تأثیر تنش خشکی و اشعه ماوراء بنفش (UV-C) بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی در سه رقم گندم (*Triticum aestivum* L.)

زینب رضایی‌فر[۱]، سیامک فلاحی[۱] و اسماعیل قلی‌نژاد[۲*]

[۱]گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، [۲]گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱٤، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹٦/۰٦/۲۸)

چکیده:

تنش خشکی و اشعه UV به عنوان عوامل محیطی تنش‌زا اثرات زیانباری بر فرایندهای فیزیولوژیکی و رشد گونه‌های گیاهی دارند. لذا به منظور بررسی تاثیر تنش خشکی وUV-C بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی در ارقام مختلف گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.)، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹٤ اجرا گردید. عامل اول شامل تنش خشکی در دو سطح (شاهد و تنش خشکی با اعمال ۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، عامل دوم شامل اشعه UV در دو سطح (شاهد و اشعه UV-C) و عامل سوم سه رقم گندم ("زارع"، "پیشگام" و "میهن") بود. در این تحقیق صفات موروفولوژیک، رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های موثر بر سیستم دفاعی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی و اشعه UV محتوای فلاونوئیدها در رقم "میهن" افزایش و در رقم "پیشگام" کاهش معنی‌داری یافت در حالی که در همین شرایط (تنش خشکی و اشعه UV) محتوای آنتوسیانین‌ها افزایش معنی‌داری نشان داد. تیمار خشکی و اشعه UV سبب ایجاد تنش اکسیداتیو در ارقام مختلف گیاه گندم شد. علاوه بر این تنش خشکی ترکیبات فنلی را افزایش داد و موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز شد. محتوای کربوهیدرات‌های محلول نیز تحت شرایط تنش خشکی افزایش معنی‌داری یافت. در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV محتوای پرولین را در کلیه ارقام حدود ۳۱ درصد افزایش داد در حالی که این افزایش در شرایط بدون تنش خشکی ۲۲ درصد بوده است. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در هر سه واریته مشاهده شد، همچنین محتوای مالون‌دی‌آلدئید و پرولین در هر سه رقم مورد مطالعه افزایش یافت. اشعه UV باعث کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل شد. همچنین تیمار با اشعه‌ی UV-C باعث کاهش وزن خشک ریشه و ساقه و طول ریشه و ساقه در هر سه رقم شد. کاربرد توام تنش خشکی و اشعه UV باعث تشدید خسارات وارده به گیاه شد. همچنین رقم "زارع" با توجه به افزایش میزان فلاونوئیدها و آنتوسیانین نسبت به ارقام "میهن" و "پیشگام" رقم متحمل به تنش خشکی شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، اشعه UV، تنش خشکی، فلاونوئیدها، گندم

مقدمه:

خشکی، وسیع‌ترین عوامل ایجاد کننده تنش در گیاهان در سطح جهان می‌باشند. بیش از ٤۵ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان به طور دائم یا مکرر تحت تاثیر خشکی هستند. بنابراین روز به روز از میزان زمین‌های مناسب برای کشاورزی کاسته می‌شود، در حالی که نیاز غذایی بشر روز به روز در حال افزایش است. تنش آبی نفوذ پذیری غشا را افزایش می‌دهد و تجمع رادیکال‌های آزاد را در گیاهان القا

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Gholinezhad1358@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

می‌کند (Sun and Waters, 2003). محققان گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در گیاه گندم شد (جهان بین و همکاران، ۱۳۹٤؛ شهبازی و همکاران، ۱۳۹۵؛ خواجه و همکاران، ۱۳۹٤؛ Ganji Arjenaki *et al*., 2012؛ Salwa and Osama, 2014). در آزمایش دیگری گزارش شد با افزایش تنش کم آبی، صفات میزان پروتئین، فلاونوئید، کلروفیل کل و کاروتنوئیدهای گیاه گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.) کاهش معنی‌داری یافت (بلوچی و همکاران، ۱۳۸۷). کاهش ضخامت لایه اُزن در اثر افزایش آلاینده‌ها، سبب کاهش جذب پرتوهای ماوراءبنفش خورشید به وسیله‌ی این لایه و وارد آمدن آسیب به موجودات زنده، از جمله گیاهان می‌شود (Krizek *et al*., 1998). از جمله اثرات مضر این اشعه در گیاهان می‌توان به کاهش فرایند فتوسنتز بدنبال کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، تجزیه پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و القاء تنش اکسیداتیو اشاره کرد (Allen *et al*., 1998). گونه های گیاهی مختلف پاسخ‌های متفاوتی در برابر آسیب‌های اشعه UV بروز می‌دهند (Wargent and Jordan., 2013). از جمله پاسخ‌های گیاهان، تجمع رنگیزه‌های جذب کننده طیف نوری در ناحیه ماوراء بنفش، مانند آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها می‌باشد (Buer *et al*., 2010). علاوه بر نقش متنوع فلاونوئیدها در فیزیولوژی، بیوشیمی و اکولوژی گیاهان، فلاونوئیدها نقش بسیار مهمی در تغذیه انسان دارند (Martens and Mithofer, 2005). موثرترین مکانیسم حفاظتی غیرآنزیمی تحریک شده تحت تنش خشکی و UV، بیوسنتز فلاونوئیدها و ترکیب‌های فنلی جذب کننده اشعه UV است (Jaakola, 2013) که علاوه بر نقش آنتی اکسیدانی به عنوان ترکیبات جذب‌کننده ویژه اشعه UV نقش مهمی ایفا می‌کنند. محققان نشان دادند که اشعه UV-C باعث کاهش طول اندام های هوایی، تعداد و طول ریشه در گیاه آلوئه ورا (*Aloe vera* L.) شد اما تعداد شاخساره را افزایش داد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۹). پژوهشگران دیگری نیز تاثیر اشعه UV-C را بر برخی صفات گیاه صبر زرد (*Aloe vera* L.) مانند کلروفیل، فلاونوئید و آنتوسیانین مورد بررسی قرار دادند و مشاهده نمودند که رشد رویشی به طور معنی‌داری کاهش یافته است (قناتی و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین در آزمایش دیگری اشعه UV-C باعث کاهش معنی‌دار پروتئین برگ در گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.) گردید (بلوچی و همکاران، ۱۳۸۷). تابش اشعه UV-C منجر به کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، پروتئین و کربوهیدرات در گیاه گندم شد (رحمت زاده و خارا، ۱۳۸۷؛ Bandurska *et al*., 2013؛ Sakuraba *et al*., 2014).

گندم مهم‌ترین غله در جهان می‌باشد. به علت راندمان تولید زیاد و نیز امکان کشت آن در اکثر نقاط جهان و همچنین قابلیت پخت و خواص منحصر به فرد تغذیه‌ای و صنعتی و کیفیت فوق‌العاده گلوتن، هیچ غله‌ای نمی‌تواند با آن رقابت نماید (Al-Mahasneh, 2006). با توجه به اینکه تاکنون هیچ تحقیقی در مورد تاثیر متقابل تنش خشکی و اشعه UV-C بر ارقام مختلف گندم که آینده غذایی انسان‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد انجام نشده است لذا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی و اشعه UV بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی روی سه رقم گندم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها:

بذرهای ارقام ("زارع"، "پیشگام" و "میهن") گندم (*Triticum aestivum* L.) (بدلیل معرفی شدن به عنوان ارقام متحمل به بیماری زنگ، سرما و کم آبیاری توسط مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و استفاده در سطح وسیع توسط کشاورزان در استان و زود بازده بودن آن) از سازمان تحقیقات جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی تهیه گردید. بذرهای ارقام مورد مطالعه پس از ضد عفونی شدن و جوانه‌زنی در گلدان‌های حاوی ماسه و خاک به نسبت ۵ به ۱، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار کشت گردید. رشد تحت شرایط دمایی کنترل شده ۲ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد با تناوب نوری روشنایی ۱٦ ساعته انجام گرفت. از آب مقطر (حدود ۱۰ سی‌سی) برای آبیاری یک در روز در میان و محلول غذایی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

هوگلند در هفته یک بار جهت بهبود شرایط رشد گیاهان استفاده گردید (سامانی و همکاران، ۱۳۹۵).

عامل اول شامل تنش خشکی در دو سطح (شاهد و تنش خشکی با اعمال ۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، عامل دوم شامل اشعه UV در دو سطح (شاهد و اشعه UV-C) و عامل سوم ارقام گندم بود.

پس از مرحله چهار برگی شدن ارقام گندم، اعمال تیمار های تنش خشکی و اشعه UV آغاز شد. برای اعمال تنش خشکی ابتدا ظرفیت زراعی گلدان‌ها محاسبه و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی برای آبیاری نمونه‌های تحت تنش خشکی استفاده شد. برای تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها، گلدانی را که دارای زهکش است پر از آب نموده و رویش با پلاستیکی پوشش داده شد تا تبخیر صورت نگیرد و آب اضافی فقط از طریق زهکش خارج گردد بعد از ۲٤ ساعت از خاک گلدان نمونه برداشته و وزن خاک مرطوب اندازه‌گیری شد سپس خاک مرطوب به مدت ۲٤ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا وزن خاک خشک بدست آید درصد رطوبت وزنی خاک که همان ظرفیت زراعی است با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (موسوی و اخوان، ۱۳۸٦):

$$\text{ظرفیت زراعی} = \frac{\text{وزن رطوبت}}{\text{وزن خاک خشک}} \times ۱۰۰ \qquad \text{رابطه ۱}$$

برای اعمال تنش اشعه UV-C از یک عدد لامپ (UV-C) (China-T8 30W) ۹۰ سانتی‌متری با طول موج ۲٥٤ نانومتر و ولتاژ ۱۰۲ ولت، توان مصرفی ۳۰ وات و جریان ۳۷۰ میلی آمپر استفاده گردید. گیاهان به مدت ۱۰روز و هر روز ۳ دقیقه (در طرف صبح و حوالی ساعات ۱۱-۱۳ در خاموشی)، تحت تیمار اشعه UV-C با شدت روزانه ۱۲ کیلوژول بر متر مربع قرار گرفتند در حالی که گیاهان شاهد اشعه دریافت نکردند. نمونه‌ها ۱۰روز پس از اعمال تیمارها برداشت شدند و برای سنجش صفات مورد نظر استفاده شدند.

تعیین وزن خشک بخش هوایی و ریشه: برای اندازه‌گیری وزن خشک، بخش هوایی و ریشه گیاه به‌طور جداگانه به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون (SHIMAZCO ساخت ایران) قرار داده شدند و پس از خشک شدن کامل نمونه‌ها، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

سنجش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید: برای سنجش محتوای کلروفیل وکاروتنوئید از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) استفاده شد. بدین منظور ۰/۲ گرم از برگ‌های دوم و سوم گیاه با۱۰ سی‌سی استون ۸۰٪ v/v در هاون چینی کاملاً تمیز و خشک بطور کامل سائیده شد و پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (Chalice ساخت شرکت Wagtech) در ٤۰۰۰ دور در دقیقه (rpm)، میزان جذب نوری آن‌ها در مقابل نمونه شاهد (استون) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Universal ساخت کمپانی Hettich) در طول موج‌های ٦٦۳ (برای کلروفیل a)، ٦٤۸ (برای کلروفیل b) و ٤۷۰ نانومتر (برای کاروتنوئید) خوانده شد و پس از تعیین درصد جذب نوری آنها با استفاده از روابط زیر محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها تعیین گردید و با واحد mg/gFW ارائه شد.

$$\text{Chla (µg/ml)} = ۱۲/۲۵A_{٦٦۳/۲} - ۲/۷۹A_{٦٤٦/۸} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{Chlb (µg/ml)} = ۲۱/۵A_{٦٤٦/۸} - ۵/۱A_{٦٦۳/۲} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{Carotenoid} = \frac{(100.A_{470} - 1.82\text{Chla} - 85.02\ \text{Chlb})}{198} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

سنجش فلاونوئیدها : برای سنجش فلاونوییدها ۰/۲ گرم ماده گیاهی شامل بافت ریشه و برگ‌ها در ۳ میلی لیتر اتانول اسیدی (اتانول و اسید استیک به نسبت ۹۹ به ۱) خوب ساییده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰rpm سانتریفیوژ شد. محلول رویی به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. میزان جذب نمونه‌ها پس از سرد شدن توسط اسپکتروفتومتر در سه طول موج ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه محتوای فلاونوئیدها، از منحنی استاندارد کوئرستین ساخت شرکت مرک با غلظت‌های ۸۰-۲۰ میلی‌گرم در لیتر استفاد شد (Krizek *et al.*, 1998).

سنجش آنتوسیانین‌ها: برای سنجش آنتوسیانین، ۰/۲ گرم از اندام هوائی گیاه در ۳ میلی لیتر متانول اسیدی (متانول و اسید کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱) خوب ساییده و سپس عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در g × ۱۲۰۰۰سانتریفیوژ شد. محلول رویی به مدت یک شب در تاریکی داخل دسیکاتور جهت حذف حلال قرار داده شد و بعد بمدت ۱۰ دقیقه با ٤۰۰۰rpm

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

سانتریفیوژگردید و جذب محلول رویی آن در طول موج ۵۵۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV 2100, UNICO USA) خوانده شد. برای محاسبه‌ی محتوای آنتوسیانین، از ضریب خاموشی $cm^{-2}mol$ $^{-6}$ ۳۳۰۰۰ استفاد شد (Masukasu *et al.*, 2003).

سنجش محتوای کربوهیدرات‌های محلول: ابتدا بخش هوایی و ریشه گیاه در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت خشک و آسیاب شدند. ۰/۱ گرم از نمونه آسیاب شده توزین و درون لوله آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰٪ v/v ریخته شد و به مدت یک هفته در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس محلول‌ها با کاغذ واتمن صاف گردید. به منظور حذف رسوبات اضافی و ترکیبات دیگر، به هر محلول، پنج میلی‌لیتر از محلول ۵٪ سولفات روی و پنج میلی‌لیتر از محلول هیدروکسید باریم ۳٪ N اضافه شد و محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به ۲ میلی‌لیتر از محلول روئی نمونه‌ها، یک میلی‌لیتر محلول ۵٪ فنل و پنج میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ v/v اضافه شد. سی دقیقه پس از آماده سازی محلول‌ها، جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤۸۵ نانومتر قرائت شد. محتوای کربوهیدرات نمونه‌ها با استفاده از محلول‌های استاندارد گلوکز و با واحد میلی‌گرم در گرم وزن خشک (mg/g. DW) محاسبه شد (Sheligl, 1986).

سنجش محتوای **پروتئین‌های محلول کل:** برای محاسبه پروتئین از روش برادفورد استفاده شد (Bradford, 1976). برای این منظور ۰/۱ گرم از بافت ریشه و برگ‌ها در ۱۰ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار ساییده و عصاره حاصل به مدت۱۵ دقیقه در ۱٤۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. مقدار ۱ میلی لیتر بافر برادفورد (۱۰ ٪ کوماسی بیرلیانت بلو v/w با ۵ میلی لیتر اتانول ۹۵ ٪ v/v) با ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره پروتئینی مخلوط گردید. پس از ۵ دقیقه جذب نمونه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. از آلبومین گاوی برای رسم منحنی استاندارد و تعیین محتوای پروتئین نمونه‌ها با واحد $mg.g^{-1}.FW^{-1}$ استفاده شد.

استخراج آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدان: استخراج آنزیم‌ها توسط بافر فسفات سدیم ۰/۱ مولار (pH=۷) حاوی پلی‌وینیل پیرولیدون (PVP) ۲٪ از برگ‌ها انجام گرفت و روشناور پس از ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد با ۲۰۰۰۰ دور در دقیقه مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD): فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز براساس ممانعت فتوشیمیایی از احیای نیتروبلوتترازولیوم اندازه‌گیری شد. ۲/٦۵ میلی‌لیتر محلول واکنش شامل (بافر فسفات پتاسیم ٦۷mmol/L (pH= ۷/۸)، ۰/۲ mL EDTA ۰/۱ mmol/L حاوی سیانیدسدیم ۰/۳ mmol/L، ۵۰ µL عصاره آنزیمی، mL ۰/۱ نیتروبلوتترازولیوم ۱/۵ mmol/L و ۵۰µL ریبوفلاوین) مخلوط و یکنواخت گردید. این محلول به مدت ۱۵ دقیقه در زیر تابش نور سفید با شدت ۵۰۰۰ لوکس قرار گرفت و سپس جذب آن در nm ۵٦۰ قرائت گردید. مقداری از آنزیم که نصف حداکثر ممانعت از احیایNBT را باعث شود به‌عنوان یک واحد از آنزیم معرفی می‌شود (Winterbourn *et al.*, 1976).

بررسی فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD): سرعت بخشیدن به پلیمریزاسیون گایاکول توسط پراکسیداز مبنای سنجش فعالیت این آنزیم قرار گرفت. مخلوط واکنش از۱/۵mL بافر سیترات- فسفات- بورات ۰/۱ mol/L (۷/۵ =pH)، ۵۰ µL گایاکول ۱۵ mmol/L، ۲۵ µL عصاره آنزیمی و ۵۰µL پراکسیدهیدروژن۳/۳ mmol/L تشکیل شده بود. با استفاده از افزایش جذب در nm ٤۷۰ و ضریب خاموشی cm-۲٦/٦۱.mol-1 برای گایاکول فعالیت پراکسیداز محاسبه گردید. مقدار آنزیم لازم برای تولید ۱ میکرومول تتراگایاکول در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین به عنوان یک واحد آنزیم پراکسیداز در نظر گرفته شد (Chance and Maehly, 1955).

بررسی فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): فعالیت کاتالاز با دنبال نمودن تجزیه H_2O_2 در طول موج nm ۲٤۰ و اعمال ضریب خاموشی cm-1.mol-1 ۳۹/٤ محاسبه گردید. مخلوط واکنش از ۱/۵ mL بافر سیترات- فسفات- بورات ۰/۱ mol/L (۷/۵ =pH)، ۵۰ µL عصاره آنزیمی و۱۳ µL H_2O_2 ۱۰mmol/L تشکیل شده بود. مقدار آنزیم لازم برای تجزیه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

یک میکرومول آب‌اکسیژنه در دقیقه به عنوان یک واحد آنزیم کاتالاز معرفی می‌شود (Obinger *et al*., 1997).

سنجش مالوندی‌آلدئید (MDA): برای اندازه‌گیری مالوندی‌آلدئید ۰/۲ گرم بافت گیاهی تر شامل ریشه و برگ های گیاه با ۲ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک‌اسید ۰/۱ استخراج و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد، سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از روشناور با ۲ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک‌اسید ۲۰٪ حاوی ۰/۵٪ تیوباربیتوریک‌اسید مخلوط شده و به مدت۳۰ دقیقه در حمام آب‌جوش با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از این مدت لوله‌ها را سریع در یخ سرد کرده و جذب آن‌ها را در طول موج ۵۳۲ نانومتر در مقابل شاهد که به جای عصاره حاوی محلول استخراج است، اندازه گیری کرده و محتوای مالوندی‌آلدئید نمونه‌ها با واحد $nmol.g^{-1}.FW^{-1}$ با استفاده از ضریب خاموشی ۱۵۵cm-1.mmol-1 محاسبه شدند (Heath and Packer, 1968).

سنجش پراکسیدهیدروژن (H_2O_2): محلول استخراج شده در تری کلرواستیک اسید (۰/۱ درصد w به v) به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ g سانتریفیوژ شده و روشناور مورد استفاده قرار گرفت. ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی لیتر از محلول واکنشی شامل ۱۰ میلی مولار بافر فسفات پتاسیم (pH=۷) و یک مولار یدید پتاسیم اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ٦۰ دقیقه در تاریکی به منظور انجام واکنش قرار گرفت. جذب نمونه‌ها در ۳۹۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. مقادیر بر اساس منحنی استاندارد H_2O_2 محاسبه شد (Zhang *et al*, 2012).

اندازه گیری محتوای پرولین: ۰/۲ گرم ماده تر گیاهی با هاون خرد شده و درون لوله آزمایش ریخته شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ به آن اضافه شد و نمونه‌ها درون یخ قرار داده شد. پس از سانتریفیوژ در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد، مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل با ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال مخلوط شد.

نمونه‌ها پس از قرار گیری در حمام آب گرم ۸۰ درجه به مدت ۱ ساعت درون یخ سرد شدند. مقدار ٤ میلی‌لیتر تولوئن به محلول لوله‌ها اضافه و به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتکس به هم زده شد. پس از اندازه گیری جذب محلول‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر منحنی استاندارد رسم و معادله خط تعیین شد. با قراردادن جذب نمونه‌ها در معادله خط، محتوای پرولین محاسبه شد (در طول آزمایش نمونه‌ها در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد) (Bates *et al*., 1973). برای رسم منحنی استاندارد از پرولین استفاده گردید.

روش‌های آماری: تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS، MSTATC و رسم نمودارها با استفاده از Excel انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث:

تجزیه واریانس صفات:نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده تنش خشکی، اشعه UV، رقم و همچنین اثرات متقابل آنها بر صفات مورد مطالعه در جدول یک نشان داده شده است (جدول ۱).

مقایسه میانگین صفات رشدی: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین طول ساقه به ترتیب از ارقام "زارع" در شرایط بدون تنش خشکی و بدون اشعه UV و میهن در شرایط تنش خشکی بدست آمد (جداول ۲ و۳). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، طول ساقه را حدود ١٦ درصد کاهش داد (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV طول ساقه را در کلیه ارقام حدود ۱۰ درصد کاهش داد در حالی که این کاهش در شرایط بدون تنش خشکی ۱۷ درصد بوده است.

بیش‌ترین و کم‌ترین طول ریشه به ترتیب از ارقام پیشگام در شرایط بدون تنش اشعه UV تحت آبیاری نرمال و "زارع" در شرایط تنش خشکی و اعمال اشعه UV بدست آمد (جدول ٤). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، طول ریشه را حدود ۲۰ درصد کاهش داد (جدول ٤). در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		طول ساقه	طول ریشه	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b
تنش خشکی	۱	۲۲۸/۵۱**	۱۳/۹۳ns	۰/۰۰۰۰۲۵ns	۰/۰۰۰۰۶۹ns	۱۷/۱۶*	۵۲/۶۸ ns
UV	۱	۱۸۳/۶۰**	۲۰/۵۵ns	۰/۰۰۰۰۰۲۷ns	۰/۰۰۰۰۰۲۷ns	۱۱۴/۵۶**	۹۲/۱۲*
رقم	۲	۷۴/۵۸**	۱۶۴/۸۶**	۰/۰۰۰۳۵ns	۰/۰۰۰۴*	۲۷/۰۴**	۵۲/۴۸ ns
تنش خشکی × UV	۱	۲۲/۵۶ns	۰/۴۹ns	۰/۰۰۰۳۳ns	۰/۰۰۰۰۰۲۷ns	۱۴۸/۹۲**	۷۱/۴۰ **
تنش خشکی × رقم	۲	۳۰/۱۲۱*	۲/۹۵ns	۰/۰۰۰۳۰ns	۰/۰۰۱۰**	۲۶/۱۵**	۲۱/۲۰**
رقم × UV	۲	۲۹/۷۹*	۴۷/۲۸*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰۱ns	۹/۴۸ns	۴۸/۴۸ ns
تنش خشکی × UV × رقم	۲	۱۳/۶۲ns	۱۵۷/۵۵**	۰/۰۰۰۳۰ns	۰/۰۰۰۱۴ns	۱/۲۷ns	۲۴/۸۶ ns
خطا	۲۴	۸/۱۶	۱۱/۰۸۶	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۱	۴/۴۶	۲۳/۴۴
ضریب تغییرات (C.V.)	-	۹/۶۴	۱۷/۲۳	۲۵/۸۳	۳۰/۲۶	۱۰/۶۷	۲۲/۱۹

****، * و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار**

ادامه جدول ۱-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		کلروفیل کل	کاروتنوئید	آنتوسیانین‌ها	فلاونوئیدها	کربوهیدرات
تنش خشکی	۱	۱۲۹/۹۹*	۹۴/۱۸ **	۰/۷۰*	۳/۲۵**	۸۶۳/۳۹**
UV	۱	۴۱۲/۰۲**	۱۹/۹۳ ns	۰/۴۸*	۰/۹۴**	۸۶۲/۰۳**
رقم	۲	۱۳۴/۱۲ **	۱۲/۱۸ ns	۳۲/۷۸**	۱/۱۴**	۵۸۹/۴۴**
تنش خشکی × UV	۱	۱۵۱/۴۸ **	۰/۲۶ ns	۱۹/۰۹**	۰/۶۴**	۴۲۰/۸۶**
تنش خشکی × رقم	۲	۳۷۱/۵۸**	۷۰/۸۲**	۳/۰۴**	۱/۵۷**	۱۳۶۰/۲۱**
رقم × UV	۲	۲۰/۰۹ ns	۱۵/۵۲ ns	۱۹/۰۱*	۱/۹۱**	۲۱۷/۸۷**
تنش خشکی × UV × رقم	۲	۲۶/۷۲ ns	۱۱۶/۵۵**	۳/۲۶**	۲/۰۳**	۲۰۷۶/۶**
خطا	۲۴	۲۱/۷۴	۹/۸۹	۰/۱۰۸	۰/۰۵	۲/۹۴
ضریب تغییرات (C.V.)	-	۱۱/۲۰	۲۰/۶۷	۹/۹۴	۳/۷۶	۲/۰۹

****، * و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار**

تنش خشکی، کاربرد اشعه UV طول ریشه را در کلیه ارقام به جز رقم پیشگام حدود ۷ درصد کاهش داد در حالی که این کاهش در شرایط بدون تنش خشکی جز در رقم پیشگام حدود ۲۳ درصد بوده است. بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری طول ریشه و ساقه نشان داد که اشعه UV-C باعث کاهش معنی‌دار طول ریشه و ساقه شد. علت این امر کاهش تقسیم سلولی در نتیجه اثر اشعه ماوراء بنفش بر همانند سازی DNA است. اشعه ماوراءبنفش عمدتاً منجر به تشکیل دیمرهای پریمیدین سیکلو بوتانت و پریمیدین پریمیدون می‌گردند که منجر به جهش در گیاهان می‌شود چنانچه جهش در قسمت فعال ژن اتفاق افتد ممکن است سبب خسارت اقتصادی در کشاورزی، تأخیر در گل دهی و غیره شود (Pal *et al* ., 1998). تاثیر پرتو UV بر گیاهان شامل تغییرات مورفولوژیک از جمله ایجاد میان گره های کوچک، کاهش وزن، کاهش بیوماس، وزن تر و خشک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

ادامه جدول ۱-

منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	پروتئین	آنزیم SOD	آنزیم کاتالاز	آنزیم پراکسیداز	MDA
		میانگین مربعات (MS)					
تنش خشکی	۱	۰/۰۴ ns	۸/۹۱ **	۸۷۵۰/۹۷ **	۸۷۲۰۷/۹۹ **	۰/۴۲ **	۹۸۶/۹ **
UV	۱	۴۰/۵۷ ns	۱/۳۱ ns	۲۶۳۵۳/۱۹ **	۲۷۱۹/۲۷ **	۰/۰۰۱ ns	۴/۹ ns
رقم	۲	۵۵/۶۷ ns	۰/۲۹ ns	۱۱۰۵۴/۰۸ **	۸۳۶۹/۸۶ **	۰/۰۲۳ **	۲۶۶/۶ **
تنش خشکی × UV	۱	۱۷/۱۹ ns	۰/۲۵ ns	۴۲۸۵/۰۱۱ **	۴/۲۷ ns	۰/۰۱۲ **	۶۵/۷۹ ns
تنش خشکی × رقم	۲	۱۱۸/۷۵ *	۱/۸۷ ns	۱۷۹۸۱/۵۸ **	۷۷۱۰/۵۲ **	۰/۰۱۶ **	۱۰۲/۵۳ **
رقم × UV	۲	۳۱/۹۱ ns	۰/۲۷ ns	۱۰۹۹۱/۶۳ **	۸۱۱۲/۹۴ **	۰/۱۲ **	۳۱۹/۱۷ **
تنش خشکی × UV × رقم	۲	۵۲/۸۲ ns	۰/۱۶ ns	۱۸۹۲۴/۱۵ **	۶۸۳۶/۶۵ **	۰/۱۲۳ **	۴۷۸/۰۲ **
خطا	۲۴	۳۰/۱۶	۰/۶۷۲	۱۳/۳۳	۲/۹۶	۰/۰۰۰۵۸	۱۷/۴۹
ضریب تغییرات (C.V.)	-	۳۳/۵۸	۱۰/۸۶	۸/۸۶	۲/۴۸	۱۵/۱۱	۳۱/۸۱

****، * و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار**

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی × رقم بر صفات مورد مطالعه در گیاه گندم

تیمار (تنش خشکی × رقم)	طول ساقه (سانتی‌متر)	وزن خشک ریشه (گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه)
تنش خشکی × "پیشگام"	۲۲/۸۳ a	۰/۰۳۳ bc	۳۰/۵۶ c	۱۵/۴۵ ab
تنش خشکی × "میهن"	۱۵/۸۵ b	۰/۰۲۳ c	۴۰/۴۵ b	۲۰/۲۷ a
تنش خشکی × "زارع"	۱۷/۴۰ b	۰/۰۳۱ bc	۴۰/۶۰ b	۲۰/۵۰ a
آبیاری نرمال × "پیشگام"	۲۴/۳۳ a	۰/۰۵۱ a	۴۵/۲۵ ab	۱۲/۶۹ b
آبیاری نرمال × "میهن"	۱۷/۹۳ b	۰/۰۳۸ ab	۴۴/۷۳ ab	۱۲/۹۹ b
آبیاری نرمال × "زارع"	۱۷/۵۵ b	۰/۰۴۳ ab	۴۸/۱۶ a	۱۶/۱۹ ab

اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل اشعه UV × رقم بر صفات مورد مطالعه در گیاه گندم

تیمار (اشعه UV × رقم)	طول ساقه (سانتی‌متر)	وزن خشک ساقه (گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه)
اشعه UV × "پیشگام"	۲۵/۵۱ b	۰/۰۳۵ ab	۳۳/۳۱ c
اشعه UV × "میهن"	۲۴/۷۸ b	۰/۰۴۰ ab	۳۹/۰۴ b
اشعه UV × "زارع"	۳۱/۸۱ a	۰/۰۲۵ b	۴۲/۳۶ ab
شاهد × "پیشگام"	۳۰/۱۳ a	۰/۰۵۵ a	۴۲/۴۹ ab
شاهد × "میهن"	۳۲/۴۰ a	۰/۰۴۱ ab	۴۶/۱۳ a
شاهد × "زارع"	۳۳/۱۳ a	۰/۰۴۳ ab	۴۶/۴۰ a

اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی × UV-C × رقم بر صفات مورد مطالعه

تیمار (تنش خشکی × UV-C × رقم)	طول ریشه (سانتی‌متر)		کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه)		کربوهیدرات (میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه)		آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین)	
	تنش خشکی	آبیاری نرمال	تنش خشکی	آبیاری نرمال	تنش خشکی	آبیاری نرمال	تنش خشکی	آبیاری نرمال
UV-C × "پیشگام"	۲۰/٦٦ bcd	۲٥ ab	۱۲/٤۸ b	۱٤/۸۱ ab	۱۰۳/۳٤ b	٥٦/۹۳ i	۹٤/۷۷ a	۱٥/۷۹ def
UV-C × "میهن"	۱٦/٤٦ de	۱٦/۰٦ de	۱۲/۱۰ b	۱۸/۷۷ a	۸٤/۱۱ e	٦٥/۲٦ h	۲۱/۰٦ bcd	۹/٤۷ fg
UV-C × "زارع"	۱۱/۰۸ e	۱۷/۳۳ d	۱۷/۹۳ ab	۱۸/٦۸ a	۱۰۰/۹۰ bc	٥۲/۷۰ j	۲٤/۷٤ b	۲۱/۰٦ bcd
بدون اشعه×"پیشگام"	۱۹/۳۳ bcd	۲۹/۳۳ a	۱۳/٥۳ ab	۱۷/۷۰ ab	۱۲۸/۹۸ a	٦۸/٦۰ g	۲۳/۱٦ bc	۱۱/٥۸ efg
بدون اشعه × "میهن"	۱۸/۳۳ cd	۱۹/۰۳ bcd	۱۷/۰٤ ab	۱۷/٥۸ ab	۹٥/٥۱ d	٥۷/۳۱ i	۱٦/٥۰ cde	۷/۳۷ g
بدون اشعه × "زارع"	۱٤/٦٦ de	۲٤/۰٦ abc	٤/۷۱ c	۱۷/۱۷ ab	۹۸/۳٤ cd	۷۲/۱۸ f	۱٦/۸٥ cde	۹/٤۷ fg

اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

ادامه جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی × UV-C × رقم بر صفات مورد مطالعه

تیمار (تنش خشکی × UV-C × رقم)	آنزیم کاتالاز (واحد بر میکروگرم پروتئین)		آنزیم پراکسیداز (واحد بر میکروگرم پروتئین)		MDA (نانومول بر گرم وزن تر گیاه)		فلاونوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه)		آنتوسیانین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه)	
	تنش خشکی	آبیاری نرمال	تنش خشکی	آبیاری نرمال	تنش خشکی	آبیاری نرمال	تنش خشکی	آبیاری نرمال	تنش خشکی	آبیاری نرمال
UV-C×"پیشگام"	۷۸/۸٦ d	۱٦/۷٤ h	۰/۰۲٤ c	۰/۰٤۳ f	۳٦/۱۱ a	۸/۰٦ bc	٥/۱۷ d	٦/۲۳ ab	۲/٤۲ e	۱/۲٤ f
UV-C × "میهن"	۱۹۷/۱٥ a	۳۳/٥۹ g	۰/٤٤ b	۰/۰۹ e	۱۲/٥٥ bc	٦/۰٤ bc	٦/۳۷ ab	٦/۳۹ ab	۲/۲٤ e	۱/۱۲ f
UV-C × "زارع"	۱۸۳/٦٤ b	۳۷/۰٥ f	۰/٥٦ a	۰/۰۹ e	۱۱/٦۳ bc	٦/٦٦ bc	٦/۲٥ ab	٦/۱۷ ab	٦/٦٦ a	٥/٤٥ c
بدون اشعه×"پیشگام"	٥٤/۳٦۰ e	۱۷/۳۰ h	۰/۱٥ d	۰/۰٤ f	۹/۹۲ bc	۱٤/۱۱ b	٥/٥۸ c	٦/۰۳ b	۳/۳۳ d	٦/۰٥ b
بدون اشعه ×"میهن"	۱٤۲/٦۲ c	٤/٥۷ j	۰/۰٥ ef	۰/۰۱۳ f	۳۱/۸۳ a	۷/٤٤ bc	۳/۹۱ e	٦/۳٦ ab	۱/۹۷ e	۱/۳٦ f
بدون اشعه × "زارع"	٥٤/٥۳ e	۱۱/۳۰ i	۰/۱٥ d	۰/۰۲۳ f	۸/۲۲ bc	٥/۱۲ c	٦/٥۲ a	٦/۲۳ ab	۲/۳٦ e	٥/٤٥ c

اعدادی که حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

ریشه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، کاهش سطح برگ و همچنین کاهش تولید مثل و ممانعت از رشد و طویل شدن هیپوکوتیل می‌باشد (رحمت زاده و خارا، ۱۳۸۷).

مقایسه میانگین نشان داد بیش‌ترین (۰/۰٥٥ گرم) و کم ترین (۰/۰۲٥ گرم) وزن خشک ساقه به ترتیب از ارقام پیشگام در شرایط بدون اشعه UV و "زارع" در شرایط اعمال اشعه UV بدست آمد (جدول ۳).

حداکثر و حداقل وزن خشک ریشه به ترتیب از ارقام پیشگام در شرایط آبیاری نرمال و بدون اشعه UV و رقم "میهن" در شرایط تنش خشکی بدست آمد (جدول ۲). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، وزن خشک ریشه را حدود ۲۱ درصد کاهش داد (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV طول ریشه را در کلیه ارقام حدود ۳٥ درصد کاهش داد در حالی که این کاهش در شرایط بدون تنش خشکی ۲۰ درصد بوده است. کاهش وزن خشک ریشه در گیاه گندم با افزایش تنش خشکی در سایر تحقیقات نیز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

گزارش شده است (گلستانی‌فر و همکاران، ۱۳۹۶؛ Salwa and Osama, 2014).

همچنین در این تحقیق، تیمار UV-C باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ساقه هر سه رقم گندم شد. در گیاهانی مانند باقلا (*Vicia faba*) و گندم (Nyoman Rupiasih *et al*., 2016)، آفتابگردان (*Helainthus annuus*)، ذرت (*Zea mays*) و چاودار (*Secale cereale*) (Tossi *et al*., 2009) و گیاه (*Begonia semperflorens*) (Zhang *et al*., 2012) کاهش رشد و ارتفاع گیاه در اثر UV گزارش شده است. کاهش وزن ریشه و ساقه تحت تاثیر اشعه‌ی UV، بیانگر کاهش تولید بیوماس در این تیمارها است و این یک پاسخ عمومی در بسیاری از گونه‌های گیاهی است. یکی از دلایل کاهش وزن ریشه و ساقه تحت شرایط تنش شوری، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و کاهش فتوسنتز است (Ahmad and Sharma, 2010).

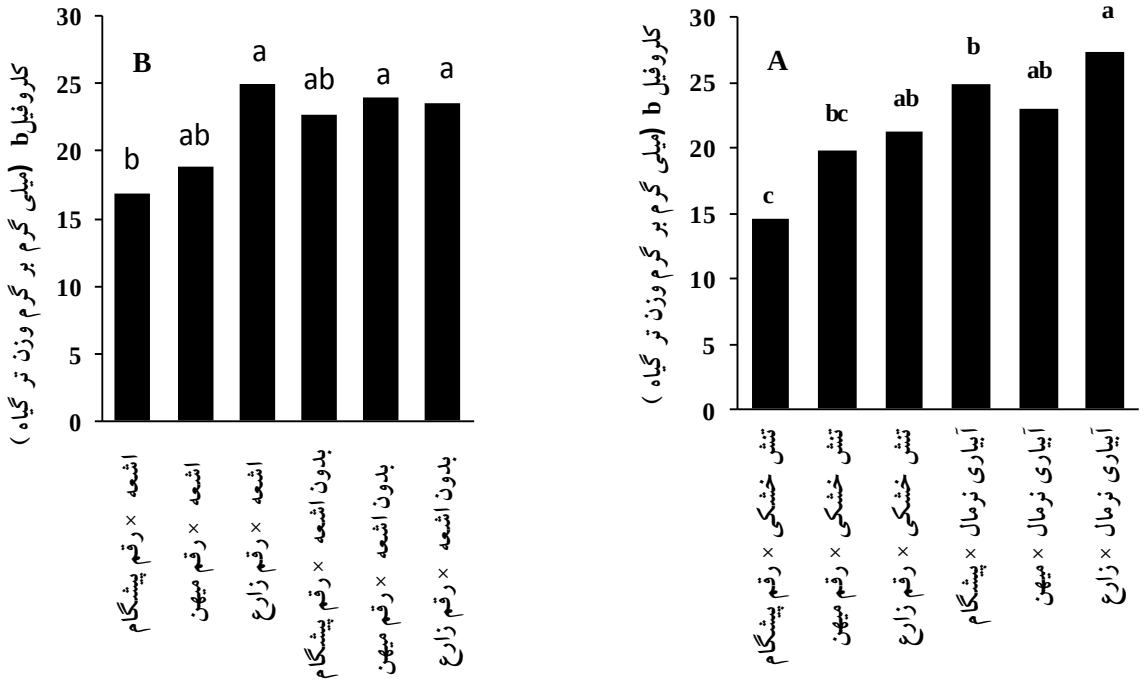
مقایسه میانگین رنگیزه‌های فتوسنتز: نتایج نشان داد که محتوای کلروفیل a وb در گیاهانی که در محیط خشک رشد کردند، کاهش یافت (شکل ۱-A و شکل ۲-C). مقایسه میانگین نشان داد کم‌ترین محتوای کلروفیل a تحت تنش خشکی مربوط به رقم پیشگام بود اما اعمال تنش خشکی تفاوت معنی‌داری بین ارقام "زارع" و میهن ایجاد نکرد (شکل ۱-A). همچنین کم‌ترین محتوای کلروفیل a تحت تنش اشعه UVمربوط به رقم پیشگام بود (شکل ۱-B). بیش‌ترین (۲٤/۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) و کم‌ترین (۱٦/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) محتوای کلروفیل b به ترتیب از رقم "زارع" و "پیشگام" در شرایط اعمال تنش اشعه UV بدست آمد (شکل ۲-D). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، محتوای کلروفیل گیاه را حدود ۱٦ درصد کاهش داد (شکل ۱-A). همچنین محتوای کلروفیل کل گیاه نیز تحت تنش خشکی و اشعه UV کاهش معنی‌داری نشان داد (جداول ۲ و ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار خشکی و اشعه UV در مقایسه با شاهد کلروفیل کل را به ترتیب به میزان ۲۰ و ۱۵ درصد کاهش داد (جداول ۲ و ۳). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر توام خشکی و اشعه UV-C بر محتوای کلروفیل a و b ارقام مختلف گندم معنی‌دار است و موجب کاهش کلروفیل a و b درگیاهان شد. کاهش محتوای کلروفیل در نتیجه خشکی در ارقام مختلف گیاه گندم با نتایج به‌دست آمده در گیاه گندم (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۵) مطابقت دارد. کاهش محتوای کلروفیل به دلیل ممانعت از سنتز آن و یا افزایش فعالیت کلروفیلاز (Muller *et al*., 2014) و همچنین فتواکسیداسیون غیرآنزیمی کلروفیل در اثر تابش پرتوهای ماوراءبنفش اتفاق می‌افتد (Piri *et al*., 2011). مطالعات انجام گرفته توسط محققان دیگر در بیشتر موارد حاکی از کاهش محتوای کلروفیل در گیاهان تحت تیمار اشعه‌ی UV می‌باشد، کاهش این رنگیزه‌ها در گیاهانی مانند گندم (Rahmatzadeh and Khara, 2007; Nyoman Rupiasih *et al*., 2016) نیز گزارش شده است.

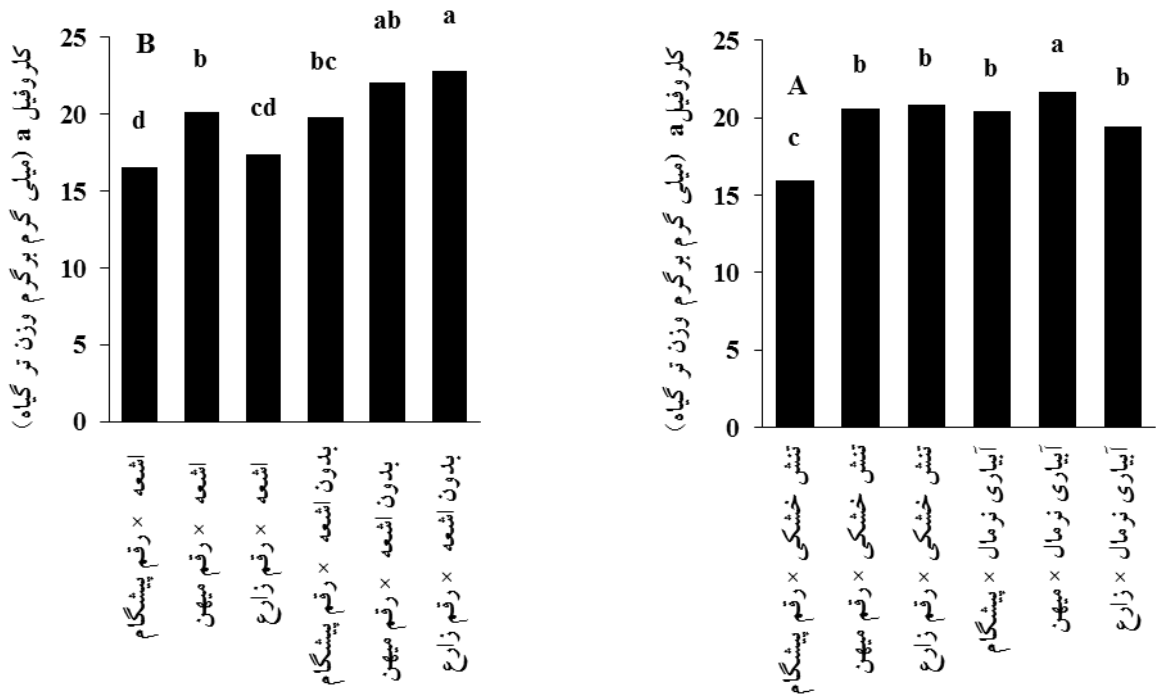
بیش‌ترین میزان کاروتنوئید به ترتیب از رقم "میهن" (۱۸/۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) و رقم "زارع" (۱۸/٦۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) در شرایط بدون تنش خشکی و با اعمال تنش UV حاصل شد. کم‌ترین محتوای کاروتنوئید نیز از رقم "زارع" ٤/۷۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) در شرایط تنش خشکی و بدون اعمال تنش UV بدست آمد (جدول ٤). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری نرمال (بدون تنش خشکی) میزان کاروتنوئید را به میزان ۲۵ درصد کاهش داد (جدول ٤). بهشتی و تدین (۱۳۹٦) نیز در بررسی تنش خشکی روی لوبیا (*Phaseolus lunatus* L.) نشان دادند که تنش خشکی میزان کاروتنوئید را کاهش داد این نتایج با یافته‌های ما در این تحقیق مطابقت داشت. در شرایط تنش خشکی، تنش اشعه UV در مقایسه با شاهد (بدون اعمال تنش اشعهUV) محتوای کاروتنوئید را در رقم "زارع" حدود ۷٤ درصد افزایش داد در حالی که اعمال تنش اشعه UV در دو رقم "پیشگام" و "میهن"، محتوای کاروتنوئید را کاهش داد (جدول ٤). اگرچه کاروتنوئیدها نسبت به کلروفیل‌ها حساسیت کمتری در برابر تنش‌ها دارند، ولی گزارش شده است که تنش آبی و شوری محتوای کاروتنوئیدها را در تعدادی از گیاهان کاهش داده است (Parida *et al*., 2004). تأثیر اشعه‌ی UV در افزایش محتوای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]



شکل ۲- تاثیر تنش خشکی (A) و اشعه UV (B) بر محتوای کلروفیل b (mg / g . FW) در ارقام مختلف گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون‌هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، از لحاظ آماری نسبت به یکدیگر معنی‌دار می‌باشند ($p < 0.05$ ،n=3).



شکل ۱- تاثیر تنش خشکی (A) و اشعه UV (B) بر محتوای کلروفیل a (mg / g . FW) در ارقام مختلف گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون‌هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، از لحاظ آماری نسبت به یکدیگر معنی‌دار می‌باشند ($p < 0.05$ ،n=3).

کاروتنوئید در اغلب گیاهان به اثبات رسیده است که در ارتباط با نقش آن در حفاظت از ساختارهای فتوسنتزی در برابر اثرات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

مضر این اشعه می‌باشد (Zhang *et al*., 2012, Yao, 2014, Yeo *et al*., 2011). ولی گزارشات محدودی مبنی بر کاهش کاروتنوئیدها در گیاهان تحت تنش اشعه UV در دسترس می‌باشد (Tossi *et al*., 2009).

مقایسه میانگین آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی: در شرایط تنش خشکی محتوای فلاونوئیدها را کاهش داد البته در رقم "میهن" و "زارع" افزایش مشاهده شد که معنی‌دار نبود (جدول ٤). بیشترین و کمترین فلاونوئید به ترتیب از تیمار تنش خشکی و بدون اشعه UV از رقم "زارع" (٦/٥٢ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) و رقم "میهن" (٣/٩١ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) بدست آمد (جدول ٤). در شرایط تنش خشکی، ارقام مختلف گندم نسبت به تیمار اشعه UV عکس‌العمل‌های متفاوتی نشان دادند به طوری که کاربرد اشعه UV محتوای فلاونوئید در رقم "میهن" را به میزان ٣٩ درصد افزایش داد در حالی که در رقم "پیشگام" کاربرد اشعه UV محتوای فلاونوئید را کاهش داد (جدول ٤). افزایش ترکیبات فنلی جذب کننده اشعه UV در پاسخ به تنش ناشی از این اشعه یک پاسخ شناخته شده در گیاهان می‌باشد که در گستره وسیعی از گیاهان مشاهده شده است (Syed *et al*., 2012; Buer *et al*., 2010).

بیش‌ترین (٦/٦٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) و کم‌ترین (١/١٢ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) محتوای آنتوسیانین به ترتیب از ارقام "زارع" در شرایط تنش خشکی و اشعه UV و تنش خشکی و "میهن" در شرایط بدون تنش اشعه UV و بدون اعمال تنش خشکی بدست آمد (جدول ٤). در شرایط تنش خشکی و اشعه UV در مقایسه با شرایط تنش خشکی و بدون اشعه UV، محتوای آنتوسیانین‌ها افزایش معنی‌داری یافت (شکل ٤). در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV محتوای آنتوسیانین‌ها را در ارقام "میهن" و "زارع" به ترتیب حدود ١٣ و ٦٥ درصد افزایش داد در حالی که در شرایط آبیاری نرمال، کاربرد اشعه UV، محتوای آنتوسیانین‌ها را در رقم "پیشگام" حدود ٨٠ درصد کاهش داد (جدول ٤). به‌طور کلی آنتوسیانین‌ها به‌عنوان جاذب پرتوهای ماوراء بنفش در اپیدرم عمل کرده و بافت‌های گیاهی را از صدمات ناشی از این پرتوها محافظت می‌کنند (Gould *et al*., 2009). افزایش آنتوسیانین در شرایط تنش خشکی و اشعه UV-C در سایر مطالعات روی گیاه گندم گزارش شده است (Balouchi *et al*., 2009). ترکیبات جذب کننده UV که اغلب فلاونوئیدها یا مشتقات هیدروکسی سینامیک اسید مثل آنتوسیانین هستند می توانند در اپیدرم و در واکوئل تجمع یابند و یا به‌صورت باند به دیواره یا کوتیکول قرار بگیرند که تجمع آن‌ها نوعی مکانیسم حفاظتی برای جلوگیری از نفوذ پرتوهای ماوراء بنفش است (Carvalho *et al*., 2010). افزایش میزان آنتوسیانین در گیاهان مختلف تحت تنش‌های زیستی گزارش شده است (Gould *et al*., 2009).

همان طورکه در جدول (٤) مشاهده می‌شود، تیمار خشکی باعث افزایش معنی‌دار محتوای کربوهیدرات‌های محلول، در گیاهان شد اما تنش اشعه UV در هر دو شرایط (آبیاری نرمال و تنش خشکی) باعث کاهش در محتوای کربوهیدرات شد (جدول ٤). به طور کلی بیش‌ترین میزان افزایش در رقم "پیشگام" تحت تنش خشکی مشاهده شد. در پژوهش حاضر تحت تنش خشکی محتوای کربوهیدرات محلول اندام هوایی افزایش یافت. نتایج مشابه در گیاهانی مثل گندم (Keles and Oncel, 2004) مشاهده شده است که در ارتباط با افزایش تجزیه نشاسته و تجمع کربوهیدرات‌های محلول مثل گلوکز، فروکتوز، سوکروز و فروکتان است.

نتایج حاصل از بررسی محتوای کربوهیدرات‌های محلول تحت تابش UV-C نشان داد که این پرتو در هر رقم باعث کاهش معنی‌دار سطح کربوهیدرات‌های محلول در اندام هوایی شد. علت کاهش کربوهیدرات می‌تواند کاهش میزان فتوسنتز باشد زیرا اشعه UV با تاثیر بر فتوسیستم ٢، غشاء تیلاکوئیدی، آنزیم روبیسکو و برخی از آنزیم‌های چرخه کلوین سنتز کربوهیدرات را کاهش می‌دهد (مهدویان و همکاران، ١٣٨٥). همچنین گزارش شده است تنش اشعه UV باعث تخریب پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و کربوهیدرات‌ها می‌گردد (Costa *et al*., 2002). کاهش محتوای کربوهیدرات‌های محلول تحت تاثیر پرتوهای ماوراء بنفش در گیاه گندم توسط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

سایر محققان گزارش شده است (Zu *et al*., 2004). به طور کلی بیش‌ترین میزان افزایش در رقم "پیشگام" تحت تنش خشکی و بدون اشعه UV مشاهده شد.

بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای پرولین به ترتیب از ارقام "زارع" و "میهن" در شرایط تنش خشکی بدست آمد (جدول ۲). تنش خشکی، محتوای پرولین را در کلیه ارقام حدود ۲٦ درصد افزایش داد (جدول ۲). بررسی نتایج حاصل از اندازه-گیری محتوای پرولین نشان داد که خشکی محتوای پرولین را به طور معنی‌داری افزایش داد. تجمع پرولین در انواع تنش‌ها مثل شوری، خشکی و فلزات سنگین در بسیاری از گیاهان به دلیل افزایش سنتز آن و یا کاهش تخریب آن گزارش شده است (Parida and Das, 2005; Kavi Kishor *et al*., 2005). تاثیر اشعه UV-C در این مطالعه روی پرولین معنی‌دار نبود (جدول ۱).

به طور کلی تغییرات محتوای پروتئین فقط تحت تنش خشکی معنی‌دار بود و در سایر تیمارها تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج حاصل نشان داد که خشکی باعث کاهش محتوای پروتئین شد.

با اعمال تنش خشکی محتوای مالون‌دی‌آلدئید در هر سه رقم مورد مطالعه افزایش معنی‌داری یافت. تنش خشکی در مقایسه با آبیاری نرمال محتوای MDA را حدود ۵۷ درصد افزایش داد (جدول ٤). عکس‌العمل ارقام مورد مطالعه گندم از نظر محتوای MDA نسبت به تیمار تنش اشعه UV متفاوت بود. در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV محتوای MDA را در رقم "پیشگام" افزایش معنی‌داری یافت در حالی که در همین شرایط محتوای MDA در رقم "میهن" کاهش معنی داری پیدا کرد (جدول ٤). در شرایط آبیاری نرمال، تغییرات محتوای MDA در هر سه رقم معنی‌دار نبود (جدول ٤). یکی از موارد آسیب خشکی، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا می‌باشد که منجر به آسیب غشایی، تخریب پروتئینی، غیر فعال شدن آنزیم‌ها، از بین رفتن رنگدانه‌ها و تخریب رشته DNA می‌باشد. حاصل پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، ترکیباتی مثل مالون‌دی‌آلدئید، پروپانال، بوتانال، هگزانال، هپتانال و پروپانال‌دی‌متیل‌استال می‌باشند که افزایش آنها به عنوان شاخص افزایش تنش اکسیداتیو محسوب می‌شود. مالون‌دی‌آلدئید حاصل تجزیه اسیدهای چرب غیراشباع است، که به عنوان شاخص زیستی پراکسیداسیون لیپیدها زمانی که در معرض ROS قرار گرفته‌اند، شناخته می‌شود (Eraslan *et al*., 2008). آزمایشی که در دو گونه برنج انجام گرفت، نیز نشان داد که گونه حساس برنج (IR–28) MDA بیشتری در شرایط تنش داشت، ولی گونه مقاوم Pokkali محتوای MDA کمتری تولید کرد (Demiral and Turkan, 2005). اشعه UV-C باعث افزایش معنی‌دار محتوای مالون‌دی‌آلدئید می‌شود. افزایش مشاهده شده برای محتوای MDA تحت تنش اشعه UV در این مطالعه با نتایج سایر محققان روی گندم مطابقت داشت (Balouchi *et al*., 2009).

مقایسه میانگین آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی: نتایج نشان داد با اعمال تنش خشکی فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز افزایش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ٤). در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی، اعمال تنش اشعه UV محتوای SOD را نسبت به تیمار شاهد (بدون اشعه UV) در تمامی ارقام مورد مطالعه افزایش داد به طوری که در شرایط تنش خشکی، اشعه UV در مقایسه با شاهد بدون اشعه UV) محتوای SOD را حدود ٦۰ درصد افزایش داد. در شرایط آبیاری نرمال مقدار افزایش محتوای SOD با کاربرد اشعه UV حدود ٤۰ درصد بود و این نشان دهنده این موضوع است که تنش خشکی تاثیر اشعه UV بر محتوای SOD را در تمامی ارقام تشدید کرده است (جدول ٤).

بین سه رقم مورد مطالعه، بیش‌ترین تغییرات در رقم "پیشگام" مشاهده شد. به طور کلی بیش‌ترین محتوای فعالیت آنزیم، در رقم "پیشگام" تحت تنش خشکی و اشعه UV مشاهده شد و کم‌ترین محتوای فعالیت در رقم "میهن" مشاهده شد (جدول ٤). سلول‌های گیاهی با داشتن سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان و افزایش ظرفیت آن در شرایط تنش‌زا تا حد امکان در مقابل تنش اکسیداتیو مقاومت می‌کنند (Turkan *et al*, 2009). تحقیقات در گیاهانی مانند گندم (Abedini and Daei-Hassani,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

2015) و برنج (*Oriza sativa*) (Chawla *et al*., 2013) نشان داده است که گیاهان متحمل در مقایسه با گیاهان غیرمتحمل دارای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی کارآمدتری می‌باشند.

تیمار گیاه توسط اشعه‌ی UV باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز شد. مشابه این نتیجه برای گیاهانی مانند آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*)، ذرت، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) و کلزا (*Brassica napus*) در پاسخ به تاثیر اشعه‌ی UV گزارش شده است (Muller *et al*., 2014; Tossi *et al*., 2009).

تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز درهر سه رقم گیاه گندم شد که این افزایش از نظر آماری معنی‌دار بود. اشعه UV نیز موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد که نسبت به گیاهان شاهد در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. کاربرد توام خشکی و اشعه UV اثر افزایشی بر فعالیت آنزیم کاتالاز داشت و باعث افزایش قابل توجه در فعالیت آنزیم کاتالاز شد. بیش‌ترین محتوای آنزیم کاتالاز مربوط به رقم "میهن" تحت تنش خشکی و اشعه UV بود که این افزایش از نظر آماری معنی دار بود (جدول ٤). یافته‌های ما در این تحقیق با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Syed *et al*., 2012; Tossi *et al*., 2009).

تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز درگیاه گندم شد. در شرایط تنش خشکی، کاربرد اشعه UV محتوای آنزیم پراکسیداز را افزایش داد در حالی که کاربرد اشعه UV در شرایط نرمال محتوای آنزیم پراکسیداز را کاهش داد (جدول ٤). به طور کلی بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم مربوط به رقم "زارع" تحت تنش خشکی و اشعه UV و کم‌ترین میزان مربوط به رقم "میهن" بدون دریافت تنش خشکی و اشعه UV بود (جدول ٤). آنزیم پراکسیداز نیز یکی از اجزای مهم سیستم دفاعی گیاهان می‌باشد که باعث حذف H_2O_2 تولید شده به واسطه عمل SOD می‌شود. POD در مراحل اولیه‌ی ریشه زایی و القا نمو بهتر ریشه‌های فرعی دخالت دارد. گروهی از پراکسیدازها (گروه III) که نقش آن‌ها اکسید کردن فنل‌ها با استفاده از H_2O_2 است در حفاظت طبیعی در برابر اشعه UV در گیاهان نقش دارند (Syed *et al*., 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ارقام مختلف گیاه گندم در این تحقیق نشان داد که تنش خشکی و اشعه UV-C باعث وارد آمدن آسیب به این گیاه شد. تنش خشکی و اشعه UV موجب کاهش میزان کلروفیل، طول ریشه و ساقه و وزن خشک ریشه و ساقه شد. ارقام گندم جهت حفظ وضعیت خود و مقابله با تنش، سیستم دفاع غیرآنزیمی خود را افزایش داد. ارقام مختلف گندم عکس‌العمل‌های متفاوتی در مقابله تنش‌های وارده از خود نشان دادند. افزایش میزان ترکیبات جاذب UV مانند فلاونوئیدها که مکانیسم دفاعی در برابر پرتوهای ماوراءبنفش هستند، مشاهده گردید. با توجه به افزایش میزان فلاونوئیدها و آنتوسیانین در رقم "زارع" نسبت به اثر توام تنش خشکی و اشعه UV-C این رقم مقاوم‌تر از دو رقم پیشگام و میهن می‌باشد. خشکی و تنش ماوراءبنفش، باعث القاء تنش اکسیداتیو و افزایش مالون‌دی‌آلدئید شد که با تغییر سطح فعالیت آنزیم‌های سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان همراه بود. بنابراین در نتیجه گیری کلی می‌توان بیان کرد که گیاه گندم تا حدی توانایی مقابله با تنش خشکی و اشعه UV را دارد. ولی اگر شدت تنش خشکی زیاد باشد، حتی مکانیسم‌های مقاومتی گیاه نمی‌تواند با این تنش شدید مقابله کرده و از گیاه دفاع کند؛ ولی اشعه UV اثرات تخریبی کمتری نسبت به تنش خشکی در گیاه گندم ایجاد کرد. اما کاربرد توام تنش خشکی و اشعه UV اثرات تخریبی شدیدی بر گیاه گندم داشت.

منابع

بلوچی، ح.ر.، مدرس ثانوی، س.ع.م.، امام، ی. و برزگر، م. (۱۳۸۷) تاثیر تنش کم آبی، ازدیاد دی اکسید کربن و اشعه UV بر صفات کیفی برگ پرچم گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.)، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲(٤٥): ۱٦۷-۱۸۱.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

بهشتی، ص. و تدین، ع. (۱۳۹٦) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی لوبیا لیما (*Phaseolus lunatus* L.)، فرآیند و کارکرد گیاهی ٦(۱۹): ۱-۱٤.

جهان بین، ش.، وفاپور، م.، یدوی، ع.ر. و بهزادی، ی. (۱۳۹٤) بررسی رشد و برخی خصوصیات گندم رقم الوند در شرایط کم آبیاری و محلول پاشی پتاسیم دی هیدرات فسفات، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۵(۳): ۱۰۳-۱۱۸.

خواجه، م.، موسوی نیک، س.م.، سیروس مهر، ع.ر.، یدالهی ده چشمه، پ. و امیری، ا. (۱۳۹٤) اثر تنش کم آبی و محلول پاشی سیلیکون بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی گندم در منطقه سیستان، فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۷(۲٦): ۵-۱۹.

رحمت زاده، س. و خارا، ج. (۱۳۸۷) تاثیر پرتوی UV-C بر روی رشد و برخی از فاکتورهای ریخت شناسی و فیزیولوژیک در گیاهان گندم همزیست با سه گونه از قارچ‌های میکوریز، مجله زیست شناسی ایران ۲۱(۱): ۵۲-٦۳.

سامانی، م.، دردی پور، ا.، خرمالی، ف. و بازرگان، ک. (۱۳۹۵) تاثیر نسبت‌های مختلف Ca: B بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در گندم، نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار ٦(۳): ۱۷۳-۱۸۲.

شهبازی، ه.، ارزانی، ا. و اسماعیل زاده مقدم، م. (۱۳۹۵) تاثیر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم، مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۵(۱۵): ۱۲۳-۱۳۱.

صادقی، ن.، شفیعی حاجی آباد، م. و شوکتی، ا.م. (۱۳۸۹) بررسی اثر اشعه UV-C و تنظیم کننده‌های رشد گیاهی بر آلوئه ورا (*Aloe vera* L.)، داروهای گیاهی ۲: ۳۷-٤٦.

قناتی، ف.، احمدی، ز. و عبدالمالکی، پ. (۱۳۸۵) تاثیر پرتوی فرابنفش C بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی در گیاه صبر زرد (*Aloe vera* L.)، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۲: ۳۱۵-۳۳۱.

گلستانی‌فر، ف.، محمودی، س.، زمانی، غ. و سیاری زهان، م.ح. (۱۳۹٦) اثر تنش خشکی بر کارآیی مصرف آب و وزن خشک ریشه گندم (*Triticum aestivum* L.) و چاودار (*Secale cereal* L.) در شرایط رقابت، پژوهش‌های زراعی ایران ۱۵(۲): ۱-۱۲.

موسوی، س. ف. و اخوان، س. ۱۳۸٦. اصول آبیاری. انتشارات کنکاش. ٤۱۰ صفحه.

مهدویان، ک.، قربانلی، م.، منوچهری کلانتری، خ. و محمدی، غ.ع. (۱۳۸۵) تاثیر باندهای مختلف اشعه ماوراء بنفش بر عوامل فیزیولوژیکی و ریخت شناسی فلفل (*Capsicum annuum* L.)، مجله زیست شناسی ایران ۱۹(۱): ٤۳-۵۳.

Abedini, M. and Daie-Hassani, B. (2015) Salicylic acid affects wheat cultivars antioxidant system under saline and non-saline condition. Russian Journal of Plant Physiology 62: 604–610.

Ahmad, P. and Sharma, S. (2010) Physio-biochmical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under $NaHCO_3$ stress. International Journal of Plant Production 4: 79-86.

Allen, D. J., Nogues, S. and Baker, R. N. (1998) Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis. Journal of experimental Botany 328:1775-1788.

Al-Mahasneh, M. A. (2006) Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. Journal of Food Engineering 2: 120-130.

Balouchi, H. R., Sanavy, S. A. M. M., Emam, Y. and Dolatabadian, A. (2009) UV radiation, elevated CO2 and water stress effect on growth and photosynthetic characteristics in durum wheat. Plant Soil Environment 10: 443-453.

Bandurska, H., Niedziela, J. and Chadzinikolau, T. (2013) Separate and combined responses to water deficit and UV-B radiation. Plant Science 213:98–105.

Bates, L. S., Walderen, R. D. and Taere, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39: 205-207.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72(1–2): 248-254.

Buer, C. S., Imin, N. and Djordjevic, M. A. (2010) Flavonoids: New Roles for Old Molecules. Journal of Integrative Plant Biology 52: 98-111.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

Carvalho, R. F., Quecini, V. and Peres, L. E. P. (2010) Hormonal modulation of photo morphogenesis-controlled anthocyanin accumulation in tomato (*Solanum lycopersicum L. cv Micro-Tom)* hypocotyls: Physiological and genetic studies. Plant Science 178: 258-264.

Chance, B. and Maehly, A. C. (1955) Assay of catalases and peroxidases, in Methods in Enzymology. Academic Press. 764-775.

Chawla, J. Zhu, C. Li, L. Sun, Z. and Pan, X. (2013) effects of exogenous salicylic acid on growth and H_2O_2-metabolizing enzymes in rice seedlings under lead stress. Journal of Environmental Sciences 191: 44-49.

Costa, H., Gallego, S. M. and Tomaro, M. L. (2002). Effects of UV-B radiation on antioxidant defense system in sunflower cotyledons. Plant Science 162 (6): 939-945.

Demiral, T. and Turkan, I. (2005) Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense system and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. Journal of Environmental and Experimental Botany 53: 247-257.

Eraslan, F., Ali, I., David, A., Pilbeam, J. and Gunes, A. (2008) Interactive effects of salicylic asic and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (Spinacia oleracea L. cv). Matador grown under boron toxicity and salinity. Plant Growth Regulation 55: 207-219.

Ganji Arjenaki, F., Jabbari, R. and Morshedi, A. (2012) Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. International Journal of Agriculture and Crop Scien 4(11): 726-729.

Gould, K., Davies, K. and Winefield, C. (2009) Anthocyanin, Biosynthesis, Functions, and Applications**.** 1(3):117-231.

Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125(1): 189-198.

Jaakola, L. (2013) New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits. Journal of Trends Plant Science 18: 477-483.

Kavi Kishor, P. B., Sangam, S., Amrutha, R. N., Sri Laxmi, P., Naidu, K. R., Rao, K. R. S. S., Rao, S., Reddy, K. J., Theriappan, P. and Steenivasulu, N. (2005) Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants :Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current Science 883: 424-438.

Keles, Y. and Oncel, I. (2004) Growth and solute composition in two wheat species experiencing combined influence of stress conditions. Russian Journal of plant physiology 51: 203-208.

Krizek, D. T., Britz, S. J. and Mirecki, R. M. (1998) Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce. Physiologia Plantarum 103(1): 1-7.

Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382.

Martens, S. and Mithofer, A. (2005) Flavones and flavone synthases. Phytochemistry 66: 2399–2407.

Masukasu, H., Karin, O. and Kyoto, H. (2003) Enhancement of anthocyanin biosynthesis by sugar in radish (*Raphanus sativus*) hypocotyls. Plant Science 164: 2: 259 - 265.

Muller-Xing, R., Xing, Q. and Goodrich, J. (2014) Footprints of the sun: memory of UV and light stress in plants. Frontiers in Plant Science 5: 1-12.

Nyoman Rupiasih, N. and Pandit B. V. (2016) Effect of UV-C radiation and hypergravity on germination, growth and content of chlorophyll of wheat seedlings. Proceeding of the 4th International Conference on Theoretical and Applied Physics P.1719.

Obinger, C., Maj, M., Nicholls, P. and Loewen, P. (1997) Activity, Peroxide Compound Formation, and Heme d Synthesis inescherichia colihpii Catalase. Archives of Biochemistry and Biophysics 342(1): 58-67.

Pal, M., Jain, V. and Sengupta, U. K. (1998) Influence of enhanced UV-B radiation on mustard: Cultivar response. Indian Journal of Plant Physiology 3(3): 188-193.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants :a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

Parida, A. K., Das, A. B., Mittra, B. and Mohanty, P. (2004) Salt-stress induced alterations in protein profile and protease activity in the mangrove, *Bruguiera parviflora* L. Naturforsch 59 :408-414.

Piri, E., Babaeian, M., Tavassoli, A. and Esmaeilian, Y. (2011) Effects of UV irradiation on plants. African Journal of Microbiology Research 5: 1710-1716.

Rahmatzadeh, S. and Khara, J. (2007) Influence of Ultravoilet-C radiation on some growth parameters of mycorrhizal wheat plants. Pakistan Journal of Biological Sciences 10 (23): 4275-4278.

Sakuraba, Y., Lee, SH., Kim, Y.S., Park, O.K., Hörtensteiner, S. and Paek, N.C. (2014) Delayed degradation of chlorophylls and photosynthetic proteins in Arabidopsis autophagy mutants during stress-induced leaf yellowing. Journal of Experimental Botany 65(14):3915-25.

Salwa A. R. and Osama A. M. (2014) Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. Annals of Agricultural Science 59(1): 133–145

Sheligl, H. Q. (1986) Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta Journal 47-51.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

Sun, T. L. and Waters, I. (2003) Review of prospects for germplasm improvement for water logging tolerance in wheat, barley and oats. Plant Soil 253: 1- 34.

Syed, S. B., Lakshmi, N. M. and Gowda, B. B. (2012) Poly phenolics profile and antioxidant properties of *Raphanus sativus* L. Natural Product Research 26(6): 557–563.

Tossi, V., Lamattina, L. and Cassia, R. (2009) An increase in the concentration of abscisic acid is critical for nitric oxide-mediated plant adaptive responses to UV-B irradiation. The New Phytologist 181(4): 871-879.

Turkan, M., Iwanzik, W. and Teramura, A. H. (2009) Effects of water logging damage in wheat seedling. Effects on Growth, Protein and Flavonoid Content. Zeitschrift für Pflanzenphysiologie 110(5): 459-467.

Wargent, J., Jordan, B. R. (2013) From Ozone Depletion to Agriculture: Understanding the Role of UV Radiation in Sustainable Crop Production. New Physiologist 197: 1058-1076.

Winterbourn, C. C., Mcgrath, B. M. and Carrell, R.W. (1976) Reactions involving superoxide and normal and unstable haemoglobins. The Biochemical Journal 3(155): 493–502.

Yao, X. (2014) Grain yield, starch, protein, and nutritional element concentrations of winter wheat exposed to enhanced UV-B during different growth stages. Journal of Cereal Science 60(1): 31-36.

Yeo, Y., Danna, C. H., Zemp, F. J., Titov, V., NazemCiftci, O. and Przybyiski, R. (2011) UV-C irradiated *Arabidopsis* and *Tobacco* emit volatiles that trigger genomic instability in neighboring Plants. Journal of the Plant Cell 23: 3842–3852

Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. and Xia, X. J. (2012) Photo protective roles of anthocyanin in Begonia semperflorens. International Journal of Plant Science 179: 202-208.

Zu, Y., Li, Y., Chen, J. and Chen, H. (2004). Intraspecific responses in grain quality of 10 wheat cultivars to enhanced UV-B radiation under field conditions. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 74 (2-3): 95-100.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]

The effect of drought stress and Ultraviolet on antioxidant defensive system of enzyme and non-enzyme in three varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.)

Zeynab Rezayi Far[1], Siamak Fallahi[1] and Esmaeil Gholinezhad[2]

[1]Department of Biology – University of Payame Noor
[2]Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University
(Received: 04/03/2017, Accepted: 19/09/2017)

Abstract

Drought stress and ultraviolet radiation as stressful environmental factors have deleterious effects on physiological and growth of plants. So in order to evaluate the effect of drought stress and Ultraviolet on photosynthesis pigments and antioxidant defensive system of enzyme and non-enzyme in three varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.), a pot experiment was conducted by using factorial based on completely randomized design (RCD) with three replications in 2015. Treatments were drought stress in two levels (control and drought stress by applying 25% of field capacity) and ultraviolet radiation (control and UV-C) and three wheat varieties ("Zare", "Pishgham" and "Mihan"). In this study, morphological traits, photosynthetic pigments and enzymes affecting on defense system were studied. The results showed that under drought stress and UV rays, the content of flavonoids increased in " Mihan" and decreased significantly in "Pishgham" cultivar, while in the same conditions (drought stress and UV radiation), the content of anthocyanins increased significantly. Treatment drought stress and UV caused oxidative stress in different varieties of wheat. In addition drought stress increased phenolic compounds and cause to enhance antioxidant enzymes such as catalase activity, superoxide dismutase and peroxidase. The content of soluble sugars increased under drought stess conditions. In drought stress condition, application UV increased proline amount in all three varieties about 31 percent but in optimum irrigation increased up to 22 percent. Increase of activity of antioxidant enzymes was observed in all three varieties, as well as the content of malondialdehyde and proline increased in all three varieties. UV radiation caused a significant reduction in the concentration of chlorophyll a, b and total chlorophyll. Also drought stress and UV reduced significantly root and stem dry weight, root and stem length. The interaction between drought stress and ultraviolet radiation increased damage to the plant. Also "Zare" variety according to increasing flavonoids and anthocyanin comparison with "Pishgham" and "Mihan" varieties was provn as tolerant to drought stress.

Key words: Anthocyanin, Drought stress, Flavonoids, UV radiation, Wheat.

Gholinezhad1358@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-07-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.16.1]