد گندم تحت تأثیر دی‌اکسیدکربن متفاوت بود. در سطوح تابش A و B و بدون تنش آبی با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن میزان عملکرد گندم نان کاهش یافت، ولی در شرایط کمبود آب با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن عملکرد گندم افزایش پیدا کرد. با توجه به نتایج بالا می‌توان گفت که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در شرایط بدون تنش تنها منجر به کاهش درصد کلروفیل برگ شده در حالی که در شرایط تنش با بهبود محتوای کلروفیل، عملکرد افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: تشعشع فرابنفش، تنش کم‌آبی، دی‌اکسیدکربن، گندم نان

مقدمه

بر مول هوا سبب افزایش دمای زمین شده است. این ترکیبات نیز سبب تخریب لایه اوزون استراتوسفری و افزایش میزان ورود پرتو فرابنفش به سطح زمین شده و مشکلاتی را برای موجودات زنده به وجود می‌آورد (توسرامز و همکاران، ۲۰۰۱؛ بوچهلز و همکاران، ۱۹۹۵). به‌طورکلی افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به‌عنوان سوبسترای فتوسنتز، سبب افزایش سطح برگ، زیست توده

امروزه فعالیت‌های صنعتی بشر و احتراق سوخت‌های فسیلی و جنگل‌زدایی، باعث افزایش آلاینده‌ها مانند کلروفلئوروکربن‌ها و اکسیدهای نیتروژن و همچنین افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن جو با نرخ ۱/۵ میکرومول

* - مسئول مکاتبه: modaresa@modares.ac.ir

و تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌گردد. دلیل اصلی این افزایش فتوسنتز و به دنبال آن رشد، اثر رقابتی آنزیم روبیسکو می‌باشد که افزایش دی‌اکسیدکربن سبب افزایش کربوکسیله شدن آنزیم روبیسکو می‌شود (لاولر و میشل، ۲۰۰۰). افزایش دی‌اکسیدکربن نه تنها رشد و عملکرد گیاهان زراعی سه کربنه را از قبیل گندم بهبود بخشیده بلکه روابط آبی گیاه را نیز تحت تأثیر قرار داده است. در مورد گیاهان چهار کربنه و پاسخ ساز و کار فتوسنتزی آنها به افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و شرایط نامساعد محیطی تحقیقات کمی صورت گرفته است (لیکی و همکاران، ۲۰۰۶). با افزایش دی‌اکسیدکربن تعرق و هدایت روزنه‌ای کاهش (دونلی و همکاران، ۲۰۰۰) و توزیع آب افزایش یافته است (وارد و استرین، ۱۹۹۹). ردی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کرده‌اند، زمانی که غلظت دی‌اکسیدکربن به ۷۲۰ میکرومول بر لیتر افزایش یافت فتوسنتز کانوپی پنبه ۴۰ درصد زیاد شد. همچنین گزارش شده که افزایش دی‌اکسیدکربن سبب به تأخیر افتادن پیری برگ‌های نیشکر در شرایط خشکی شده است (جوزف و لئون، ۲۰۰۸). در تحقیقی دیگر اثر مثبت دی‌اکسیدکربن روی عملکرد دانه گندم بیشتر به دلیل افزایش تعداد سنبله و دانه در سنبله در مقایسه با میزان وزن تک‌دانه بود (فانگمیر، ۱۹۹۶). نتایج نشان داده که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن سبب افزایش تولید گندم شده است (پترا و اندریاس، ۲۰۰۸).

به دنبال افزایش دی‌اکسیدکربن، گرم شدن زمین و تخریب لایه اوزن، محدوده وسیعی از تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیک، مورفولوژیک، آناتومیک و رشد گیاهان در پاسخ به پرتو فرابنفش گزارش شده است (زانگ و همکاران، ۲۰۰۳). در گیاهان در معرض پرتو فرابنفش، عواملی مانند سطح برگ، تولید بیوماس، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و ارتفاع گیاه (بالار و همکاران، ۱۹۹۵) کاهش یافته و ضخامت برگ به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد (کرزیک و همکاران، ۱۹۹۸). البته در مقابل با آنچه در افزایش دی‌اکسیدکربن دیده شده، پرتو فرابنفش ارتفاع گیاه را کاهش داده است (توسرامز و

همکاران، ۲۰۰۱). اکسید شدن اکسین در اثر پرتو فرابنفش مانع از رشد سلولی و افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (هاپکینز و همکاران، ۲۰۰۲). از اثرات مخرب پرتو فرابنفش می‌توان به بازداشتن فتوسنتز، تخریب پروتئین‌ها و DNA و بروز تنش‌های اکسیداتیو اشاره کرد (بروسچ و استرید، ۲۰۰۳). حساسیت گیاهان به پرتو فرابنفش متفاوت بوده و به گونه، اثرات محیطی مانند وضعیت آب گیاه، تشعشع فعال فتوسنتزی و فراهمی عناصر غذایی بستگی دارد (مارک و توینی، ۱۹۹۶). گزارش شده است که پرتو فرابنفش اثرات مختلفی بر فتوسنتز داشته که ناشی از تفاوت ژنتیکی، شدت پرتو و شرایط محیطی می‌باشد (کاکانی و همکاران، ۲۰۰۳). مطالعاتی که برهم‌کنش اثر دی‌اکسیدکربن و پرتو فرابنفش را بررسی کرده‌اند بیانگر آن می‌باشند که دی‌اکسیدکربن اثر مخرب افزایش دما را در پنبه (رددی و همکاران، ۲۰۰۵) تسکین نداد و افزایش سطح پرتو فرابنفش در پنبه (ژائو و همکاران، ۲۰۰۳) و سویا (کوتی و همکاران، ۲۰۰۵) بر فرآیندهای زایشی آنها مانند مورفولوژی و جوانه‌زنی دانه گرده مؤثر بود. تشکیل رنگ‌دانه‌ها از سازوکارهای دفاعی گیاهان در برابر پرتو فرابنفش می‌باشد (لانگبارتلس و همکاران، ۲۰۰۲). تنش پرتو فرابنفش سبب کاهش زیست توده گیاهی و عملکرد دانه می‌شود (کاکانی و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین پرتو فرابنفش ظرفیت فتوسنتزی را در غلظت‌های بالای دی‌اکسیدکربن کاهش می‌دهد (زیسکا و ترامورا، ۱۹۹۲).

تنش‌های محیطی و به‌ویژه تنش خشکی سبب افزایش اثر مخرب پرتو فرابنفش می‌شوند (فنگ و همکاران، ۲۰۰۰). نتایج حاصل از تحقیقات در رابطه با واکنش‌های فیزیولوژیک ارقام گندم به تنش خشکی به دلیل مواد گیاهی متفاوت و تا حدودی نیز به علت شرایط مختلف آزمایش متفاوت است. محققان با آزمایش بر روی گندم بهار تحت تنش خشکی و تغییرات غلظت دی‌اکسیدکربن دریافتند که افزایش دی‌اکسیدکربن سبب افزایش سرعت تجزیه کلروفیل و افزایش رشد و عملکرد گندم می‌گردد، اما تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه گندم نداشت. آنها همچنین دریافتند که تنش خشکی نیز باعث افزایش

آبیاری می‌باشد. از آنجا که تاکنون، حداقل در ایران هیچ تحقیقی جامعی بر اثر متقابل سه تنش محیطی عمده (خشکی، پرتو فرابنفش و دی‌اکسیدکربن) که نقش مهمی در کاهش تولید محصولات زراعی در آینده دارند به‌طور هم‌زمان انجام نشده است، تحقیق روی این موضوع بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس با موقعیت ۵۱ درجه و ۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه عرض جغرافیایی و با ارتفاع ۱۲۱۵ متر از سطح دریا طی سال ۱۳۸۵ اجرا گردید. از آنجا که تنش پرتو فرابنفش و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از تیمارهای این آزمایش بودند، استفاده از محیط گلخانه جهت استفاده از لامپ‌های فرابنفش و مهار دی‌اکسیدکربن در محیطی بسته ضروری به نظر می‌آمد. این پژوهش براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد که دو سطح تنش آبی (آبیاری معمولی یا عدم تنش خشکی و آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) به‌عنوان فاکتور اول، دو سطح غلظت گاز دی‌اکسیدکربن ۴۰۰ (غلظت موجود در طبیعت) و ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا به‌عنوان فاکتور دوم و سه سطح پرتو فرابنفش A: ۱۰۰-۲۸۰ نانومتر، B: ۲۸۰-۳۱۵ نانومتر و C: ۳۱۵-۳۸۰ نانومتر به‌عنوان فاکتور سوم تعیین گردید.

سرعت تجزیه کلروفیل می‌شود، اما عملکرد دانه و وزن هزاردانه را نیز کاهش می‌دهد (اسچوتز و فانگمیر، ۲۰۰۱). کاهش محتوای کلروفیل و افزایش غلظت پرولین در برگ نیز تحت تنش خشکی گزارش شده است (کاستریلو و توروچیلو، ۱۹۹۴). همچنین گزارش شده که پرتو فرابنفش نوع B باعث فتواکسیژناسیون^۱ غیرآنزیمی کلروفیل می‌گردد (اشرف و همکاران، ۱۹۹۴؛ آگراوال، ۱۹۹۲). ناگوئس و بیکر (۲۰۰۰) گزارش کردند که خشکی به‌طور معنی‌داری ارتفاع گیاه، سطح برگ در هر گیاه و سطح برگ ویژه را کاهش می‌دهد. آنها گزارش کردند که کاهش نسبت Fv/Fm (عملکرد فلئورسانس: نسبت فلئورسانس متغیر به فلئورسانس حداکثر) در طول خشکی در تمام گونه‌ها به‌عنوان یک تنظیم فیزیولوژیکی انتقال الکترون توسط فرآیندهای ساطع‌کننده انرژی، در گیرنده‌های فتوسیستم II می‌تواند اتفاق بیفتد. همچنین در شرایط خشک برگ‌ها ضخیم شده، ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد و کوتیکول برگ ضخیم می‌شود (پسرکالی، ۱۹۹۹). خشکی و تنش فرابنفش سبب کاهش محتوای آب نسبی در گیاه می‌شود (نوگوئس و همکاران، ۱۹۹۸). خشکی و پرتو فرابنفش سبب تسریع پیری شده و میانگین مقادیر Fv/Fm را کاهش می‌دهند (نوگوئس و بیکر، ۲۰۰۰؛ آرائوس و همکاران، ۱۹۹۸).

هدف از این تحقیق، بررسی برخی صفات گندم نان تحت تأثیر افزایش دی‌اکسیدکربن، تابش فرابنفش و کمبود

جدول ۱- آزمون تجزیه خاک مورد آزمایش.

عمق نمونه (سانتی‌متر)	بافت خاک			نوع بافت	درصد وزنی رطوبت	
	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)		ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی دائم
۰-۲۰	۱۳	۱۹	۶۸	شنی-لومی	۱۲/۶	۷/۰
۲۰-۴۰					۱۴/۸	۸/۲

1- Photooxygenation

۲- Fv: فلئورسانس متغیر و Fm: فلئورسانس حداکثر

براساس این طرح، گندم نان رقم پیشتاز که از ژرم پلاسماهای بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه و نهال بذر کرج تهیه گردیده بود، در کرت‌هایی به طول ۲ متر و عرض ۱ متر در ۴ خط با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متری در تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع کشت شد. در طول دوره رشد کلیه عملیات وجین و کوددهی (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به صورت پیش‌کاشت) انجام گردید. آزمون خاک جهت تعیین ظرفیت زراعی انجام گردید (جدول ۱).

تمامی کرت‌های آزمایشی تا انتهای مرحله ساقه رفتن به طور یکسان و هم‌زمان آبیاری شدند. از ابتدای خوشه رفتن تا آخر گلدهی در حالی که تیمار شاهد در حد ظرفیت زراعی آبیاری شد، تیمار تنش خشکی با تغییر میزان آب آبیاری توسط کنتور طوری تنظیم شد که رطوبت خاک به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی برسد. در این دوره برای اعمال تیمار پرتو فرابنفش از لامپ‌هایی با دوره‌های روزانه ۶۰ دقیقه‌ای (۱۳:۰۰-۱۴:۰۰) با طول موج معین استفاده شد^۱. برای تیمار فرابنفش نوع A از لامپ استفاده نشد، در اصل این تیمار، تیمار شاهد می‌باشد، زیرا این طول موج به طور طبیعی در طبیعت وجود دارد و توسط لایه اوزون جذب نمی‌گردد. لامپ‌ها در ۵۰ سانتی‌متری بالای بوته‌ها قرار گرفته و با افزایش ارتفاع بوته‌ها ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر تا بوته‌ها حفظ شد.

هم‌زمان با اعمال تنش خشکی و پرتو فرابنفش میزان غلظت گاز دی‌اکسیدکربن نیز به میزان ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا افزایش یافت. برای اعمال تیمار دی‌اکسیدکربن بر روی کرت‌های مزبور یک چهارچوب قرار داده و با پلاستیک دور آن پوشانده شد. سپس با گاز دی‌اکسیدکربن و به کمک حسگر الکترونیکی^۲ غلظت درون هر کرت به میزان‌های مورد نظر رسید. جهت ایجاد شرایط یکسان برای تمام کرت‌ها از چهارچوب و پلاستیک استفاده شد.

کلروفیل کل برگ پرچم، به‌عنوان یک واکنش کوتاه مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش توسط دستگاه کلروفیل‌متر بعد از اعمال تیمارها در شرایط گلخانه، به وسیله دستگاه دستی^۳ اندازه‌گیری شد. برای سنجش محتوای پرولین به‌عنوان ترکیبات اسمزی آلی در واکنش میان مدت به تنش از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. محتوای نسبی آب برگ پرچم از طریق رابطه ۱ به‌دست آمد (ریچی و همکاران، ۱۹۹۰).

(۱)

$100 \times \{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تورژسانس}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})\} = \text{درصد محتوای نسبی آب}$

برای بررسی کارایی سیستم نوری II فتوسنتز از دستگاه فلئورمتر^۴ استفاده شد. با این دستگاه پارامتر Fv/Fm حداکثر بازده کوانتومی فتوسیستم II یا نسبت محصول فلئورسانس متغیر به حداکثر در برگ‌های سازگار یافته با تاریکی محاسبه شد. ارتفاع بوته با اندازه‌گیری فاصله طوقه تا قاعده سنبله به‌دست آمد. در پایان عملکرد و اجزای عملکرد در تیمارهای مختلف در یک مترمربع اندازه‌گیری شد. سطح ویژه برگ پرچم از تقسیم مساحت برگ به وزن خشک آن به‌دست آمد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (۱۹۹۷) انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تغییرات تابش فرابنفش در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد پنجه بارور، درصد کلروفیل، تعداد سنبله و عملکرد در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، میزان پرولین و حداکثر بازده کوانتومی فتوسیستم II (نسبت تغییرات به حداکثر فلئورسانس

1- UV-B Philips 40W/12; UV-C Philips TUV 30W/G30T8
2- Testo, ساخت آلمان

3- Chlorophyll Meter, Minolta, SPAD-520, Japan
4- PAM-2000, H WalsGmbH, Effeltrich, Germany

کلروفیل) و در سطح احتمال ۵ درصد بر ارتفاع بوته و محتوای نسبی آب برگ اثر معنی‌داری داشت.

تغییر شدت تابش فرابنفش بر سطح ویژه برگ پرچم و وزن هزاردانه گندم نان اثر معنی‌داری نداشت. با افزایش شدت پرتو فرابنفش از سطح A به C صفات ارتفاع گیاه، محتوای نسبی آب برگ، درصد کلروفیل، حداکثر بازده کوانتومی فتوسیستم II (نسبت تغییرات به حداکثر فلئورسانس کلروفیل) و اجزای عملکرد به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. به‌طوری‌که کمترین ارتفاع گیاه با $49/58$ سانتی‌متر، کمترین نسبت Fv/Fm با $0/264$ ، محتوای نسبی آب با $55/92$ درصد، میزان کلروفیل با $30/44$ درصد، وزن هزاردانه با $23/86$ گرم، تعداد سنبله با $172/9$ سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله با $7/1$ دانه به سطح تشعشع فرابنفش C متعلق بود (جدول ۳).

محل‌های هدف پرتو فرابنفش در گیاهان شامل پروتئین‌ها، غشاهای زیستی، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، فتوسیستم‌های نوری، هورمون‌های گیاهی و DNA می‌باشند (بروسچ و استرید، ۲۰۰۳). پرتو فرابنفش سبب تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود که منجر به واکنش‌های پراکسیداسیون لیپدها می‌گردد و میزان اتیلن موجود در گیاه را افزایش می‌دهد. افزایش اتیلن باعث کاهش رشد طولی و تشویق رشد شعاعی می‌شود (کریزک و همکاران، ۱۹۹۸). ممکن است کاهش ارتفاع گیاه منعکس‌کننده پاسخ‌های نورگرایی یا فتومورفوزنیک گیاه به پرتو فرابنفش گرفته شده توسط گیرنده‌های پرتو فرابنفش نیز باشد (بالار و همکاران، ۱۹۹۵). دیگر

مکانیسم بالقوه برای بازدارندگی رشدی توسط پرتو فرابنفش کاهش یا تخریب هورمون اکسین و تشکیل مواد نوری بازدارنده رشد از اکسین می‌باشد. هاپکینز و همکاران (۲۰۰۲). گزارش دادند که پرتو فرابنفش منجر به توقف توسعه و تقسیم سلولی در گندم می‌شود (هاپکینز و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین گزارش شده که پرتو فرابنفش نوع B باعث فتواکسیژناسیون غیرآنزیمی کلروفیل می‌گردد (آگراوال، ۱۹۹۲). براساس بررسی‌های انجام شده مشخص شده که ژن‌های سنتزکننده کلروفیل در اثر برخورد پرتو فرابنفش به‌شدت آسیب می‌بینند و این نیز دلیل دیگر کاهش کلروفیل می‌باشد که در بعضی مطالعات گزارش شده است.

نتایج تجزیه واریانس در مورد نسبت تغییرات به حداکثر فلئورسانس برگ، درصد کلروفیل، عملکرد و تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و میزان پرولین نشان داد که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر روی صفات ذکر شده دارد. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور، سطح ویژه برگ پرچم، محتوای نسبی آب برگ و وزن هزاردانه نداشت.

افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا موجب کاهش ۲۰ درصدی نسبت تغییرات به حداکثر فلئورسانس برگ، $15/3$ درصدی میزان کلروفیل برگ و تعداد دانه در سنبله به‌میزان ۳۳ درصد گردید. این در حالی است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن منجر به افزایش $11/7$ درصدی تعداد سنبله در مترمربع شد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی از صفات گندم نان تحت تأثیر تیمارهای کمبود آب، افزایش دی‌اکسیدکربن و تابش فرابنفش.

تیمار	ارتفاع (سانتی‌متر)	تعداد پنجه بارور	Fv/Fm	سطح ویژه برگ (پرچم) (سانتی‌متر مربع / گرم)	محتوای آب نسبی (درصد)	درصد کلروفیل	تعداد سنبله در متر مربع	وزن هزاردانه (گرم)	تعداد دانه در سنبله
تابش UV-A	۵۶/۵۸ ^a	۲/۰۰ ^b	۰/۶۲۳ ^a	۱۲۶/۹ ^a	۶۸/۰۹ ^a	۴۰/۶۴ ^a	۲۸۱/۶ ^a	۲۷/۱۷ ^a	۹/۶ ^a
فرابنفش UV-B	۵۳/۰۰ ^{ab}	۲/۵۸ ^a	۰/۵۳۸ ^b	۱۱۹/۴ ^a	۶۳/۳۰ ^{ab}	۳۷/۷۹ ^b	۲۱۸/۰ ^b	۲۶/۲۷ ^{ab}	۸/۴ ^b
UV-C	۴۹/۵۸ ^b	۲/۰۰ ^b	۰/۲۶۴ ^c	۱۱۰/۶ ^a	۵۵/۹۲ ^b	۳۰/۴۴ ^c	۱۷۲/۹ ^c	۲۳/۸۶ ^b	۷/۱ ^c
دی‌اکسید کربن ۴۰۰	۵۲/۴۴ ^a	۲/۳۳ ^a	۰/۵۲۸ ^a	۱۱۴/۶ ^a	۶۱/۶۲ ^a	۳۹/۲۹ ^a	۲۱۰/۲ ^b	۲۵/۵۶ ^a	۱۰/۰ ^a
۹۰۰	۵۳/۶۷ ^a	۲/۰۵ ^a	۰/۴۲۲ ^b	۱۲۳/۳ ^a	۶۳/۲۵ ^a	۳۳/۲۹ ^b	۲۳۸/۲ ^a	۲۵/۹۷ ^a	۶/۸ ^b
تنش آبیاری	۵۶/۲۸ ^a	۲/۵۵ ^a	۰/۵۲۳ ^a	۱۲۷/۳ ^a	۶۷/۹۹ ^a	۳۷/۷۵ ^a	۲۷۹/۶ ^a	۲۷/۷۶ ^a	۱۰/۴ ^a
کم‌آبی کمبود آب	۴۹/۸۳ ^b	۱/۸۳ ^b	۰/۴۲۸ ^b	۱۱۰/۶ ^b	۵۶/۸۹ ^b	۳۴/۸۳ ^b	۱۶۸/۸ ^b	۲۳/۷۷ ^b	۶/۳ ^b

اعداد با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

تنش خشکی، وزن برگ و محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد، اما اثر معنی‌داری روی ارتفاع گیاه و سطح برگ ندارد. نوگوئس و بیکر (۲۰۰۰) گزارش کردند که خشکی به‌طور معنی‌داری ارتفاع گیاه، سطح برگ، تعداد برگ‌ها در هر گیاه، سطح برگ ویژه و وزن خشک برگ را کاهش می‌دهد. آنها گزارش کردند که کاهش Fv/Fm در طول خشکی در تمام گونه‌ها به‌عنوان یک تنظیم فیزیولوژیکی انتقال الکترون توسط فرآیندهای ساطع‌کننده انرژی در گیرنده‌های فتوسیستم II می‌تواند اتفاق بیفتد.

اثر متقابل تابش فرابنفش و دی‌اکسیدکربن در سطح احتمال ۱ درصد بر نسبت تغییرات به حداکثر فلئورسانس برگ، درصد کلروفیل در سطح ۵ درصد بر سطح ویژه برگ پرچم معنی‌دار بود و این دو عامل هیچ‌گونه اثر متقابل معنی‌داری بر سایر صفات (به‌جز عملکرد دانه و پرولین) مورد بررسی نشان ندادند. با افزایش شدت تابش فرابنفش از سطح A به C و افزایش غلظت گاز دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا میزان نسبت Fv/Fm یعنی تغییرات فلئورسانس به‌حداکثر فلئورسانس برگ، و درصد کلروفیل کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین تغییرات فلئورسانس به‌حداکثر فلئورسانس برگ، در تیمار پرتو نوع A، بدون افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن مشاهده شد. سطح ویژه برگ پرچم

کمبود آب اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر ارتفاع گیاه، تعداد پنجه بارور، محتوای نسبی آب برگ، درصد کلروفیل برگ، نسبت تغییرات به حداکثر فلئورسانس برگ و عملکرد و اجزاء عملکرد و میزان پرولین و در سطح ۵ درصد بر سطح ویژه برگ پرچم گندم نان دارد. افزایش شدت تنش خشکی منجر به کاهش ۱۱/۵ درصدی ارتفاع گیاه، ۲۸ درصدی تعداد پنجه بارور، ۱۳ درصدی سطح ویژه برگ پرچم، ۱۶ درصدی محتوای نسبی آب برگ، ۷/۷ درصدی کلروفیل برگ و ۱۸ درصدی نسبت تغییرات به حداکثر فلئورسانس برگ گندم نان گردید (جدول ۳). کمبود آب همچنین منجر به کاهش تعداد سنبله در مترمربع (۳۹/۶ درصد)، وزن هزاردانه (۱۴/۴ درصد) و تعداد دانه در سنبله به‌میزان ۳۹/۴ درصد شد (جدول ۳).

در مناطق خشک برگ‌های کوچک‌تر و ضخیم‌تر از طریق کاهش سطح تبخیر تلفات آب را کاهش می‌دهند و به بهبود روابط آبی کمک می‌کنند (پسرکلی، ۱۹۹۹). در مطالعات اخیر تغییرات عمده‌ای در محتوای نسبی آب گیاهان در معرض پرتو فرابنفش و خشکی کوتاه‌مدت دیده نشد، اما در خشکی بلندمدت و پرتو، این میزان تا حدود ۷۰ درصد کاهش یافت (نوگوئس و همکاران، ۱۹۹۸). آلکسیو و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که در

در شدت تابش فرابنفش B و C با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش یافت (جدول ۴). اگرچه نتایج برخی از مطالعات نشان می‌دهند که پرتو فرابنفش ممکن است ظرفیت فتوسنتزی را در غلظت‌های بالای دی‌اکسیدکربن کاهش دهد، ولی هنوز مکانیسم‌های قابل پاسخی برای این اثرات متقابل مشاهده شده، به‌دست نیامده است (زیسکا و ترامورا، ۱۹۹۲). اما می‌توان چنین انگاشت که با کاهش طول موج پرتو فرابنفش، فتوسنتز و تولید ماده‌خشک کاهش یافته و با کوچک شدن مخرج کسر، سبب افزایش سطح ویژه برگ پرچم گردیده است. اثر متقابل تابش فرابنفش و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن نیز بر درصد کلروفیل اثر معنی‌دار داشت به‌طوری‌که بیشترین درصد کلروفیل را تیمار پرتو A و ۴۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسیدکربن به خود اختصاص داد (جدول ۴). تابش فرابنفش با کمترین طول موج (نوع C) سبب تخریب مولکول کلروفیل و کاهش درصد آن در بافت برگ شد. کاهش غلظت کلروفیل ناشی از تابش پرتو فرابنفش، به‌علت بالا بودن انرژی این طیف نوری سبب تخریب و شکسته شدن پیوندهای مولکول کلروفیل می‌گردد.

همچنین کمترین عملکرد دانه در تیمار تابش فرابنفش نوع C مشاهده شد. در این تیمار افزایش دی‌اکسیدکربن تأثیری بر افزایش عملکرد نداشت و این کاهش عملکرد بیشتر در اثر کاهش سنبله و تعداد دانه در سنبله در اثر تابش پرتو فرابنفش بود (جدول ۴). بیشترین مقدار پرولین در اثر تنش ناشی از تابش پرتو فرابنفش نوع B و C و در غلظت اتمسفری دی‌اکسیدکربن مشاهده شد، به‌طوری‌که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در این سطوح تابش، سبب کاهش مقدار پرولین گشت (جدول ۴). پرتو فرابنفش با تخریب غشاهای سلولی سبب ایجاد اختلالاتی در روابط آبی گیاه می‌گردد و در مقابل گزارش شده که افزایش دی‌اکسیدکربن سبب بهبود وضعیت آبی گیاه می‌شود (لیکی و همکاران، ۲۰۰۶). در نتیجه با افزایش

دی‌اکسیدکربن و تنظیم پتانسیل آب گیاه، سنتز پرولین به‌عنوان یک اسید آمینه موثر در تنظیم پتانسیل آب گیاه کاهش می‌یابد.

در این مطالعه درصد کلروفیل، میزان نسبت تغییرات به حداکثر فلئورسانس برگ، عملکرد و تعداد سنبله در مترمربع و میزان پرولین (در سطح ۱ درصد) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر متقابل تابش فرابنفش و کمبود آب قرار گرفتند (جدول ۲). به‌طوری‌که با افزایش شدت تابش فرابنفش و کمبود آب، درصد کلروفیل برگ کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۵). همچنین در هر یک از سطوح تابش فرابنفش (به‌جز نوع C) با کمبود آب، کاهش معنی‌داری در میزان نسبت تغییرات به حداکثر فلئورسانس برگ دیده نشد (جدول ۵). میزان کلروفیل برگ در سطح تابش فرابنفش A و بدون تنش آبی دارای بیشترین درصد کلروفیل به‌میزان ۴۲/۳ درصد بود و کمترین میزان کلروفیل در سطح فرابنفش C و تنش آبی به‌میزان ۳۰/۳ درصد مشاهده شد (جدول ۵).

کمبود آب سبب آسیب به رنگ‌دانه‌ها و پلاستیدها می‌گردد و محتوای کلروفیل نیز تحت تنش کاهش می‌یابد (کاستریلو و توروجیلو، ۱۹۹۴). حفظ غلظت کلروفیل تحت تنش به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند. به‌نظر می‌رسد که کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش، به‌واسطه اثر کلروفیل‌لاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد (اشرف و همکاران، ۱۹۹۴). پرتو نوع B باعث فتواکسیژناسیون غیرآنزیمی کلروفیل نیز می‌گردد (آگراوال، ۱۹۹۲). مطالعات مختلف الگوی پایداری از میزان کلروفیل در پاسخ به پرتو فرابنفش نمی‌دهد، برای مثال در سویا این میزان کاهش یافت، که با نتایج تحقیق جاری مطابقت دارد. بنابراین تغییر در این نسبت بر سازگاری دلالت ندارد، اما مشخص می‌کند که گیاهان به تنش پاسخ داده‌اند.

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی از صفات گندم نان تحت تأثیر متقابل تیمارهای افزایش دی اکسید کربن و تابش فرابنفش.

تابش فرابنفش	دی اکسید کربن (میکرو لیتر بر لیتر هوا)	درصد کلروفیل	سطح ویژه برگ پرچم (سانتی متر / گرم)	Fv/Fm	عملکرد (گرم در متر مربع)	پرو لین (میکرو گرم در گرم وزن تر برگ)
UV-A	۴۰۰	۴۵/۳۰ ^a	۱۳۵/۳۳ ^a	۰/۶۴۳ ^a	۶۰/۴۶ ^a	۵/۶۴ ^c
	۹۰۰	۳۵/۹۸ ^c	۱۱۸/۴۷ ^{ab}	۰/۶۰۳ ^b	۶۲/۴۸ ^a	۵/۶۰ ^c
UV-B	۴۰۰	۴۱/۵۰ ^b	۱۱۶/۲۶ ^{ab}	۰/۵۴۴ ^c	۴۴/۰۳ ^b	۹/۶۱ ^a
	۹۰۰	۳۴/۰۸ ^c	۱۲۲/۵۵ ^a	۰/۵۳۱ ^c	۵۹/۴۷ ^a	۶/۰۰ ^c
UV-C	۴۰۰	۳۱/۰۷ ^d	۹۲/۵۰ ^b	۰/۳۹۷ ^d	۳۴/۴۱ ^c	۹/۷۸ ^a
	۹۰۰	۲۹/۸۲ ^d	۱۲۸/۷۵ ^a	۰/۱۳۱ ^e	۳۴/۵۴ ^c	۷/۸۴ ^b

اعداد با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین درصد کلروفیل و فلئورسانس برگ گندم نان تحت تأثیر متقابل تیمارهای تابش فرابنفش و کمبود آبیاری.

تابش فرابنفش	آبیاری	درصد کلروفیل	Fv/Fm	تعداد سنبله	عملکرد (گرم در متر مربع)	پرو لین (میکرو گرم در گرم وزن تر برگ)
UV-A	آبیاری	۴۲/۳ ^a	۰/۶۳۶ ^a	۳۵۴/۵ ^a	۸۴/۰۸ ^a	۱/۲۹ ^d
	کمبود	۳۸/۹ ^b	۰/۶۱۰ ^a	۲۰۸/۶ ^{cd}	۳۸/۸۶ ^d	۹/۹۶ ^b
UV-B	آبیاری	۴۰/۷ ^{ab}	۰/۵۲۳ ^b	۲۵۴/۶ ^b	۶۶/۶۰ ^b	۱/۷۵ ^d
	کمبود	۳۴/۹ ^c	۰/۵۳۲ ^b	۱۸۱/۳ ^d	۳۶/۹۰ ^d	۱۳/۸۶ ^a
UV-C	آبیاری	۳۰/۶ ^d	۰/۳۶۶ ^c	۲۲۹/۵ ^{bc}	۵۸/۴۹ ^c	۳/۵۴ ^c
	کمبود	۳۰/۳ ^d	۰/۱۴۲ ^d	۱۱۶/۳ ^e	۱۰/۴۶ ^e	۱۴/۰۸ ^a

اعداد با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی داری ندارند.

اثر متقابل پرتو فرابنفش و کمبود آبیاری بر تعداد سنبله و عملکرد دانه مؤثر بود به طوری که بیشترین تعداد سنبله در تیمار نور طبیعی خورشید و آبیاری کامل مشاهده شد و کمترین تعداد سنبله از تیمار پرتو نوع C و کمبود آب به دست آمد. همچنین با کاهش طول موج عملکرد دانه کاهش یافت و کمبود آب نیز بر این کاهش افزود. کاهش عملکرد دانه ناشی از تنش خشکی در مطالعات متعددی گزارش شده است (اسچوتز و فانگمیر، ۲۰۰۱). تابش پرتو فرابنفش بر فرایندهای زایشی مانند مورفولوژی و جوانه زنی دانه گرده مؤثر بوده و سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (کوتی و همکاران، ۲۰۰۵). بیشترین مقدار پرو لین نیز در تیمار تابش فرابنفش و کاهش آب آبیاری مشاهده شد. زیرا پرو لین به عنوان یک عامل تنظیم کننده روابط آبی گیاه در شرایط تنش افزایش یافته و از این طریق سبب ایجاد تحمل تنش می‌شود.

الگوی تغییرات در پارامترهای فلئورسانس کلروفیلی بین محیط‌های آبی و دیم با افزایش سن گیاه هم جهت بودند یعنی میانگین مقادیر Fv/Fm با پیرشدن گیاه یا در محیط‌های خشک‌تر کاهش یافت (آرائوس و همکاران، ۱۹۹۸). نوگوئس و بیکر (۲۰۰۰) نیز کاهش Fv/Fm در طول خشکی را به عنوان یک تنظیم فیزیولوژیکی انتقال الکترون توسط فرایندهای ساطع کننده انرژی تهیج در گیرنده‌های فتوسیستم II گزارش کردند. آنها هیچ گونه اثر متقابل معنی داری را بین تابش فرابنفش و تنش خشکی بر روابط آبی برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه مشاهده نکردند. همچنین هیچ تغییر معنی داری در Fv/Fm در بین تیمارهای پرتو فرابنفش در معرض خشکی کوتاه مدت دیده نشد. اما در بلندمدت این نسبت کاهش یافت (نوگوئس و بیکر، ۲۰۰۰).

اثر متقابل افزایش دی‌اکسیدکربن و کاهش آب آبیاری، بر تعداد پنجه بارور، درصد کلروفیل، عملکرد و تعداد دانه در سنبله و میزان پرولین برگ گندم نان در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲)، به طوری که با افزایش دی‌اکسیدکربن و کمبود آب تعداد دانه در سنبله کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۶). بیشترین تعداد دانه در سنبله در غلظت ۴۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسیدکربن و بدون تنش آبی و کمترین تعداد دانه در سنبله در شرایط ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسیدکربن و در شرایط کمبود آب به دست آمد و تعداد پنجه بارور تنها با افزایش دی‌اکسیدکربن به کمبود آب واکنش نشان داد و کاهش یافت (جدول ۶). تأثیر کمبود آب با افزایش دی‌اکسیدکربن بر درصد کلروفیل برگ گندم نان جبران شد، به طوری که درصد کلروفیل تنها در شرایط دی‌اکسیدکربن ۴۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا با کمبود آب به میزان ۱۶/۷ درصد کاهش یافت (جدول ۶). این نتایج نشان‌دهنده وجود اثر مثبت افزایش دی‌اکسیدکربن بر کاهش خسارت خشکی بوده که دلیل آن را می‌توان به کم شدن هدایت روزنه‌ای در شرایط افزایش گاز و در نتیجه کاهش اتلاف آب برگ از طریق روزنه‌ها و افزایش کارایی مصرف آب توسط گیاه مربوط دانست (دونلی و همکاران، ۲۰۰۰). جدول ۶ نشان می‌دهد که افزایش دی‌اکسیدکربن در شرایط بدون تنش خشکی تأثیری بر عملکرد نداشت اما در شرایط تنش، سبب افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه گردید. همان‌طور که ذکر شد افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن سبب کاهش هدایت روزنه‌ای، از طریق بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق و از دست رفتن آب شده و گیاه توانسته است عملکرد بالاتری را تولید کند. افزایش معنی‌داری نیز در مقدار پرولین در شرایط تنش خشکی مشاهده می‌شود که در اثر افزایش دی‌اکسیدکربن محیط رشد گیاه این مقدار کاهش یافته است (جدول ۶).

نقش افزایش دی‌اکسیدکربن در کاهش پرولین به افزایش کارایی مصرف آب و کاهش تنش بر می‌گردد. مشابه این نتایج توسط دونلی و همکاران، (۲۰۰۰) گزارش شده است.

اثر متقابل سه عامل کمبود آبیاری، افزایش دی‌اکسیدکربن و سطوح مختلف تابش فرابنفش بر عملکرد و میزان پرولین برگ در سطح ۱ درصد و بر درصد کلروفیل و تعداد سنبله در مترمربع در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

با افزایش شدت تابش و کمبود آب تعداد دانه در سنبله کاهش یافت، ولی با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در هر سطح از تابش فرابنفش تعداد دانه در سنبله افزایش یافت (جدول ۷). بیشترین عملکرد در گندم نان در شرایط بدون تنش آبی و سطح تابش فرابنفش A و غلظت ۴۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسیدکربن به میزان ۹۵/۸۰ گرم در مترمربع و کمترین عملکرد به سطح فرابنفش C و شرایط کمبود آب آبیاری و غلظت ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسیدکربن به میزان ۶/۴۷ گرم در مترمربع تعلق داشت (جدول ۷). در کل با افزایش شدت تابش از سطح A به C و کمبود آب آبیاری عملکرد گندم نان کاهش یافت، ولی تغییرات عملکرد گندم تحت تأثیر دی‌اکسیدکربن متفاوت بود. در سطوح تابش A و B و بدون تنش آبی با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن میزان عملکرد گندم نان کاهش یافت، ولی در شرایط کمبود آب با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن عملکرد گندم افزایش پیدا کرد (جدول ۷). با توجه به نتایج بالا می‌توان گفت که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در شرایط بدون تنش تنها منجر به کاهش درصد کلروفیل برگ شده، در حالی که در شرایط تنش با بهبود محتوای آب نسبی و سطح ویژه برگ و کاهش هدایت روزنه‌ای عملکرد، افزایش یافت.

جدول ۶- مقایسه میانگین برخی از صفات گندم نان تحت تأثیر متقابل تیمارهای افزایش دی‌اکسیدکربن و کمبود آبیاری.

دی‌اکسیدکربن (میکرولیتر بر لیتر هوا)	آبیاری	تعداد پنجه بارور	درصد کلروفیل	تعداد دانه در سنبله	عملکرد (گرم در مترمربع)	پرولین (میکروگرم در گرم وزن تر برگ)
۴۰۰	آبیاری	۲/۴۴ ^a	۴۲/۸۷ ^a	۱۱/۲۲ ^a	۷۱/۴۷ ^a	۱/۲۱ ^d
	کمبود	۲/۲۲ ^a	۳۵/۷۱ ^b	۸/۷۷ ^b	۲۱/۱۳ ^c	۱۵/۴۸ ^a
۹۰۰	آبیاری	۲/۶۷ ^a	۳۲/۶۴ ^c	۹/۵۵ ^b	۶۷/۹۷ ^a	۳/۱۸ ^c
	کمبود	۱/۴۴ ^b	۳۳/۹۴ ^{bc}	۳/۸۸ ^c	۳۶/۳۵ ^b	۹/۷۸ ^b

اعداد با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۷- میانگین برخی از صفات گندم نان تحت تأثیر متقابل تیمارهای افزایش دی‌اکسیدکربن، تابش فرابنفش و کمبود آبیاری.

تابش فرابنفش	دی‌اکسیدکربن (میکرولیتر بر لیتر هوا)	آبیاری	تعداد سنبله	عملکرد (گرم در مترمربع)	پرولین (میکروگرم در گرم وزن تر برگ)	درصد کلروفیل
UV-A	۴۰۰	آبیاری	۳۳۱ ^b	۹۵/۸۰ ^a	۰/۸۶ ^f	۴۸/۷ ^a
		کمبود	۲۰۳ ^{def}	۲۵/۱۳ ^e	۱۰/۴۴ ^b	۴۱/۹ ^b
	۹۰۰	آبیاری	۳۷۸ ^a	۷۲/۳۷ ^b	۱/۷۲ ^{ef}	۳۵/۹ ^c
		کمبود	۲۱۴ ^{def}	۵۲/۶ ^d	۹/۴۸ ^c	۳۶/۰ ^c
UV-B	۴۰۰	آبیاری	۲۳۵ ^{cd}	۶۴/۲۵ ^c	۱/۲۴ ^f	۴۷/۳ ^a
		کمبود	۱۷۸ ^{fg}	۲۳/۸۲ ^e	۱۷/۹۸ ^a	۳۵/۷ ^c
	۹۰۰	آبیاری	۲۷۴ ^c	۶۸/۹۵ ^{bc}	۲/۲۷ ^e	۳۴/۰ ^c
		کمبود	۱۸۵ ^{efg}	۵۰ ^d	۹/۷۴ ^{bc}	۳۴/۱ ^c
UV-C	۴۰۰	آبیاری	۲۲۹ ^{cde}	۵۴/۳۷ ^d	۱/۵۳ ^{ef}	۳۲/۶ ^{ce}
		کمبود	۸۵ ^h	۱۴/۴۶ ^f	۱۸/۰۴ ^a	۲۹/۵ ^{ef}
	۹۰۰	آبیاری	۲۳۰ ^{cde}	۶۲/۶۲ ^c	۵/۵۵ ^d	۲۷/۹ ^f
		کمبود	۱۴۸ ^g	۶/۴۷ ^g	۱۰/۱۳ ^{bc}	۳۱/۶ ^c

اعداد با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

دی‌اکسیدکربن روی عملکرد دانه گندم بیشتر به دلیل افزایش تعداد سنبله و دانه در سنبله بود تا میزان وزن تک دانه (فانگمیر، ۱۹۹۶).

بیشترین مقدار پرولین در سطوح فرابنفش B و C و شرایط کمبود آب و غلظت ۴۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسیدکربن به ترتیب برابر ۱۷/۹۸ و ۱۸/۰۴ میکروگرم در گرم وزن تر برگ بود و کمترین میزان پرولین برگ در سطوح فرابنفش A و B و شرایط بدون تنش آبی و غلظت ۴۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسیدکربن به ترتیب برابر ۰/۸۶ و ۱/۲۴ میکروگرم در گرم وزن تر برگ مشاهده شد (جدول ۷). لوتز و همکاران (۱۹۹۶) چهار دلیل برای افزایش تجمع پرولین در حین تنش پیشنهاد

محققان با آزمایش روی گندم بهاره تحت تنش خشکی و تغییرات غلظت دی‌اکسیدکربن دریافتند که افزایش دی‌اکسیدکربن سبب افزایش سرعت تجزیه کلروفیل a و افزایش رشد و عملکرد گندم (تا ۴۶ درصد عملکرد دانه و تا ۱۹ درصد عملکرد ساقه اصلی) می‌گردد. آنها همچنین مشاهده نمودند که تنش خشکی نیز باعث افزایش سرعت تجزیه کلروفیل a می‌شود، اما بیوماس کل اندام هوایی را تا ۴۰ درصد، عملکرد دانه را تا ۴۵ درصد، بیوماس کل را تا ۳۰ درصد و وزن هزاردانه را تا ۶ درصد کاهش می‌دهد (اسچوتز و فانگمیر، ۲۰۰۱). در مطالعات انجام شده غلظت دی‌اکسیدکربن تأثیر معنی‌داری روی وزن هزاردانه گندم نداشت و اثر مثبت

در کل می‌توان چنین نتیجه گرفت که در آینده با تغییر محیط زیست جهانی، افزایش گازهای گلخانه‌ای و تابش فرابنفش، عملکرد دانه گندم نان که از مهم‌ترین محصولات غذایی جهان می‌باشد کاهش پیدا خواهد کرد. این عامل با گسترش جهانی در کشورهای صنعتی و در حال توسعه، باعث به خطر افتادن امنیت غذایی بشر در آینده‌ای نزدیک خواهد شد.

کرده‌اند که عبارت‌اند از: تحریک سنتز آن از اسید گلوتامیک، کاهش صادرات آن از طریق آوند آبکشی، جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش و تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها. رابطه متقابلی بین مولکول پرولین و سطح آب گریز پروتئین‌ها برقرار شده و به علت افزایش سطح کل آب‌دوست مولکول‌های پروتئینی، پایداری آنها افزایش می‌یابد.

منابع

1. Agrawal, S.B. 1992. Effects of supplemental UV-B radiation on photosynthetic pigment, protein and glutathione content in green algae. *Environ. and Exp. Bot*, 32: 137-143.
2. Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., and Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell and Environ*, 24: 1337-1344.
3. Arraus, S.L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoal, H., and Nachit, M.M. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in drum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crop Res*, 55: 202-223.
4. Ashraf, M.Y., Azmi, A.R., Khan, A.H., and Ala, S.A. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiol. Planta*, 16: 185-191.
5. Ballare, C., Barnes, P.W., and Flint, S.D. 1995. Inhibition of hypocotyls elongation by ultraviolet-B radiation in de-etiolating tomato seedlings. I. the photoreceptor. *Physiol. Plant*, 93: 584-592.
6. Bates, I.S., Waldern, R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
7. Brosche, M., and Strid, A. 2003. Molecular events following perception of ultraviolet-B radiation by plants. *Physiol Plant*, 117:1-10.
8. Buchholz, G., Ehmann, B., and Wellman, E. 1995. Ultraviolet light inhibition of phytochrome induced flavonoid biosynthesis and DNA photolyase formation in mustard cotyledons (*Synapis alba* L.). *Plant Physiol*, 108: 227-234.
9. Castrillo, M., and Turujillo, I. 1994. Ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivars of French bean plants under water stress and rewatering *journal of Photosynthetica*, 30: 175-181.
10. Donnelly, A., Jones, M.B., Burke, J.I., and Schnieders, B. 2000. Elevated CO₂ provides protection from O₃ induced photosynthetic damage and chlorophyll loss in flag leaves of spring wheat. *Agri. Ecosyst. and Environ*, 80: 159-168.
11. Fangmeier, A. 1996. Effects of elevated CO₂, nitrogen supply and tropospheric ozone on spring wheat. I. Growth and yield. *Environ. pollution*, 91: 381-390.
12. Feng, H., An, L., Tan, L., Hou, Z., and Wang, X. 2000. Effect of enhanced ultraviolet-B radiation on pollen germination and tube growth of 19 taxa in vitro. *Environ. and Exp. Bot*, 42: 45-53.
13. Hopkins, L., Bond, M.A., and Tobin, A.K. 2002. Effects of ultraviolet radiation on cell division and leaf growth. *Plant Cell and Environ*, 25: 617-625.
14. Joseph, C.V., Vu Leon, H., and Allen, Jr. 2008. Growth at elevated CO₂ delays the adverse effects of drought stress on leaf photosynthesis of the C4 sugarcane. *J. of Plant Physiol.* (In Press).
15. Kakani, V.G., Reddy, K.R., Zhao, D., and Koti, S. 2003. Influence of UV-B radiation on agricultural crops: A review. *Agric Ecosyst Environ*; (in press).
16. Krizek, D.T., Brita, S.J., and Miewcki, R.M. 1998. Inhibitory effects of ambient level of solar UV-A and UV-B on growth of cv. New Red Fire lettuce. *Plant Physiol*, 103: 1-7.
17. Koti, S., Reddy, K.R., Kakani, V.G., Zhao, D., and Reddy, V.R. 2005. Interactive effects of carbon dioxide, temperature and ultraviolet-B radiation on flower and pollen morphology, quantity and quality of pollen in soybean (*Glycine max* L.) genotypes. *J. Exp. Bot*, 56: 725-736.

18. Lawlor, D.W., and Mitchell, R.A.C. 2000. Crop ecosystem responses to climatic change: Wheat. In: Reddy KR, Hodges HF (eds) *Climate Change and Global Crop Productivity*. CABI Publishing, Wallingford, Pp: 57-80.
19. Langebartels, C., Schraudner, M., Heller, W., Ernst, D., and Sandermann H. 2002. Oxidative stress and defense reactions in plants exposed to air pollutants and UV-B radiation. In: Inze D, Van Montagu M, editors. *Oxidative stress in plants*. London: Taylor and Francis; Pp: 105-35.
20. Leakey, A.D.B., Uribeharrea, M., Ainsworth, E.A., Naidu, S.L., Rogers, A., and Ort, D.R. 2006. Photosynthesis, productivity, and yield of maize are not affected by open-air elevation of CO₂ concentration in the absence of drought. *Plant Physiol*, 140:779-90.
21. Lutts, S.J., Kint, M., and Bouharmont, J. 1996. Effect of various salts and Mannitol on ion and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice callus cultures. *J. of Plant Physiol*. 149: 186-195.
22. Mark, U., Tevini, M. 1996. Combination effect of UV-B radiation and temperature on sunflower and maize seedlings. *J. of Plant Physiol*, 148:49-56
23. Nogues, S., and Baker, N.R. 2000. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *J. of Exp. Bot*, 348: 1309-1317.
24. Nogues, S., Allen, D.J., and Baker, N.R. 1998. Ultraviolet radiation effects on water relation, leaf development and photosynthesis in droughted pea plants, *Plant Physiol*, 117: 173-181.
25. Pessarkli, M. 1999. *Hand book of plant and crop stress*. Marcel Dekker Inc. 697p.
26. Petra, H., and Andreas, F. 2008. Effects of elevated atmospheric CO₂ on grain quality of wheat. *J. of Cereal Sci*, 48: 580-591.
27. Reddy, K.R., Prasad, P.V.V., and Kakani, V.G. 2005. Crop responses to elevated carbon dioxide and interactions with temperature: cotton. *J. Crop Improve*, 13: 157-191.
28. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., and Haloday, A.S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci*, 30: 105-111.
29. SAS Institute Inc. 1997. *SAS/STAT User's Guide*, Version 6, 4th ed. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 1027P.
28. Schutz, M., and Fangmeier, A. 2001. Growth and yield responses of spring wheat to elevated CO₂ and water limitation. *Enviro Pollution*, 114: 187-194.
30. Ward, J.K., and Strain, B.R. 1999. Elevated CO₂ studies: past, present and future. *Tree Physiol*, 19: 211-220.
31. Zhang, M., An, L., Feng, H., Chen, T., Chen, K., Liu, Y., Tang, H., Chang, J., and Wang, X. 2003. The cascade mechanisms of nitric oxide as second messenger of ultraviolet-B in inhibiting mesocotyl elongations. *Photochem. and Photobiol*, 77: 219-225.
32. Zhao, D., Reddy, K.R., Kakani, V.G., Read, J.J., and Sullivan, J.H. 2003. Growth and physiological responses of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to elevated carbon dioxide and ultraviolet-B radiation under controlled environmental conditions, *Plant Cell Environ*, 26: 771-782.
33. Ziska, L.H., and Teramura, A.H. 1992. CO₂ enhancement of growth and photosynthesis in rice: Modification by increased ultraviolet-B radiation, *Plant Physiol*, 99: 473-481.

Effect of CO₂ Enrichment, Ultra-violet and Drought stress on some traits of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.)

H.R. Balouchi¹, *S.A.M. Modarres Sanavy², Y. Emam³ and A. Dolatabadian¹

¹Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, ²Associate Prof., Dept. of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, ³Professor, Dept. of Agronomy, Shiraz University, Shiraz, Iran

Abstract

Physiological study of wheat varieties under microclimate changes is very important to improve of their production in the future. The objective of this research was investigation of some quantitative traits in bread wheat under different levels of carbon dioxide (400 and 900 ppm), ultraviolet radiation (UV A, B, and C) and water deficit (up to 60% of field capacity). Experimental design was factorial arrangement in randomized complete block design with three replications. Results showed that grain yield, chlorophyll percent and maximum quantum efficiency in photosystem II decreased in bread wheat under water deficit when ultraviolet radiation intensity and concentration of carbon dioxide increased. CO₂ enrichment improved chlorophyll percent at water deficit. Seed number per spike decreased with ultraviolet radiation intensity and water deficit increased. But CO₂ enrichment increased seed number per spike in each level of ultraviolet radiation. However, Grain yield decreased when water deficit and ultraviolet radiation intensity increased. Grain yield variations were difference under carbon dioxide. At UVA and B radiations without water deficit, bread wheat grain yield decreased with CO₂ enrichment. At water deficit with CO₂ enrichment, grain yield increased. CO₂ enrichment without water deficit decreased chlorophyll percent; while at stress conduction, grain yield increased due to improve chlorophyll percent.

Keywords: Ultraviolet radiation; Water deficit stress; Carbon dioxide; Bread wheat

*- Corresponding Author; Email: modaresa@modares.ac.ir