بررسی تأثیر پرتو فرابنفش بر رشد، جوانه‌زنی و خواص آنتی‌اکسیدانی گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

شمیم قربانی‌سامانی[۱*]، سارا سعادتمند [۲] و رمضانعلی خاوری‌نژاد [۳]

۱- کارشناسی‌ارشد، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران*

shamim_gh90@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

s_saadatmand@srbiau.ac.ir

۳- استاد، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

ra.khavarinejad@srbiau.ac.ir

**نویسنده مسئول: شمیم قربانی‌سامانی*

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۷

Effect of ultraviolet radiation on seed germination, growth and antioxidative activity in sunflower plant

Shamim Ghorbani Samani[1*], Sara Saadatmand[2] and Ramazan Ali Khavari-Nejad[3]

1*- MS.c, Department of Botany, Basic science college, Science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, shamim_gh90@yahoo.com

2- Assistant Professor, Department of Botany, Basic science college, Science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, s_saadatmand@srbiau.ac.ir

3- Professor, Department of Botany, Basic science college, Science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, ra.khavarinejad@srbiau.ac.ir

*Corresponding author: Shamim Ghorbani Samani

Received: January 2018 Accepted: October 2018

چکیده

در این پژوهش تأثیر پرتو UV بر جوانه‌زنی بذر، رشد اندام هوایی و ریشه، شاخص سطح برگ، خواص آنتی‌اکسیدانی (آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) و میزان کلروفیل گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد که تحت تأثیر پرتوی UV، درصد جوانه‌زنی افزایش یافت. طول اندام هوایی و ریشه، وزن خشک و وزن تر اندام هوایی و ریشه و همچنین شاخص سطح برگ کاهش نشان داد. در مورد فعالیت آنزیمی نیز برای آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز روند کاهشی و برای آنزیم پراکسیداز روند افزایشی مشاهده شد. به طور کلی نتایج این تحقیق حاکی از تغییر در رشد و نمو گیاهان تحت تأثیر پرتوی فرابنفش است.

کلمات کلیدی: آفتابگردان، پرتو فرابنفش، درصد جوانه‌زنی، فعالیت آنزیمی.

Abstract

Ultraviolet radiation (UV) is a component of the solar light, depending on its wavelength; it can be divided in three different ranges: UVA, UV-B and UV-C. Among these, UV-C is the radiation with the lower wavelength and has an acute germicidal action on microorganisms in water, on surfaces and in air. Moreover, it can induce oxidative results and genetic mutations in plants that in turn have strong negative effects on plant morphology, flowering, pollination, transpiration and photosynthesis. Fortunately, UV-C is strongly affected by the ozone layer in the stratosphere, so that the amount of this radiation reaching the Earth's surface. Nevertheless, in the last decades, human activities have contributed to the depletion of ozone protective layer. In this research, the effect of UV radiation on the seed germination, shoot and root growth, leaf area index, antioxidative properties (catalase enzymes, peroxidase and superoxide dismutase) and chlorophyll content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) were investigated. For this purpose, the plants were divided into two groups, two hours UV irradiation and four hours UV irradiation with a control sample that was not UV-treated. The results showed that under UV radiation, germination percentage increased. On the other hand, the length of shoot and root, dry weight and fresh weight of shoot and root, as well as leaf area index were decreased. In the case of enzyme activities, catalase and superoxide dismutase enzymes were decreased and for the enzyme peroxidase, a decreasing trend was observed. In general, the results of this study indicate a change in the growth of plants under the influence of ultraviolet radiation.

Keywords: Antioxidative properties, *Helianthus*, Seed germination, UV radiation.

مقدمه و کلیات

تیره آفتابگردان گیاهانی یکساله، دوساله، چندساله یا گاهی اوقات درختچه‌ای دارای بافت شیرابه‌دار یا بدون آن هستند. برگ‌ها متناوب یا گاهی متقابل، بدون گوشواره (به ندرت گوشواره‌دار)، ساده، دندانه‌دار، لوب‌دار یا دارای بریدگی‌های گوناگون. گل‌های منفرد معمولاً متعدد (به ندرت فقط یک عدد)، بدون دمگل، مجتمع در یک کپه (کلاپرک) که نوسط بخش محافظتی به نام گریبان (Involucre) متشکل از یک تا چند ردیف برگه (برگه گریبان) پوشیده شده به ندرت به هم متصل. کلاپرک گاهی مجتمع در کپه‌ای ثانویه و سر مانند به نام کپه کاذب است (رمضانی‌ویشکی، ۱۳۸٤). کشت آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در سال‌های اخیر به طور معنی‌داری در حال افزایش است و این امر به طور عمده به کیفیت روغن آن برمی‌گردد که برای مصارف انسانی و اهداف صنعتی مفید است. آفتابگردان دارای سازگاری مناسبی به شرایط محیطی است و یک محصول مناسب از نظر قرارگیری در دوره تناوب و تولید محصول می‌باشد (Abreu *et al.*, 2013). همچنین استفاده از محصولات خام این گیاه به طور چشمگیری در حال افزایش می‌باشد که این نیازمند تولید بذرهای با کیفیت بالا و به دست آوردن اطلاعاتی در زمینه انبارداری و نگهداری بذرهای این محصول می‌باشد. با توجه به اینکه دانه‌های روغنی به عنوان یکی از منابع عظیم انرژی و پروتئین شناخته می‌شوند، این گیاهان نه تنها در تغذیه انسان و دام نقش اساسی و تعیین کننده‌ای دارند، بلکه گردش چرخ‌های صنعت و اقتصاد تعدادی از کشورها به آن‌ها وابسته است. از طرفی کاهش ضخامت لایه اُزن در اثر افزایش آلاینده‌ها سبب کاهش جذب پرتوهای فرابنفش (UV) خورشید به وسیله‌ی این لایه و در نتیجه آسیب موجودات زنده، از جمله گیاهان می‌شود. وقوع تغییرات فیتوشیمیایی در گیاهان از جمله واکنش‌های سازش، دفاع و مقابله‌ی آنها در برابر آسیب‌های ناشی از این پرتوهاست. بنابراین بررسی این تغییرات در گیاهان عالی حائز اهمیت است. در این پژوهش تأثیر پرتو UV بر جوانه‌زنی بذر، رشد اندام هوایی و ریشه، شاخص سطح برگ، خواص آنتی اکسیدانی (آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) و میزان کلروفیل گیاه آفتابگردان مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد که تحت تأثیر پرتوی UV درصد جوانه‌زنی به طور معنی‌داری افزایش یافت. طول و وزن خشک و وزن تر اندام هوایی و ریشه و همچنین شاخص سطح برگ کاهش نشان داد. در مورد فعالیت آنزیمی نیز برای آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز روند کاهشی و برای آنزیم پراکسیداز روند افزایشی مشاهده شد. به طور کلی نتایج این تحقیق حاکی از تغییر در رشد و نمو گیاهان تحت تأثیر پرتوی فرابنفش است.

فرآیند پژوهش

جمع‌آوری نمونه و آماده‌سازی آن: بذر گیاه آفتابگردان از موسسه اصلاح نباتات در کرج تهیه شد. بذر اصلاح شده رقم فرخ پس از همگون‌سازی با آب شسته شده و در آب ژاول ۵ درصد به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه و سپس الکل ۷۰ درصد به مدت ۱ دقیقه ضدعفونی شد. سپس این بذرها در پلیت‌ها قرار داده شدند و بعد از اعمال تیمارها درصد جوانه‌زنی در طی ۳ روز محاسبه شد. بذرها تا مرحله جوانه‌زنی در تاریکی و در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. پس از آن جوانه‌های رشد کرده به

گلدان منتقل شدند. نمونه‌ها هر روز آبیاری می‌شدند. ۲۸ روز بعد از کشت در گلدان، گیاهان را خارج کرده و بررسی‌ها انجام شد. منبع تأمین UV لامپ UVC با مشخصات Philips TL20W/52 بود.

تیمارهای اعمال شده: تیمارهایی که در این تحقیق اثر آن‌ها مورد بررسی قرارگرفت شامل گیاهانی که تحت تأثیر ۲ ساعت امواج UV قرارگرفتند، گیاهانی که تحت تأثیر ٤ ساعت امواج UV قرارگرفتند. در کنار این دو گروه تعدادی از گیاهان نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند که تحت تیمار امواج UV قرارنگرفتند، بود.

صفات اندازه‌گیری شده:

طول ساقه و ریشه: برای این منظور نمونه‌ها از گلدان خارج و توسط یک خط‌کش اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها بر حسب سانتی‌متر بیان شد. **وزن تر و خشک:** برای محاسبه وزن تر گیاه، بخش‌های برگ، ساقه و ریشه تفکیک شدند و توسط ترازوی آزمایشگاهی با دقت توزین شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ٢٤ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتیگراد قرارگرفتند و پس از آن وزن خشک آن‌ها توسط ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری گردید و نتایج مورد بررسی قرارگرفت. عمل توزین با دقت کافی و برای هر سه تکرار از هر نمونه گیاهی انجام شد.

شاخص سطح برگ: بعد از انتقال نمونه‌های تازه به آزمایشگاه، شستشو و تفکیک برگ و ساقه، مساحت سطح برگ‌ها توسط دستگاه leaf area meter بر حسب میلی‌متر مربع تعیین گردید. این سنجش برای تعداد ۱۰ برگ از تمام تکرارهای هر نمونه انجام شد.

درصد جوانه‌زنی بذرها: برای محاسبه درصد جوانه‌زنی، بذرهای کشت شده در پلیت پس از سه روز مورد بررسی قرارگرفت. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از فرمول زیر استفاده می‌گردد:

۱۰۰× کل بذرها/ تعداد بذرهای جوانه‌زده= درصد جوانه‌زنی

تهیه عصاره جهت سنجش غلظت پروتئین: ۰/۱ گرم بافت تر از گیاه مورد نظر را برداشته در هاون چینی در محیط سرد توسط دو میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH 6.8 ساییده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱٦۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. سپس فاز بالایی به یک ویال ۲ میلی‌لیتری منتقل و در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Bradford and Alston, 2004).

سنجش غلظت پروتئین: به منظور سنجش غلظت پروتئین محلول از روش Bradford and Alston, 2004 که در حد میکروگرم کاربرد دارد استفاده شد. به لوله آزمایش مقدار ۱۰۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی و یک میلی‌لیتر معرف برادفورد افزوده و سریعاً ورتکس شد. به لوله شاهد بجای عصاره پروتئینی ۱۰۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. پس از اینکه کاملاً مخلوط شدند، جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. غلظت پروتئین هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید.

فعالیت آنزیم کاتالاز: بر اساس روش Aebi,1974 سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز صورت گرفت. ۳ میلی-لیتر مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH 6.8، آب اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار و عصاره آنزیمی، تهیه شد. با اضافه کردن عصاره به محیط، واکنش تجزیه H_2O_2 توسط آنزیم شروع و میزان تغییرات جذب با بررسی کاهش مقدار هیدروژن در طول موج ۲٤۰ نانومتر به مدت ۱ دقیقه در دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده و ثبت شد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز: بر اساس روش Ranieri و همکاران در سال ۲۰۰۳، سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز صورت گرفت. سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۲۵ میلی‌مولار با pH 6.8، بنزیدین ۲۰ میلی‌مولار، آب اکسیژنه ٤۰ میلی‌مولار و عصاره آنزیمی، تهیه شد. تغییرات جذب نیز در طول موج ٤۷۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه در دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده و ثبت شد. سپس فعالیت آنزیمی به صورت تغییرات جذب به ازای گرم وزن تر در دقیقه سنجیده شد. نمونه شاهد شامل بافر فسفات ۲۵ میلی‌مولار (۲۸۵۰ میکرولیتر) و عصاره آنزیمی (۵۰ میکرولیتر) وبنزیدین (۱۰۰ میکرولیتر) می‌باشد.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: بر اساس روش Giannopolitis و همکاران در سال ۱۹۹۷ اندازه‌گیری شد. در این روش بازدارندگی آنزیم SOD از احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم (NBT) اساس اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم است.

کلروفیل: برای سنجش میزان کلروفیل از روش lichtenthaler در سال ۱۹۸۷ استفاده شد. برای این منظور ۰/۰۵ گرم از بافت تازه برگ با ترازوی دقیق آزمایشگاهی توزین گردید و در هاون چینی ساییده شد (برای این منظور می‌توان از ازت مایع نیز جهت پودر کردن بافت برگی استفاده کرد، پس از آن باید تمامی مراحل تا هنگام خواندن جذب طول موج‌های مربوطه به دور از حضور نور انجام شود). پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ قطعات بزرگ کاملاً ساییده شدند و سپس حجم آن‌ها با استون به ۱۵ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول‌های حاصل با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردیدند. از محلول فوقانی برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a و b استفاده گردید.

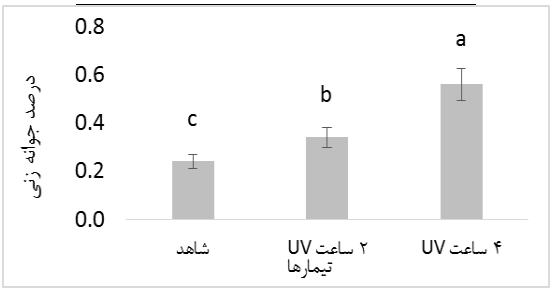
بررسی‌های آماری: تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS 18 و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. طرح آزمایش به صورت آنالیز واریانس یک طرفه (One Way Anova) بود و مقایسه میانگین‌ها در سطح خطای ۰/۰۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

جوانه‌زنی در روز سوم: ابتدا در مورد بذرهایی که در پلیت کاشته شده بودند، پس از سه روز تعداد بذرهای جوانه‌زده به کل بذرهای کاشته شده تعیین شد و با توجه به آن درصد جوانه‌زنی بذور مورد بررسی قرارگرفت. تغییرات ایجاد شده در اثر تیمار-های اعمال شده‌ی ۲ و ٤ ساعت تابش پرتوفرابنش، در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد در مقایسه با شاهد تغییرات معنی‌دار نشان دادند. این تغییرات به این صورت بودند که در اثر تیمار ۲ ساعت پرتوفرابنفش، افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد مشاهده شد و با افزایش مدت زمان تابش اشعه از ۲ به ٤ ساعت، افزایش بیشتری در جوانه‌زنی بذرها ثبت شد که هم نسبت به شاهد و هم نسبت به ۲ ساعت تابش اشعه، در سطح ۰/۰۵ درصد، معنی‌دار بود (جدول ۱ و نمودار ۱).

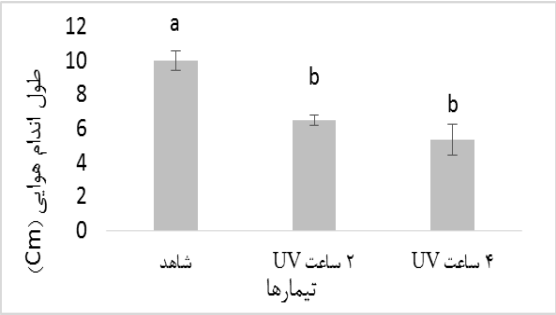
جدول ۱: درصد جوانه‌زنی بذرها پس از سه روز تیمار

تیمارها	شاهد	۲ ساعت UV	٤ ساعت UV
درصد جوانه‌زنی	۲٤	۳٤	٥٦



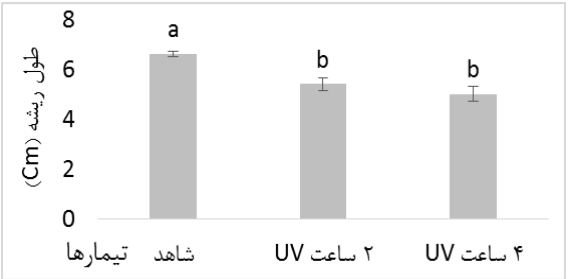
نمودار ۱: درصد جوانه‌زنی بذرها پس از سه روز تیمار

طول اندام هوایی: نتایج حاصل از بررسی طول اندام هوایی کاهش معنی‌داری را در مقایسه با شاهد در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد نشان داد که این روند مشهودتر بود (نمودار ۲).



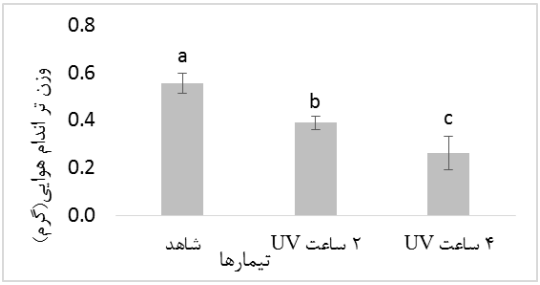
نمودار ۲: تغییرات طول اندام هوایی

طول ریشه: نتایج این تیمار روی گیاهان نشان داد که امواج فرابنفش موجب کاهش طول ریشه می‌شود که این کاهش در مقایسه با شاهد، در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار است. البته باید توجه داشت که با افزایش زمان پرتوگیری از ۲ به ٤ ساعت، هیچ تغییر معنی-داری در میانگین طول ریشه مشاهده نشد (نمودار ۳).



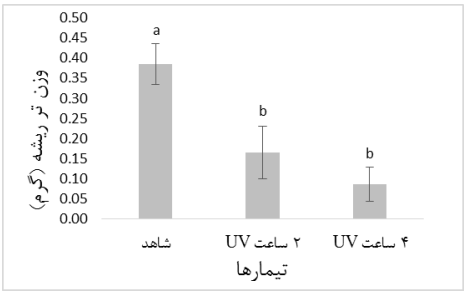
نمودار ۳: تغییرات طول ریشه

وزن تر اندام هوایی: پس از بررسی مقادیر به دست آمده برای وزن تر اندام هوایی مشخص شد که تیمار ۲ ساعت نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار و همچنین تیمار ٤ ساعت نیز نسبت به شاهد و تیمار ۲ ساعت کاهش داشته است، پس به طور کلی روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد در بین تیمارها مشاهده شده است (نمودار ٤).



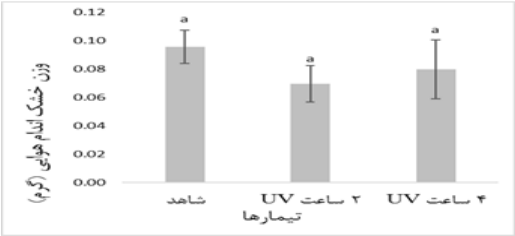
نمودار ٤: تغییرات وزن تر اندام هوایی

وزن تر ریشه: نتایج وزن تر ریشه بدست آمده حاکی از آن است که وزن تر در ریشه‌های ۲ ساعت تیمار شده نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد نشان دادند و در مورد ریشه‌های ٤ ساعت تیمار دیده نیز کاهش مشاهده شد که نسبت به شاهد در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار بود، اما نسبت به تیمار ۲ ساعت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (نمودار ۵).



نمودار ۵: تغییرات وزن تر ریشه

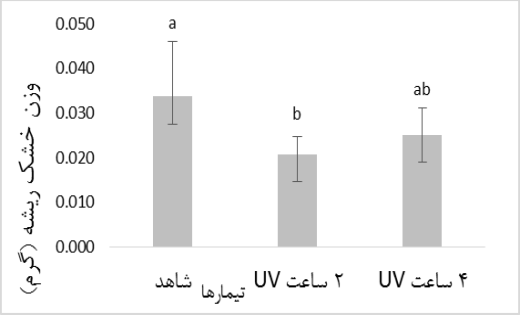
وزن خشک اندام هوایی: بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده شده است که وزن خشک اندام هوایی در هیچ کدام از تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد با شاهد نشان نداد و همچنین در بین خود تیمارها هم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (نمودار ٦).



نمودار ٦: تغییرات وزن خشک اندام هوایی

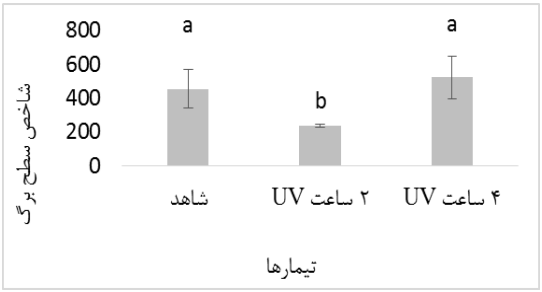
وزن خشک ریشه: از مقایسه نتایج به دست آمده برای وزن خشک ریشه مشاهده شد که وزن خشک

در گروه با تیمار ۲ ساعت نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد داشته است، ولی در تیمار ٤ ساعت نسبت به شاهد اگرچه کاهش نشان داده است، اما این تغییر معنی‌دار نبوده است. همچنین نسبت به تیمار ۲ ساعت هم تغییر معنی‌داری مشاهده نشد (نمودار ۷).



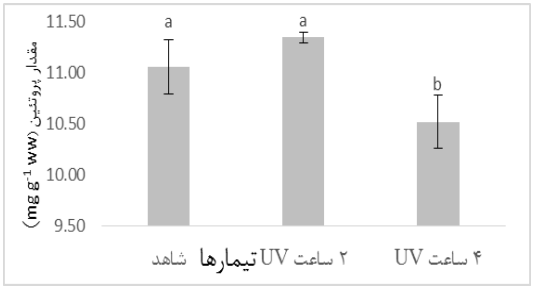
نمودار ۷: تغییرات وزن خشک ریشه

شاخص سطح برگ: شاخص سطح برگ به دست آمده برای تیمار ۲ ساعت نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد داشت، در صورتی که تیمار ٤ ساعت نسبت به شاهد تغییر معنی‌داری نشان نداد. همچنین در بین خود تیمارها، تیمار ٤ ساعت نسبت به تیمار ۲ ساعت شاخص سطح برگ بزرگتری نشان داد (نمودار ۸).



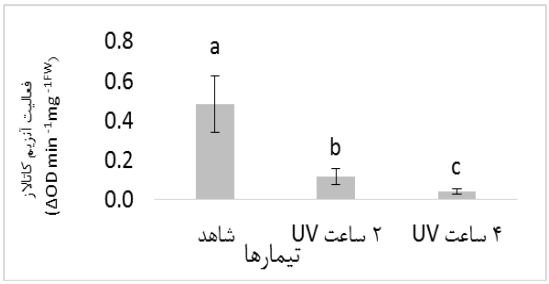
نمودار ۸: تغییرات شاخص سطح برگ

پروتئین: نمودار ۹ نشان می‌دهد که تحت تابش ۲ ساعت امواج فرابنفش، در مقدار پروتئین تغییری ثبت نشد ولی با افزایش زمان تابش به ٤ ساعت، کاهش معنی‌داری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد در مقایسه با شاهد در محتوای پروتئین مشاهده شد.



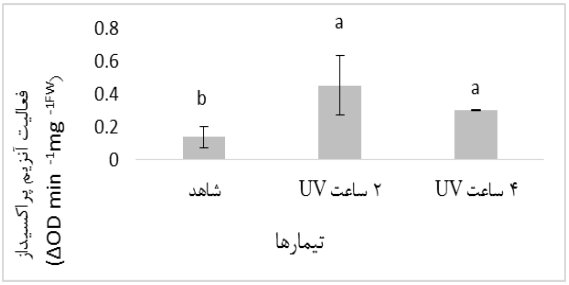
نمودار ۹: میزان پروتئین در تیمارهای ۲ و ٤ ساعت پرتو فرابنفش

کاتالاز: نمودار ۱۰ نشان می‌دهد فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر تیمار اشعه فرابنفش منجر به کاهش فعالیت این آنزیم در مقایسه با شاهد شده است و با افزایش زمان تیمار اشعه مشاهده شده است.UV به ٤ ساعت باز هم کاهش فعالیت آنزیم هم نسبت به شاهد و هم نسبت به تیمار ۲ ساعت تمام تغییرات ایجاد شده در فعالیت آنزیم در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد معنی‌دار می‌باشند.



نمودار ۱۰: تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز

پراکسیداز: نمودار ۱۱ نشان می‌دهد در فعالیت آنزیم پراکسیداز در اثر تیمار UV افزایش صورت گرفت. این افزایش برای هر دو تیمار در مقایسه با شاهد در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد معنی‌دار بود، ولی در بین خود تیمارها تغییر معنی‌داری مشاهده نشد.

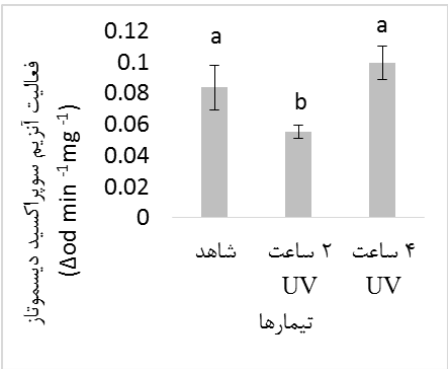


نمودار ۱۱: تغییرات فعالیت آنزیم پراکسیداز

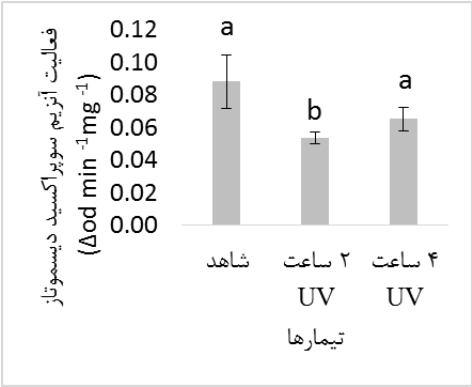
سوپراکسید دیسموتاز در روشنایی: فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در روشنایی در مقایسه با شاهد

کاهش نشان داد که در شرایطی که گیاهانی که در معرض ۲ ساعت اشعه فرابنفش قرارگرفتند، کاهش معنی‌دار در فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز آن‌ها نسبت به شاهد مشاهده شده است، ولی برای گیاهانی که ٤ ساعت توسط اشعه فرابنفش تیمار شدند، تغییرات کاهشی در سطح ۰/۰۵ درصد نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. در بین خود تیمارها اثر تیمار ٤ ساعت UV در مقایسه با ۲ ساعت UV افزایش معنی‌داری را برای فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در روشنایی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد نشان داد (نمودار ۱۲).

سوپراکسید دیسموتاز در تاریکی: در شرایط تاریکی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با شرایط روشنایی کمی متفاوت بود، به این صورت که در تیمار ۲ ساعت اشعه فرابنفش، کاهش معنی‌دار در فعالیت آنزیم در مقایسه با شاهد در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد مشاهده شده است ولی در تیمار ٤ ساعت اشعه فرابنفش با وجودی‌که میزان فعالیت آنزیم در مقایسه با شاهد بیشتر شد، ولی این افزایش معنی‌دار نبود. در بین خود تیمارها هم در تیمار ٤ ساعت نسبت به تیمار ۲ ساعت افزایش معنی‌دار در فعالیت آنزیم مشاهده شده است (نمودار ۱۳).



نمودار ۱۲: تغییرات فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در روشنایی

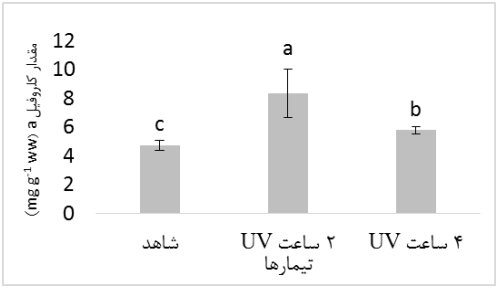


نمودار ۱۳: تغییرات فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در تاریکی

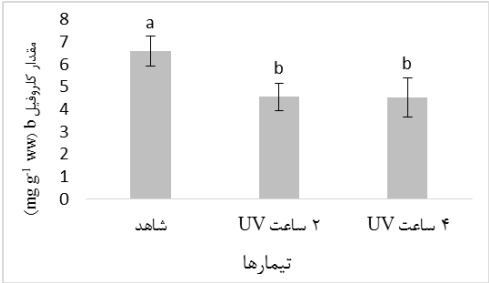
کلروفیل a: مقدار کلروفیل a گیاه آفتابگردان تحت شرایط تیمار در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داده است. البته با افزایش مدت زمان تابش از ۲ ساعت به ٤ ساعت، مقدار کلروفیل a کاهش نشان داد، ولی باز هم در مقایسه با شاهد بیشتر بود. کمترین مقدار کلروفیل a محاسبه شده مربوط به شاهد بود که معادل ٤/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود و بیشترین مقدار هم ۸/۳۲ برای تیمار ۲ ساعت UV بود (نمودار ١٤).

کلروفیل b: مقدار کلروفیل b در هر دو تیمار ۲ و ٤ ساعت UV در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد که این کاهش در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد معنی‌دار بود. در بین تیمارها، تغییرات مقدار کلروفیل b معنی-دار نبود (نمودار ۱۵).

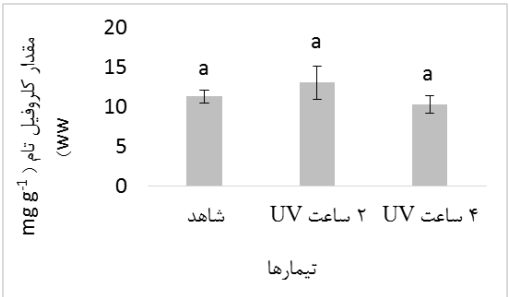
کلروفیل تام: در مجموع تغییرات ایجاد شده در کلروفیل تام تحت تیمار ۲ و ٤ ساعت UV در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد نسبت به شاهد و همچنین نسبت به یکدیگر معنی‌دار نبود (نمودار ١٦).



نمودار ١٤: تغییرات محتوای کلروفیل a



نمودار ۱۵: تغییرات محتوای کلروفیل b



نمودار ۱۶: تغییرات محتوای کلروفیل تام

با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر تحت تأثیر پرتو UV جوانه‌زنی افزایش یافت. طول و وزن خشک و وزن تر اندام هوایی و ریشه و همچنین شاخص سطح برگ کاهش نشان داد. در مورد فعالیت آنزیمی نیز برای آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز روند کاهشی و برای آنزیم پراکسیداز روند افزایشی مشاهده شد که دلیل این افزایش در فعالیت آنزیم پراکسیداز، تلاش گیاه برای جلوگیری و خنثی‌کردن اثرات مخرب تنش امواج الکترومغناطیسی است. به طورکلی نتایج این تحقیق حاکی از تغییر در رشد و نمو گیاهان تحت تأثیر پرتوی فرابنفش است. که با نتایج حاصل از پژوهش‌های گذشته مطابقت دارد که در ادامه به چند نمونه از آنها اشاره شده است. افزایش درصد جوانه‌زنی می‌تواند به دلیل افزایش متابولیسم در نتیجه‌ی افزایش مواد و جذب آب از دست رفته صورت گرفته باشد (Shabrangi and Majd, 2009). احتمالاً عملکرد القا کننده اشعه فرا بنفش می‌تواند میزان ژن‌های فعال در هسته سلول‌ها را افزایش دهد، در نتیجه متابولیسم گیاه زیاد شود و سپس جوانه‌زنی سریع‌تر انجام شود. تغییرات طول ساقه روند کاهشی را نشان داد. این روند کاهشی به دلیل اختلال باز و بسته شدن کانال‌های کلسیم و کاهش نقل و انتقال آن است. کاهش وزن تر ریشه و اندام هوایی نسبت به شاهد می‌تواند ناشی از افزایش زمان تیماراز ۲ به ٤ ساعت باشد. این کاهش وزن ریشه به دلیل کاهش تراوایی غشا و ورود مواد از پوسته است. Farokh و همکاران (۲۰۱۰) پاسخ جوانه‌زنی گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) از تیره آفتابگردان را تحت تأثیر UV-B سنجیدند. نتایج نشان داد که در گیاهان تیمار داده شده، جوانه-زنی تسریع شد ولی رشد دانه‌رست‌ها در مقایسه با شاهد به تعویق افتاد. بر اساس گزارش Parlak (۲۰۱٤) گیاهان آفتابگردانی که تحت تأثیر تیمار اشعه فرابنفش قرارگرفتند، طول اندام هوایی کاهش یافت. همچنین طول ریشه گیاهان آفتابگردان تیمار شده با UV کاهش نشان داد. کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز نیز در مقایسه با شاهد در گیاهان آفتابگردان تیمار شده با طول موج ۲۸۰ الی ۳۲۰ نانومتر اشعه فرابنفش بدست آمد. Reshmi و Rajalakshmi(۲۰۱۲) پاسخ گیاه (*Spilanthes acmella* Murr.) از تیره آفتابگردان را تحت اثر UV مطالعه و خواص رشدی، مورفولوژیک، آناتومیکی و بیوشیمیایی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که UV مانع رشد می‌شود، تغییرات مورفولوژیک مثل خمیدگی برگ‌ها و براق شدن سطح در اثر ظهور پوشش واکسی در گیاهان تیمار داده شده، مشاهده شد. مقدار کلروفیل و مقدار آب نسبی در برگ‌ها به شدت تحت تأثیر UV قرار گرفته بود. مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافته بود.

نتیجه‌گیری کلی

کاهش رشد ریشه و اندام هوایی مشاهده شده تحت تنش اشعه فرابنفش شکل و میزان سطوح انرژی را در فرآیندهای شیمیایی تغییر می‌دهند که این تغییرات در سطح مولکولی، سلولی و بافتی است، از جمله کاهش تراوایی غشا و کاهش ورود مواد از پوسته و همچنین تأثیر بر کانال کلسیمی و کاهش نقل و انتقال کلسیم. افزایش درصد جوانه‌زنی را می‌توان بوسیله افزایش حلالیت یون‌ها در محیط مایع اطراف دانه توجیه کرد، در نتیجه این تیمار نفوذپذیری پوسته نسبت به آب را افزایش می‌دهد و در نتیجه باعث افزایش حجم دانه می‌شود. با جذب آب فعالیت‌های حیاتی گیاه سریع‌تر آغاز می‌شود در مورد فعالیت‌های آنزیمی، اشعه فرابنفش در روند تولید ROS مداخله و بطوری که عموماً باعث افزایش درصد تولید وافزایش تولید رادیکال‌های آزاد با اثرگذاری روی مسیرهای سیگنالینگ درون سلولی از جمله مسیر آبشاری MAPK میزان بیان آنرا کاهش و در نتیجه میزان بیان ژن و فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش می‌یابد، ولی در مورد کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز احتمالاً تغییراتی دیگری در بیان ژن درگیر است و کاهش فعالیت این آنزیم‌ها مشاهده شده است و آنزیم‌های جوانه‌زنی فعال می‌شوند.

منابع

۱) رمضانی‌ویشکی، ف. ۱۳۸٤. اثر امواج الکترومغناطیس بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای آنتی‌اکسیدانی گیاه نعنا (Mentha piperiata L.). پژوهش‌های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران(پژوهش‌های علوم گیاهی، دوره ۹، شماره ۱(پیاپی ۳۳)، ص ۱۲ – ۲۰.

۲) مظفریان، و. ۱۳۸۳. درختان و درختچه‌های ایران. فرهنگ معاصر، تهران.

3) Abreu, L.A.S. Carvalho, M.L.M. Pinto, C.A.G. Kataoka, V.Y. and Silva, T.T.A. 2013. Deterioration of sunflower seeds during storage. Journal of Seed Science, 35(2): 240-247.

4) Aebi, H. 1974 (ed.): Methods of Enzymatic Analysis. New York: Academic Press.

5) Bradford, K.J. and Alston, J.M. 2004. Horticultural biotechnology: challenges for commercial development. Chronica Horticulturae 44: 4-8.

6) Farokh, P. Mahmoodzadeh, H. Satari, T.N. 2010. Response of Seed Germination of Safflower to UV-B Radiation. Research Journal of Environmental Sciences. 4: 70-74.

7) Giannopolitis CN, Reis SK. 1997. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. Plant Physiol. 59:309-314.

8) Lichtenthaler H.K., Buschmann, C. 1987. UNIT F4.3 Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy..

9) Musil, C.F. 1996. Accumulated effect of elevated ultraviolet-B radiation over multiple generations of the arid-environment annual Dimorphotheca sinuata DC. (Asteraceae), plant cell and environment. 19(9): 1017–1027.

10) Parlak, K.U. 2014. Effect of UV-B radiation on biochemical and antioxidant defence system in Helianthus annuus L. seedlings, Journal of Plant Physiology and Breeding. 77-92.

11) Ranieri, A. Castagna, A. Pacini, J. 2003. Early production and scavenging of hydrogen peroxide in the apoplast of sunflower plants exposed to ozone. J Exp Bot, 54:2529-2540.

12. Reshmi, G.R. and Rajalakshmi, R. 2012. Drought and UV stress response in Spilanthes acmella Murr. (tooth-ache plant), Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 8(4): 110-129.

13) Shabrangi, A. Majd, A. 2009. Effect of magnetic resonance on germination, development, anatomy of Lens culinaris seedling.

14) Zuk-Golaszewska, K. Upadhyaya, M. K. Golaszewski, J. 2003. The effect of UV-B radiation on plant growth and development. Plant, Soil and Environment, 49 (3): 135–140.