

بررسی عملکرد دانه و صفات کیفی ذرت شیرین (*Zea mays L. var. Sacarata*)

تحت تیمارهای کم آبی، تشعشع فرابنفش و ازدیاد دی اکسید کربن

حبیبه جهانبخش^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۲*}، فائزه قناتی^۳، اکبر توکلی^۴،

مهرداد مرادی قهدریجانی^۵ و مهدی پناهی^۶

۱، ۲ و ۴. دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. دانشیار، دانشکده علوم زیستی دانشگاه تربیت مدرس، گروه علوم گیاهی

۵. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، واحد کرج

۶. استادیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۶/۶)

چکیده

تابش فرابنفش، کم آبی و افزایش دی اکسید کربن از مهم ترین عوامل محیطی در تغییر اقلیم جهانی اند. به همین منظور این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران در سال ۱۳۹۰ با هدف بررسی عملکرد دانه و برخی صفات کیفی ذرت شیرین تحت سطوح مختلف دی اکسید کربن (۵۰۰، ۹۰۰ و ۱۳۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا)، اشعه فرابنفش (UV-A, B, C) و سطح آب آبیاری (آبیاری کامل یا عدم تنش خشکی و کمبود آب به مقدار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۰ اجرا شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل دی اکسید کربن، کم آبی و تابش فرابنفش، تأثیر شایان توجهی در عملکرد دانه و Fv/Fm داشت و بیشترین عملکرد دانه در اثر تیمار شاهد آبیاری و غلظت ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا با UV-A به دست آمد. بیشترین میزان Fv/Fm در شرایط اعمال کم آبی و غلظت ۱۳۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی اکسید کربن با UV-C به دست آمد. اثر متقابل کم آبی با دی اکسید کربن (۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا) مقدار پرولین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل a+b، کارتنوئیدها و فلاونوئیدها را کاهش داد. پروتئین دانه نیز با کاهش طول موج تابش فرابنفش کاهش یافت. بدین ترتیب سه تنش عمده محیطی با کاهش توان تولیدی گیاه، مقدار عملکرد آن را کاهش داد.

واژه های کلیدی: اشعه فرابنفش، دی اکسید کربن، ذرت شیرین، عملکرد دانه، کمبود آب.

مقدمه

همگام با گسترش کشورهای توسعه یافته صنعتی و کشورهای در حال توسعه، با افزایش گازهای گلخانه ای و تابش فرابنفش روبه رو خواهیم شد. این عامل ها در کنار مشکل کمبود آب از مهم ترین تهدیدهای آینده تأمین غذای بشر در سراسر جهان است (Fitzgerald & Ediwn, 2005). خشکی مهم ترین عامل محدودکننده

تولید موفقیت آمیز محصولات زراعی در جهان و نوعی فرایند فیزیکیوشیمیایی پیچیده است که بسیاری از مولکول های بزرگ و کوچک از قبیل اسیدهای نوکلئیک، پروتئین ها، هیدرات های کربن، چربی ها، هورمون ها، یون ها، اسیدهای آزاد و عناصر معدنی را تحت تأثیر قرار می دهد (Shao et al., 2005). به گفته دانشمندان، تحت شرایط تنش کم آبی، افزایش معنی داری در مقدار

است که UV-B سبب فتواکسیژناسیون غیرآنزیمی کلروفیل می‌شود (Agrawal, 1992). هدف از اجرای این آزمایش شناخت تأثیرات همزمان تنش کم‌آبی، تابش فرابنفش و ازدیاد دی‌اکسید کربن بر صفات کیفی گیاه ذرت شیرین نظیر مقدار هیدرات کربن‌های محلول، پروتئین، کلروفیل، رنگدانه‌های فتوسنتزی و درصد پروتئین بذر بود. ذرت شیرین از آن جهت انتخاب شده است که در میان گیاهان زراعی، به دلیل داشتن ویژگی‌های مطلوب و قدرت سازگاری زیاد در شرایط اقلیمی گوناگون، تولید زیاد ماده خشک، ارزش غذایی مطلوب و بازده زیاد مصرف آب از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این گیاه بعد از گندم و برنج مهم‌ترین گیاه زراعی جهان شناخته شده است (Torbert *et al.*, 2004).

مواد و روش‌ها

آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران در شرایط کنترل‌شده دما و رطوبت 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 ۱۳۹۰ اجرا شد. این تحقیق براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت که دو سطح تنش آبی (آبیاری معمولی یا عدم تنش خشکی، آبیاری بعد از تبخیر ۶۰ درصد از آب قابل استفاده توسط گیاه) فاکتور اول؛ سه سطح غلظت گاز دی‌اکسید کربن (۵۰۰، ۹۰۰ و ۱۳۰۰ میکرومول بر مول هوا) فاکتور دوم؛ و سه سطح اشعه فرابنفش (UV-A, B, C) فاکتور سوم بودند. برای اجرای این طرح رقم ۴۰۳ ذرت شیرین (سینگل کراس میان‌رس، تولید سال ۱۳۸۹) از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد و همانند مزرعه در خاک کف گلخانه پلاستیکی در کرت‌هایی به ابعاد ۱/۸×۳ متر و در ۴ خط با فاصله خطوط ۶۰ سانتی‌متر با تراکم تقریبی ۸۳۰۰۰ بوته در هکتار در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۲۵ کشت شد. فاصله بین هر کرت با کرت بعدی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. در طول دوره رشد، عملیات وجین و کوددهی انجام گرفت. آزمون خاک نیز برای تعیین ظرفیت زراعی اجرا شد (جدول ۱).

پروتلین، پروتئاز و اسیدهای آمینه مشاهده می‌شود. کاهش رشد، کاهش مقدار کلروفیل و کاهش فعالیت آنزیم RuBPC نیز گزارش شده است (Bertamini *et al.*, 2006). محتوای پروتئین بذر ذرت شیرین نیز در تنش کم‌آبی به علت کاهش مقدار نشاسته بذر افزایش می‌یابد (Oktem, 2008). محققان پیش‌بینی می‌کنند که غلظت CO₂ جو از ۳۷۰ به ۵۵۰ میکرومول بر مول هوا تا اواسط قرن حاضر افزایش پیدا خواهد کرد (Ainaworth *et al.*, 2004). گزارش‌های دیگری نیز تخمین زده‌اند که غلظت این گاز تا سال ۲۱۰۰ به ۵۴۰ تا ۹۷۰ میکرومول بر مول هوا افزایش خواهد یافت (IPCC, 2001). پاسخ عملکرد به افزایش CO₂ به گونه‌های گیاهی بستگی دارد. گونه‌هایی که ظرفیت انتقال بهتر و مخزن بزرگ‌تری دارند می‌توانند بهترین افزایش‌دهنده مصرف کربن اضافی تثبیت‌شده در وضعیت CO₂ زیاد باشند (Finnan *et al.*, 2002). اگرچه اسیملاسیون کربن در گونه‌های سه‌کربنه در معرض افزایش کوتاه‌مدت دی‌اکسید کربن نسبت به چهارکربنه‌ها بیشتر تحریک می‌شود، این افزایش اغلب در شرایط افزایش ماهانه یا هفتگی دوام ندارد، برای مثال افزایش غلظت این گاز از ۴۰۰ به ۹۰۰ قسمت در میلیون (ppm) مقدار رنگدانه‌های آنتوسیانین، فلاونوئیدها و کلروفیل a, b و a+b برگ را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Balochi *et al.*, 2009). برخی محققان دریافتند که محتوای کلروفیل برگ پرچم با افزایش غلظت CO₂ در طول فصل رشد تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد (Torbert *et al.*, 2004). گیاهان نیز مانند سایر موجودات زنده تحت تأثیر پرتو فرابنفش قرار می‌گیرند و هر گونه گیاهی پاسخی متفاوت به این پرتو می‌دهد. ترکیباتی که پرتو UV را در اپیدرم گیاهان عالی جذب می‌کنند، اغلب، فرآورده‌های مسیر فنیل پروپانوئید مثل فلاونوئیدها از جمله آنتوسیانین‌ها، کومارین‌ها، لیگنین‌ها و سایر موادند (Prasad *et al.*, 2005). تابش فرابنفش، سنتز فلاونوئیدها و دیگر ترکیبات پلی‌فنولیک مانند تانن و لیگنین را به‌عنوان محافظ در برابر آثار مضر پرتو، تحریک می‌کند (Smrkolj *et al.*, 2005). مقدار آنتوسیانین‌ها در پاسخ به تابش UV-B و UV-C افزایش می‌یابد که این افزایش تنها در تیمار UV-C نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود. همچنین گزارش شده

عدم ایجاد خطا، کلیه بذور برداشت شده هر کرت به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. در پایان وزن نهایی بذور به صورت کیلوگرم در هکتار گزارش شد.



شکل ۱. چارچوب‌های پلاستیکی برای کنترل غلظت دی‌اکسید کربن کرت‌های آزمایشی

غلظت کلروفیل به روش آرنون، در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر UV-S مدل Sinco 2100 قرائت شد. غلظت کلروفیل نیز از طریق روابط موجود بر حسب میلی‌گرم کلروفیل a، b و a+b و کاروتنوئید در هر گرم وزن تر محاسبه شد (Ashraf *et al.*, 1994). برای سنجش آنتوسیانین و فلاونوئیدها مقدار جذب عصاره حاصل از برگ گیاه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Sinco 2100UV-s) در طول موج ۵۵۰ نانومتر برای آنتوسیانین و طول موج‌های ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر برای فلاونوئیدها اندازه‌گیری شد و غلظت آنتوسیانین براساس میلی‌مول در گرم وزن تر بیان شد (Krizek *et al.*, 1998). برای تعیین مقدار پروتئین بذر ذرت شیرین، از دستگاه آنالیزگر اینفراماتیک ۸۶۰۰، بر اساس استانداردهای انجمن بین‌المللی شیمی غلات (IAC) استفاده شد. برای اندازه‌گیری پرولین، ابتدا ۰/۲ گرم از برگ وزن شد و سپس ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به آن اضافه و ساییده شد. عصاره‌های حاصل در دور ۱۸۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از عصاره جدا و به تمام آنها ۲ میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در بن‌ماری دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سرد کردن لوله‌ها به هر کدام مقدار ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و

تمامی کرت‌ها تا ابتدای مرحله ساقه رفتن به طور یکسان و همزمان آبیاری شدند. پس از آن درحالی‌که تیمار شاهد در حد ظرفیت زراعی آب آبیاری دریافت می‌کرد، تیمار تنش کم‌آبی با تغییر فواصل آبیاری طوری تنظیم شد که رطوبت خاک در زمان گلدهی به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی رسید. در مرحله گلدهی قبل از آبیاری نمونه‌هایی از برگ بلال در هر سطوح تیماری از شاهد و تنش به طور تصادفی تهیه شد.

جدول ۱. آزمون تجزیه خاک مورد آزمایش

عمق نمونه (سانتی‌متر)	بافت خاک			ظرفیت زراعی (F.C.)
	رس٪	سیلت٪	شن٪	
۶۰-۰	۱۳	۱۹	۶۸	۹/۹۵
				شنی-لومی

برای اعمال تیمار پرتوفرابنفش از لامپ‌های زیر با دوره‌های روزانه ۶۰ دقیقه‌ای تا آخر فاز گلدهی در ساعت ۱۳ تا ۱۴ با طول موج معین استفاده شد (UV-B Philips 40W/12; UV-C Philips TUV30W/G30T8). از آنجا که زمان‌های بیشتر از ۱ ساعت رشد گیاه را به طور کامل متوقف می‌کرد، دوره زمانی ۶۰ دقیقه‌ای برای اعمال این تیمار در نظر گرفته شد. برای تیمار تابش UV-A (شاهد) از لامپ استفاده نشد، زیرا این تیمار به طور طبیعی در محیط وجود دارد و توسط لایه ازن جذب نمی‌شود. لامپ‌ها در ۵۰ سانتی‌متری بالای بوته‌ها قرار داده شد و با افزایش ارتفاع بوته‌ها ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر تا بوته‌ها حفظ شد. همزمان با اعمال تنش خشکی و تابش فرابنفش، غلظت گاز CO₂ نیز به مقدار ۵۰۰، ۹۰۰ و ۱۳۰۰ میکرومول بر مول هوا افزایش یافت. برای اعمال تیمار CO₂ روی کرت‌های مزبور یک چارچوب قرار داده و با پلاستیک دور آن پوشانده شد. سقف این چارچوب باز بود (شکل ۱). سپس با گاز CO₂ و به کمک حسگر الکترونیکی (ساخت کارخانه Testo آلمان) غلظت درون هر کرت به مقدارهای مورد نظر رسید. به منظور ایجاد شرایط یکسان برای تمام کرت‌ها از چارچوب و پلاستیک استفاده شد. همزمان با رسیدن گیاه به مرحله رسیدگی خمیری، بذور ذرت با رطوبتی بین ۴۰ تا ۵۰ درصد از سطحی به اندازه یک متر مربع با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، برداشت شدند و به دلیل

تابش فرابنفش بر فتوسنتز گیاه است که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا و تحریک گیاه به رشد رویشی و کاهش تعداد دانه همراه است (Interdonato *et al.*, 2011). شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش فتوسنتز و کاهش انتقال مواد به دانه، سبب کم شدن وزن دانه و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود (Alexieva *et al.*, 2001). در شرایط افزایش دی‌اکسید کربن هوا و بدون تنش آبی، رشد رویشی گیاه افزایش و رشد زایشی آن کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده اثر مثبت افزایش دی‌اکسید کربن بر کاهش خسارت خشکی است و دلیل آن را می‌توان کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط افزایش گاز و در نتیجه کاهش اتلاف آب برگ از طریق روزنه‌ها و افزایش کارایی مصرف آب توسط گیاه دانست (Donnelly *et al.*, 2000).

لوله‌ها به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه با استفاده از دستگاه ورتکس تکان داده شد. پس از آن فاز رویی که قرمز رنگ و حاوی پرولین محلول در تولوئن بود برداشته شد و همزمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفوتومتر قرار گرفت و اعداد در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (Bates, 1973). غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد. تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اجرا شد (Steel & Torrie, 1998).

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که تیمار سه‌گانه دی‌اکسید کربن، کم‌آبی و تابش فرابنفش تأثیر معنی‌داری بر میزان Fv/Fm داشت (جدول ۲). همچنین جدول مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین میزان Fv/Fm در شرایط اعمال کم‌آبی و غلظت ۱۳۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسید کربن با UV-C و همچنین کمترین میزان Fv/Fm در شرایط بدون تنش، غلظت ۵۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسید کربن و UV-C به دست آمد (جدول ۳). نتایج این آزمایش نشان داد وجود اثر متقابل دوگانه دی‌اکسید کربن با پرتو فرابنفش و نیز کم‌آبی با پرتو فرابنفش، تأثیر معنی‌داری بر میزان Fv/Fm داشت، ولی کم‌آبی به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت، اما افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و کاهش طول موج تابش فرابنفش تأثیر معنی‌داری بر میزان Fv/Fm گذاشت (جدول ۲). مطالعات نشان داده‌اند که بافت‌های فتوسنتزی نسبت به بافت‌های غیرفتوسنتزی به تابش فرابنفش حساس‌ترند، زیرا در این بافت‌ها اکسیژن بیشتری در دسترس است و احتمال تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و ایجاد تنش اکسیداتیو بیشتر است (Krizek *et al.*, 1998). Nogus & Baker (2000) نیز کاهش Fv/Fm در اثر طول مدت خشکی و کاهش طول موج تابش فرابنفش را به عنوان نوعی تنظیم فیزیولوژیکی انتقال الکترون توسط فرآیندهای

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که تیمار سه‌گانه دی‌اکسید کربن، کم‌آبی و تابش فرابنفش تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه در حالت آبیاری شاهد، غلظت ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسید کربن و UV-A و کمترین عملکرد در حالت اثر متقابل سه‌گانه کم‌آبی، غلظت ۱۳۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسید کربن و UV-B به دست آمد. در شرایط آبیاری کامل افزایش غلظت CO₂ به ۹۰۰ میکرولیتر به افزایش عملکرد دانه در تمامی طول موج‌های پرتو فرابنفش منجر شد. در صورتی که افزایش غلظت CO₂ به ۱۳۰۰ میکرولیتر به جز در حالت همراه بودن با UV-B، به کاهش عملکرد نسبت به غلظت شاهد CO₂ انجامید. این در حالی است که افزایش غلظت CO₂ به ۱۳۰۰ میکرولیتر در شرایط تنش کم‌آبی و UV-A، خسارت خشکی را به شدت کاهش داد و موجب غیرمعنی‌دار شدن کاهش عملکرد دانه شد (جدول ۳).

اثر مثبت CO₂ بر عملکرد دانه گندم بیشتر به دلیل افزایش تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله بوده و وزن هزاردانه اثر چندانی نداشته است (Fitzgerald & Edwin, 2005). در این آزمایش همه تیمارها به جز اثر متقابل کم‌آبی و CO₂ بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری نداشته بودند (جدول ۲). کاهش عملکرد به دلیل تأثیر

نکردند. همچنین اظهار کردند هیچ تفاوتی معنی‌داری در Fv/Fm در بین تیمارهای تابش فرابنفش در معرض خشکی کوتاه‌مدت دیده نشد، اما در بلندمدت این نسبت کاهش یافت.

ساطع‌کننده انرژی تهییج در گیرنده‌های فتوسیستم II گزارش کردند، اما در این گزارش هیچ گونه اثر متقابل معنی‌داری را بین تابش فرابنفش و تنش خشکی بر روابط آبی برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه مشاهده

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی ذرت شیرین تحت تنش کم‌آبی، دی‌اکسید کربن و تابش فرابنفش

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		a	b	a+b	فلاونوئید			کاروتنوئید آنتوسیانین	پرولین	Fv/Fm	پروتئین دانه	عملکرد دانه
					کلروفیل کلروفیل	کلروفیل کلروفیل	کلروفیل کلروفیل					
تکرار	۲	۰/۱۰۲	۰/۰۱۳	۰/۱۷۶	۰/۰۰۷	۱۳/۳۸	۱۰/۹۷	۱۶۳/۴۱	۶/۲۷	۰/۰۰۰۸	۰/۴۱۷	۱۶۳۵۶۷/۴۹
دی‌اکسید کربن	۲	۰/۰۶۷	۰/۰۱۰	۰/۱۳۱	۰/۰۰۴	۳/۲۲	۹/۰۰	۱۲۰/۱۵	۳/۹۳	۰/۰۳۱**	۰/۴۴۰	۵۳۰۰۷۵/۶۱*
کم‌آبی	۱	۱/۱۳۸**	۰/۰۴۳*	۱/۶۲۹**	۰/۰۵۲**	۸۸/۲۲**	۴۰/۵۸*	۱۴۹۵/۳۱**	۴۷/۰۶**	۱۵۰/۵۰*	۰/۰۰۰۴	۳۷۶۰۸۴/۱۲*
پرتو فرابنفش	۲	۰/۰۴۹	۰/۰۰۲	۰/۰۶۷	۰/۰۰۲	۴/۴۷	۱/۶۱	۶۱/۱۶	۱/۱۲	۰/۰۰۳*	۱/۰۴۱**	۲۰۵۱۱۹۸/۹۸**
کم‌آبی × دی‌اکسید کربن	۲	۰/۳۶۷*	۰/۰۲۷*	۰/۵۹۹*	۰/۰۱۷*	۱۳/۷۹	۲۵/۰۸*	۵۴۶/۶۱*	۱۶/۱۹*	۱۲۰/۷۴*	۰/۰۰۲	۱۶۸۴۴۱/۷۴
دی‌اکسید کربن × پرتو فرابنفش	۴	۰/۲۴۹	۰/۰۱۷	۰/۳۹۲	۰/۰۱۳	۸/۸۴	۱۵/۱۶	۳۵۹/۶۱	۱۱/۲۴*	۱۸/۸۲	۰/۰۰۵*	۲۹۸۱۲۱/۰۰**
کم‌آبی × پرتو فرابنفش	۲	۰/۳۱۱	۰/۰۱۳	۰/۴۵۹	۰/۰۱۹*	۲/۶۲	۱۲/۲۴	۴۲۰/۲۹	۱۷/۳۶*	۷/۵۴	۰/۰۰۹**	۴۲۷۸۶۸/۱۰**
کم‌آبی × دی‌اکسید کربن × پرتو فرابنفش	۴	۰/۱۲۲	۰/۰۰۸	۰/۱۹۲	۰/۰۰۶	۱/۸۵	۷/۸۳	۱۷۸/۶۱	۵/۴۳	۸/۷۰	۰/۰۰۷**	۹۴۸۱۰۴/۳۱**
اشتباه آزمایشی	۳۴	۰/۱۰۷	۰/۰۰۸	۰/۱۶۹	۰/۰۰۵	۷/۱۰	۷/۱۱	۱۵۵/۴۵	۴/۳۷	۲۸/۰۲	۰/۰۰۰۷	۶۹۵۸۳۴/۴۴
ضریب تغییرات (درصد)		۱۳/۵۴	۱۳/۷۷	۱۳/۴۷۷	۱۲/۲۳۰	۱۵/۳۵	۱۳/۷۹	۱۳/۵۰	۱۲/۲۴	۱۸/۹۸	۵/۴۸۷	۱۲/۱۳

بدون علامت، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد.

پروتئین دانه

کم‌آبی با پرتو فرابنفش اثر معنی‌داری بر مقدار فلاونوئید (در طول موج ۳۳۰ نانومتر) داشت، اما اثر متقابل کم‌آبی با دی‌اکسید کربن تنها در طول موج‌های ۲۷۰ و ۳۰۰ نانومتر تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که در صورت اعمال کم‌آبی تفاوت معنی‌داری در این صفت ایجاد می‌شود، اما کاهش طول موج فرابنفش و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن مؤثر نیست (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار فلاونوئید در طول موج ۳۳۰ نانومتر در حالت دی‌اکسید کربن با غلظت ۵۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا و UV-B، و کمترین مقدار در اثر متقابل غلظت ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسید کربن و UV-C به دست آمد (جدول ۶). بیشترین مقدار فلاونوئید (طول موج ۳۳۰ نانومتر) در حالت آبیاری کامل و UV-C و کمترین مقدار در اثر متقابل کم‌آبی با UV-C نمایان شد (شکل ۲). اما در شرایط اثر متقابل کم‌آبی با دی‌اکسید کربن، بیشترین مقدار در حالت آبیاری کامل و غلظت ۵۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسید کربن و کمترین مقدار در اثر متقابل کم‌آبی و غلظت ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسید کربن به دست آمد (جدول ۵).

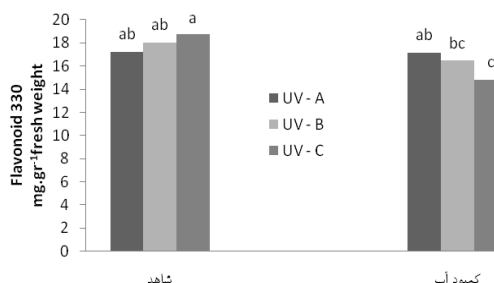
نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنها کاهش طول موج‌های مختلف پرتو فرابنفش بر مقدار پروتئین بذر تأثیر معنی‌دار داشته است (جدول ۳). به طوری که نتایج نشان داد، طول موج پرتو فرابنفش با مقدار پروتئین بذر نسبت مستقیم دارد. یعنی با کاهش طول موج پرتو مقدار پروتئین در بذر نیز کاهش یافت، بنابراین بیشترین مقدار پروتئین بذر در گیاهان تحت تابش UV-A (شاهد) و کمترین مقدار آن در گیاهان تحت تیمار UV-C به دست آمد (جدول ۴). در مطالعه‌ای نشان داده شده که اثر متقابل طول موج‌های مختلف تابش فرابنفش و تنش خشکی بر مقدار پروتئین‌های محلول برگ و پروتئین دانه تأثیر منفی داشت که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Fitzgerald et al., 2005). در مطالعه‌ای Baloochi et al. (2009) گزارش کردند که با افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن از ۴۰۰ به ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا مقدار پروتئین دانه به میزان ۳/۷۶ درصد افزایش می‌یابد.

فلاونوئید و آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیرات متقابل کم‌آبی با دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید کربن با پرتو فرابنفش و

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه و میزان Fv/Fm ذرت شیرین تحت تأثیر اثر متقابل کمبود آب، غلظت دی‌اکسید کربن و پرتو فرابنفش

Fv/Fm	عملکرد دانه kg.ha ⁻¹	پرتو فرابنفش	دی اکسید کربن	سطوح آبیاری
۰/۴۳۷gh	۲۷۶۶/۱abc	UV-A		
۰/۴۴۷fgh	۲۲۸۷/۵c-f	UV-B	۵۰۰	
۰/۴۲۶h	۱۸۹۴/۲fgh	UV-C		
۰/۴۸۰d-g	۳۰۰۰/۸a	UV-A		
۰/۵۴۳bc	۲۵۳۰/۵a-e	UV-B	۹۰۰	شاهد
۰/۴۳۳gh	۲۰۴۲/۲efg	UV-C		
۰/۵۳۰bcd	۲۱۷۴/۴def	UV-A		
۰/۵۷۰ab	۲۹۱۴/۲ab	UV-B	۱۳۰۰	
۰/۵۲۳bcd	۱۶۳۸/۰ghi	UV-C		
۰/۴۳۳gh	۲۲۸۷/۲c-f	UV-A		
۰/۵۰۷cde	۱۹۳۵/۹fgh	UV-B	۵۰۰	
۰/۴۵۰fgh	۱۵۲۳/۶hi	UV-C		
۰/۵۳۰Bcd	۲۵۸۷/۶a-d	UV-A		
۰/۴۵۰fgh	۲۴۶۲/۲b-e	UV-B	۹۰۰	کم‌آبی
۰/۴۹۰Def	۱۵۹۴/۷ghi	UV-C		
۰/۴۶e-h	۲۱۵۲/۲def	UV-A		
۰/۵۱۰Cd	۱۳۳۴/۷i	UV-B	۱۳۰۰	
۰/۶۰۷a	۲۰۳۰/۰efg	UV-C		



جدول ۴. مقایسه میانگین‌های درصد پروتئین دانه ذرت شیرین تحت تأثیر تیمار پرتو فرابنفش

سطوح تیماری پرتو فرابنفش	پروتئین دانه (درصد)
UV-A	۹/۷۹a
UV-B	۹/۳۹b
UV-C	۹/۳۵b

میانگین با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن (p≤۰/۰۵) اختلاف معنی‌داری ندارند.

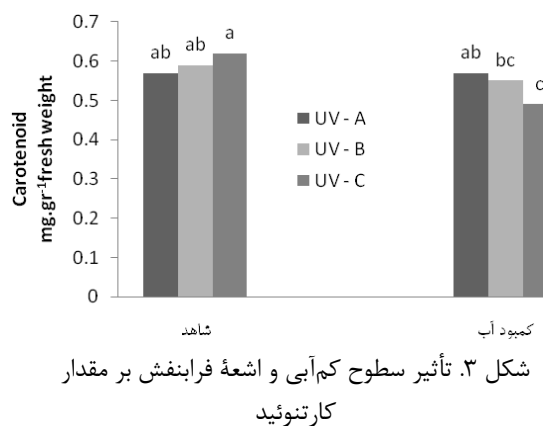
شکل ۲. تأثیر کم‌آبی و اشعه فرابنفش بر مقدار فلاونوئید ۳۳۰

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های پرولین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل a+b، کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر) و فلاونوئید (میلی مول بر گرم وزن تر) ذرت شیرین تحت تأثیر اثر متقابل کمبود آب و غلظت دی‌اکسید کربن

سطوح آبیاری	دی‌اکسید کربن (میکرو لیتر بر لیتر هوا)	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کاروتنوئید	فلاونوئید		
							۳۳۰	۳۰۰	۲۷۰
	۵۰۰	۲۹/۹۹a	۲/۷۲a	۰/۷۲a	۳/۴۴a	۰/۶۳a	۲۱/۷۳a	۱۰۴/۲۶a	۱۹/۰۷a
	۹۰۰	۳۰/۷۱a	۲/۶۱ab	۰/۶۸ab	۳/۲۹ab	۰/۶۱ab	۲۰/۷۱ab	۹۹/۷۸ab	۱۸/۴۲ab
شاهد	۱۳۰۰	۲۷/۹۸a	۲/۳۴bc	۰/۶۰bc	۲/۹۳bc	۰/۵۵bc	۱۸/۱۶bc	۸۸/۸۹bc	۱۶/۵۳bc
	۵۰۰	۲۸/۱۷a	۲/۲۳c	۰/۶۱bc	۲/۸۴c	۰/۵۳c	۱۸/۳۹bc	۸۵/۹۰c	۱۶/۱۲c
	۹۰۰	۲۱/۶۰b	۲/۲۰c	۰/۵۹c	۲/۷۹c	۰/۵۱c	۱۷/۸۷c	۸۴/۴۹c	۱۵/۴۵c
کمبود آب	۱۳۰۰	۲۸/۸۹a	۲/۳۷bc	۰/۶۳abc	۳/۰۰bc	۰/۵۶bc	۱۹/۱۴abc	۹۰/۹۷bc	۱۶/۸۵bc

اعداد با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن (p≤۰/۰۵) اختلاف معنی‌داری ندارند.

اثر متقابل معنی دار دارد و هیچ اثر متقابل معنی داری بین دی اکسید کربن و مقدار آب آبیاری بر مقدار آنتوسیانین وجود ندارد، این نتایج با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد. محققان گزارش کردند که مقدار کاروتنوئیدها در تیمارهای تابش فرابنفش کاهش چندانی نیافت (شکل ۳) که بیانگر مقاوم تر بودن این رنگیزه‌ها در مقابل تابش فرابنفش است و نیز به نظر می‌رسد می‌توانند نقش حفاظتی در برابر آن ایفا کنند (Li et al., 2010).



شکل ۳. تأثیر سطوح کم‌آبی و اشعه فرابنفش بر مقدار کاروتنوئید

برخی محققان نتیجه گرفتند که با کاهش طول موج تابش فرابنفش مقدار رنگدانه‌های آنتوسیانین ۶۲ درصد و فلاونوئیدهای برگ پرچم گندم دوروم ۲۷ درصد افزایش می‌یابد که این نتیجه با نتایج این تحقیق درباره کاربرد رنگدانه‌ها در جذب تابش فرابنفش مشابهت دارد. آنها همچنین در آزمایش‌های خود دریافتند که اثر متقابل طول موج‌های مختلف تابش فرابنفش و تنش خشکی بر مقدار فلاونوئیدهای برگ گندم دوروم تأثیرگذار است (Balochi et al., 2009). به این ترتیب که با کاهش طول موج تابش فرابنفش و شرایط تنش کم‌آبی، مقدار فلاونوئیدهای برگ افزایش می‌یابد که دستاوردهای این تحقیق نیز تأییدکننده آن است.

کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس صفات کیفی نشان داد که مقدار کلروفیل a و b برگ ذرت شیرین تحت تأثیر تأثیرات دوگانه غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن و تیمارهای آبیاری قرار گرفت و مقدار کاروتنوئیدها نیز تحت اثر

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های فلاونوئید ۳۳۰ تحت اثر متقابل دی‌اکسید کربن و پرتو فرابنفش

دی‌اکسید کربن	اشعه ماورای بنفش	فلاونوئید ۳۳۰
۵۰۰	UV-A	۱۶/۳۵ab
	UV-B	۱۸/۶۷a
	UV-C	۱۷/۷۷ab
۹۰۰	UV-A	۱۸/۴۱a
	UV-B	۱۶/۹۹ab
	UV-C	۱۵/۴۰b
۱۳۰۰	UV-A	۱۶/۷۶ab
	UV-B	۱۶/۱۲ab
	UV-C	۱۷/۲۰ab

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

همچنین نتایج تجزیه واریانس در مورد آنتوسیانین نشان داد که تنها در حالت کم‌آبی اختلاف معنی داری در مقدار این ترکیب ایجاد می‌شود (جدول ۲) که با توجه به جدول مقایسه میانگین در صورت کاهش آبیاری، تولید این ترکیب در گیاه کاهش می‌یابد (جدول ۷).

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های آنتوسیانین

سطوح آبیاری	SLA (cm^2g^{-1})	آنتوسیانین
شاهد	۱۴۵/۱۶a	۱۸/۶۴a
کم‌آبی	۱۲۸/۱۵b	۱۶/۰۸b

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

تحقیقات مزرعه‌ای و محیط‌های کنترل شده نشان دادند که اثر متقابل تابش فرابنفش و تنش آبی وجود دارد و این موضوع با کاهش ۲۰ درصدی زیست توده کل در تنش تابش فرابنفش همراه با تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش خشکی تأیید می‌شود (Teremura et al., 1990). همچنین ترکیبات جذب کننده تابش فرابنفش از جمله غلظت فلاونوئید در تنش خشکی افزایش یافت که حدود ۷۰ درصد بیشتر از زمانی بود که تابش فرابنفش بدون خشکی اعمال شد (Nogues & Baker, 2000). یافته‌های Balochi et al. (2009) نشان داد که دو عامل غلظت دی‌اکسید کربن و مقدار آب آبیاری بر مقدار فلاونوئیدها در عدد جذبی ۲۷۰ نانومتر

محققان گزارش کردند اعمال تنش کم‌آبی غلظت کلروفیل a را به‌طور متوسط در حدود ۳۵ درصد و کلروفیل b را ۳۸ درصد کاهش می‌دهد. همچنین به‌سبب کمبود آب، آسیب به رنگدانه‌ها و پلاستیدها افزایش می‌یابد و در نتیجه کاهش محتوای کلروفیل رخ می‌دهد (Castrillo & Turujillo, 1994). به‌نظر می‌رسد که این کاهش در کلروفیل b بیشتر است (Kulshreshtha et al., 1987).

پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کم‌آبی سبب ایجاد اختلاف معنی‌داری در مقدار پرولین می‌شود، اما کاهش طول موج پرتو فرابنفش و افزایش غلظت دی‌اکسید موجب اختلاف معنی‌داری در این صفت نمی‌شود. ولی تأثیرات متقابل کم‌آبی و دی‌اکسیدکربن بر مقدار پرولین برگ معنی‌دار بود (جدول ۲)، به‌طوری‌که بیشترین مقدار پرولین در تیمار سطح آبیاری شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و غلظت ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا CO₂ و به مقدار ۳۰/۷۱ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد که با سطوح دیگر غلظت CO₂ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). براساس گزارش برخی محققان با افزایش طول مدت خشکی فعالیت آنزیم‌های P5CR (پرولین-۵-کربوکسیلاز رداکتاز) و OAT (اورنیتین آمینوترانسفراز) که از آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز پرولین هستند، افزایش می‌یابد و افزایش غلظت CO₂ به ۷۰۰ میکرومول بر مول هوا، موجب افزایش بیشتر فعالیت این آنزیم‌ها می‌شود. همچنین کاهش بیشتر فعالیت آنزیم PDH (پرولین دهیدروژناز) در همین حالت، موجب افزایش ۱۸ تا ۲۴ برابری غلظت پرولین نسبت به شرایط آبیاری معمول و غلظت ۳۵۰ میکرومول بر مول هوا CO₂ و سه تا چهاربرابری نسبت به تنش کم‌آبی و غلظت ۳۵۰ میکرومول بر مول هوا می‌شود (Abdel-Nasser & Abdel-Aal, 2002). دیگر محققان با بررسی آثار تنش کم‌آبی، دی‌اکسید کربن و پرتو فرابنفش بر محتوای پرولین برگ گندم دریافتند که مقدار پرولین تحت تأثیر افزایش دی‌اکسید کربن واکنشی متفاوت داشته است، به‌طوری‌که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در کلیه سطوح تابش فرابنفش و همراه با تنش خشکی مقدار پرولین برگ کاهش یافت.

متقابل سطوح تابش فرابنفش و تیمار آبیاری تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۲). در آبیاری کامل گیاه با افزایش دی‌اکسید کربن مقدار رنگدانه‌ها کاهش یافت (جدول ۵). این امر نشان‌دهنده این است که افزایش دی‌اکسید کربن در شرایط آبیاری کامل موجب می‌شود گیاه انرژی کمتری را صرف تولید رنگدانه‌های جذب‌کننده CO₂ کند. اما در تیمار کمبود آب با افزایش دی‌اکسید کربن به ۱۳۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا، مقدار رنگدانه‌ها افزایش نسبی نشان داد (جدول ۵).

این مسئله بیانگر آن است که گیاه در حالت کمبود آب می‌تواند با افزایش CO₂ کاهش رنگدانه را در اثر کمبود آب تا اندازه‌ای جبران کند. اثر متقابل سه‌گانه هر سه تیمار بر رنگدانه‌های فتوسنتزی اعم از کلروفیل و کارتنوئید معنی‌دار نبود (جدول ۲).

مقدار کلروفیل‌های a، b و a+b و کارتنوئیدها در غلظت ۱۳۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا دی‌اکسید کربن در شرایط تنش کم‌آبی افزایش نشان داد، علت این امر می‌تواند اثر مثبت افزایش CO₂ بر کاهش خسارت خشکی باشد که خود ممکن است به‌دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط افزایش گاز دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش اتلاف آب برگ از طریق روزنه‌ها و افزایش کارایی مصرف آب توسط گیاه باشد (جدول ۵).

مقادیر رنگدانه‌های کلروفیل برگ ذرت شیرین تحت اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن قرار نگرفت. همچنین افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر مقدار کارتنوئیدهای برگ ذرت اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲) Baloochi et al. (2009) گزارش کردند که افزایش غلظت CO₂ از ۴۰۰ به ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا مقدار رنگدانه‌های کلروفیل a، b و a+b برگ گندم دوروم را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. ایشان همچنین گزارش کردند که اثر متقابل تابش فرابنفش و CO₂ تنها برای بیوماس کل معنی‌دار است. از سوی دیگر برخی پژوهشگران هیچ گونه اثر متقابلی بین CO₂ و تابش فرابنفش روی پارامترهای فتوسنتزی پیدا نکردند (Correia et al., 2001). محققان گزارش کردند که کلروفیل کل (به‌سبب کاهش کلروفیل a و b)، مجموع کارتنوئیدها، پروتئین‌های محلول، قندهای محلول، نشاسته و ترکیبات جذب‌کننده تابش فرابنفش در گیاهان رشدیافته در این تابش کمتر است (Casty et al., 2002).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج این پژوهش، گیاه ذرت شیرین با وجود چهارکرنبه بودن، چنانچه در آینده در وضعیتی مشابه طرح آزمایشی یادشده با مقدار دی‌اکسید کربن زیاد، تابش سطوح مختلف پرتو فرابنفش و تنش کم‌آبی قرار گیرد، در برابر این تنش‌ها واکنش نشان خواهد داد و رنگدانه‌های جذب‌کننده تابش فرابنفش را که عاملی آنتی‌اکسیدانی در برابر رادیکال‌های آزاد نیز به‌شمار می‌روند افزایش خواهد داد. در عین حال رنگدانه‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابند که این موضوع به افت کمی و کیفی در گیاه، کاهش عملکرد و اجزای آن منجر خواهد شد. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تأثیر چندانی بر بهبود پارامترهای کمی و کیفی رشد نخواهد داشت. چنانچه افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن به روند کنونی خود ادامه دهد و از سوی دیگر افزایش آلاینده‌های زیستی و گازهای گلخانه‌ای به تخریب بیشتر لایه ازن و در نتیجه افزایش تابش‌های فرابنفش منجر شود، با توجه به اینکه خشکی و کمبود آب در حال حاضر و آینده اجتناب‌ناپذیر است، کاهش عملکرد گیاه ذرت شیرین در نتیجه کاهش مقدار کلروفیل‌ها و رنگیزه‌های فتوسنتزی محتمل خواهد بود.

اما شرایط بدون تنش آبی و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۴۰۰ به ۹۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا، مقدار پرولین را افزایش داد که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. محققان چهار دلیل برای افزایش تجمع پرولین در حین تنش خشکی پیشنهاد کرده‌اند که عبارتند 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 فرایند سنتز پروتئین‌ها (Nogues & Baker, 2000). آنها همچنین بر افزایش مقدار پرولین برگ با کاهش پتانسیل آب تأکید دارند و بیان می‌کنند که علاوه بر افزایش سنتز پرولین، مصرف پرولین نیز در چنین شرایطی کاهش می‌یابد. بررسی‌ها نشان دادند توقف اکسیداسیون پرولین در پتانسیل‌های آب پایین می‌تواند اتفاق بیفتد (Alexieva et al., 2001). برخی پژوهشگران نیز غلظت‌های زیاد پرولین در شیره سلولی گیاهان دچار تنش خشکی و انتقال آن به برگ را عامل افزایش پرولین در برگ می‌دانند. از طرف دیگر کاهش فعالیت آنزیم پرولین دهیدروژناز نیز در چنین شرایطی ممکن است به افزایش غلظت پرولین در گیاهان تحت تنش منجر شود (Li et al., 2007).

REFERENCES

1. Abdel-Nasser, L. & Abdel-Aal, E. (2002). Effect of elevated CO₂ and drought on proline metabolism and grow of safflower (*Carthamus mareoticus* L.) seedling whitout improving water status. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 5(5), 523-528.
2. Ainawotrth, E.A., Rogers, A., Nelson, R. & Long, S. (2004). Testing the source-sink hypothesis of down-regulation of photosynthesis in elevated CO₂ in the field with single gene substitutions in *Glycine max*. *Agriculture and Forest Meteorology*, 122, 58-94.
3. Agrawal, S. B. (1992). Effects of supplemental UV-B radiation on photosynthetic pigment, protein and glutathione content in green algae. *Environmental and Experimental Botany*, 32, 137-143
4. Alexieva, V., Sergiv, I., Mapelli, S. & Karanov, E. (2001). The effect og drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell and Environment*. 24,1337-1344.
5. Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H. & Ala, S.A. (1994). Effect of water stress on total phenols, proxidase activity and chlorophyll content in wheat. *ActaPhysiolo.Planta*, 16(3), 185-191
6. Baloochi, H. R., Modares sanavy, S. A. & Emam, Y. (2009). Effect of Water Deficit, Ultraviolet Radiation and Carbon Dioxide Enrichment on Quantitative Traits of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. Durum Desf.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 45, 167-181.
7. Bertamini, M., Nedunchezian, N. & Zulini, L. (2006). Effect of water deficiet on Photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitisvinifera* L. cv. Riesling) plants. *Photosynthetica*, 44(1), 151-154.
8. Bates, L. S., Waldern, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-208.
9. Casaty, P., Lara M. V. & Andreo, C. S. (2002). Regulation of enzyme involved in C4 Photosynthesis and antioxidant metabolism by UV-B radiation in submersed aquatic species. *Photosynthesis Research*, 71, 251-264.

10. Castrillo, M. & Turujillo, I. (1994). Ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivares of French bean under water stress and rewatering. *Photosynthetica*, 30, 175-181.
11. Correia, C.M., Pereira, J. M., Bjorn, L.O. & Torres-Pereira, J. M. G. (2005). Ultraviolet radiation and nitrogen affect the photosynthesis of Maize. *European Journal Agronomy*, 22, 337-347.
12. Donnelly, A., Jones, M.B., Burke, J.I. & Schenieders, B. (2000). Elevated CO₂ provides Protection from O₃ iduced photosynthetic damage and chlorophyll loss flag leaves of spring wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80, 159-168.
13. Finnan, J. M., Donnelly, A., Burke, J. I. & Jones M. B. (2002). The effects of elevated concentration of carbon dioxide and ozone on potato yield. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 88, 11-22.
14. Fitzgerald, L. B. & Edwin L. F. (2005). The role of ozone flux and antioxidants in the suppression of ozone injury by elevated CO₂ in soybean. *Journal of Experimental Botany*, 56,(418), 2139-2151.
15. Interdonato, R., Mariana, R., Cecilia, B. N., González, A. & Prado, H. E. (2011). Effects of low UV-B doses on the accumulation of UV-B absorbing compounds and total phenolics and carbohydrate metabolism in the peel of harvested lemons. *Environmental and Experimental Botany*, 70, 204-211.
16. IPCC. (2001). The scientific basis. In: Houghton, J. T. eds. *Third assessment report of the Intergrovmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
17. Krizek, D. T., Brita, S. J. & 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 Physiology*, 103, 1-7
18. Kulshreshth, S., Mishara D. P. & Gupata R. K. (1987). Change in contents of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplast and chloroplast membrance fractions of different leaf water potentials in drought resistant and sensitive genotype of wheat. *Photosynthetica*, 21, 65-70.
19. Li, F., Chen, Sh. L. P. M. & Hou, Y. P. (2010). A meta-analysis of the responses of woody and herbaceous plants to elevated ultraviolet-B radiation. *Acta Oecologica*, 36, 1-9.
20. Li, J., Zhou, J. M. & Duan, Z. Q. (2007) Effects of elevated CO₂ concentration on growth and water usage of tomato seedling under different ammonium [nitrate ratios,]. *Environmental Sciences*, 19, 1100-1107.
21. Noorments, A., Kull, O., Sober, A., Kubiske M. E. & Karaosky, D. F. (2010). Elevated CO₂ response of photosynthesis depends on ozone concentration in aspen. *Environmental Pollution*, 158, 992-999.
22. Nogues, S. & Baker, N.R. (2000). Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *Journal of Experimental Botany*, 348, 1309-1317.
23. Oktem, A. (2008). Effect of water shortage on yield, and protein and mineral compositions of drip-irrigated sweet corn in sustainable agriculture systems. *Agricultural Water Management*, 95, 1003-1010
24. Prasad, S. M., Dwivedi, R. & Zeeshan, M. (2005). Growth, photosynthetic electron transport, antioxidant responses of young soybean seedlings to simultaneous exposure of nickel and UV-B stress. *Photosynthetica*, 43, 177-185.
25. SAS Institute Inc. (1997). *SAS/ STAT user's guide*. version 6, 4th ed. SAS Institute. Cary, NC, USA.
26. Shao, H.B., Liang, Z.S., Shao, M.A. & Sun Q. (2005). Dynamic change of anti-oxidative enzymes of 10 wheat genotypes at soil water deficits. *Colloids and Surfaces B*, 42, 187-195.
27. Smrkolj, P., Stibilj, V., Kreft, I. & Germ, M. (2005). Selenium species in buckwheat cultivated with foliar addition of Se and various levels of UV-B radiation. *Food Chemistry*, 1, 234-376.
28. Steel, R.G.D. & Torrie, J.H. (1998). *Principles and procedure of statistics: a biometric approach*. Ed's R.G. Summerfield, A.H. *Bantingpp*, 17-36.
29. Teramura, A.H., Sullivan, J.H. & Lyden, J. (1990). Effects of UV-B radiation on soybean yield and seed quality: A 6-year field study. *Physiologia Plantarum*, 50, 5-11.
30. Torbert, H.A., Prior, S.A., Rogers, H.H. & Runion, G.B. (2004). Elevated atmospheric CO₂ effects on N fertilization in grain and soybean. *Field Crops Research*, 88, 57-67.