

تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیک و آناتومیک گیاه بامیه (*Hibiscus esculentus* L.) تحت باندهای مختلف اشعه فرابنفش

سروش کارگر خرمی، رشید جامعی* و سیاوش حسینی سرقین
گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

در پژوهش حاضر، گیاهان بامیه به مدت ۱۲ روز در معرض باندهای مختلف اشعه فرابنفش قرار گرفتند. پس از تیمار، طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای احیا کننده، پروتئین کل و سطح برگ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میزان آنها تحت تأثیر اشعه فرابنفش به ویژه UV-B و UV-C به طور معنی‌داری کاهش یافته است. علاوه بر این، در مطالعات ساختاری نیز مشاهده شد که ضخامت اندام‌های مختلف کاهش و میزان تراکم و شاخص روزنه‌ای و طول افزایش یافته است. در بررسی تأثیر اشعه فرابنفش روی اپیدرم ساقه، برگ و دم‌برگ مشاهده شد که میزان طول سلول‌ها کاهش و عرض آنها افزایش یافته است. نتایج نشان داد که اشعه UV-B و UV-C دارای آثار زیانبار بر روی بامیه است، در حالی که UV-A دارای آثار زیان بار نیست.

واژه‌های کلیدی: آناتومی، اشعه فرابنفش، پروتئین، رنگیزه، گیاه بامیه، قند

مقدمه

است. این آثار روی گیاهان می‌تواند شامل کاهش فرآیند فتوسنتز، تخریب پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها، تنش اکسایشی و کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد و تغییر در ریخت‌شناسی، تبارزایی و بیوماس گیاه را نیز باعث می‌شود. همچنین، اشعه UV باعث تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن مانند اکسیژن منفرد، آنیون سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شود که این رادیکال‌ها به برهم زدن تعادل متابولیسمی در سلول‌ها منجر می‌شوند (Asada,

امروزه فعالیت‌های صنعتی بشر باعث افزایش ترکیبات آلوده کننده اتمسفر به ویژه ترکیبات هالوژن‌دار شده است، این ترکیبات سبب تخریب لایه اوزون می‌شوند. کاهش این لایه باعث افزایش میزان اشعه فرابنفش (UV) در سطح زیست کره شده، مشکلاتی را برای موجودات زنده به وجود آورده است (Buchholz *et al.*, 1995). آثار اشعه UV بر گیاهان به علت نیاز دایمی آنها به نور خورشید اجتناب‌ناپذیر

از میوه‌های رسیده و ساقه‌های آن که فیبر زیادی دارند، استفاده می‌شود (Javed *et al.*, 2009). با توجه به گرمسیر بودن گیاه بامیه و اهمیت تغذیه‌ای و صنعتی آن، هدف از این مطالعه بررسی برخی تغییرات فیزیولوژیک و ساختاری القا شده توسط طیف‌های مختلف اشعه UV روی گیاه بامیه است. مرور منابع فارسی و انگلیسی نشان داد که تا به حال چنین مطالعاتی روی این گیاه و گیاهان مشابه انجام نشده است.

مواد و روش‌ها

کشت گیاه

بذرهای سالم و هم اندازه گیاه بامیه رقم Clemson Spineless با قدرت جوانه‌زنی ۸۵ تا ۹۹ درصد که با راهنمایی مرکز تحقیقات کشاورزی اهواز از شرکت هلندی Bakker Brothers تهیه شده بودند، انتخاب شد. بذرهای پس از ضد عفونی با محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد و شستشو با آب مقطر برای جوانه‌زنی به پتری‌دیش‌هایی که حاوی دو لایه کاغذ صافی مرطوب بودند، منتقل شدند. پتری‌دیش‌های حاوی بذر در انکوباتور با دمای ۲۷ درجه سانتیگراد به مدت ۹۶ ساعت قرار داده شدند تا جوانه بزنند. پس از مدت زمان یاد شده، بذرهای جوانه زده هم اندازه به ۸۰ گلدان پلاستیکی با قطر ۱۲ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر که حاوی ۴/۵ کیلوگرم ماسه و خاک به نسبت ۵ به ۱ بودند، منتقل شدند. رشد گیاهان در اتاقک‌های کشت با شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، دمای بیشینه ۲۹ درجه سانتیگراد و دمای کمینه ۱۸ درجه سانتیگراد، رطوبت ۶۵ درصد و شدت نور ۱۵۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}$) انجام شد (Hosseini Sarghein *et al.*, 2011).

(1999). تغییرات ایجاد شده در ریخت‌شناسی گیاهان توسط اشعه UV شامل تغییر در شکل برگ، افزایش شاخه‌های جانبی، کاهش میان‌گره‌ها، کاهش وزن، کاهش سطح برگ و کاهش ارتفاع گیاه است (Horii *et al.*, 2007). از مهم‌ترین سازوکارهای سازگاری گیاهان در برابر اشعه UV می‌توان به افزایش ضخامت برگ، کوچک‌تر شدن برگ، تغییر زاویه برگ‌ها نسبت به اشعه تابشی، افزایش انعکاس از سطح برگ‌ها، افزایش ترکیبات جاذب اشعه UV مانند فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و افزایش گرک‌های انعکاسی اشاره کرد (Mpoloka *et al.*, 2007). به طور کلی، سلول‌های گیاهی دارای سیستم حفاظتی پاداکسایشی هستند تا آثار مخرب گونه‌های واکنشگر اکسیژن (ROS) تولید شده را بر طرف کنند. این سیستم، شامل فرآیندهای آنزیمی و غیر آنزیمی است. در سیستم حفاظتی آنزیمی، آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، گلوکاتایون ردوکتاز (GR)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و پراکسیدازها (POD) نقش دارند و در سیستم حفاظتی غیر آنزیمی مولکول‌هایی با وزن اندک مانند آسکوربات، گلوکاتایون، آلفا توکوفرول، کاروتنوئیدها و غیره نقش دارند (Mishra *et al.*, 2006). بامیه (*Hibiscus esculentus* L.) یکی از مهم‌ترین سبزیجات است که در مناطق گرم و گرمسیری کاشته می‌شود و جایگاه ویژه‌ای در برنامه غذایی روزانه ساکنان این مناطق دارد. این گیاه به عنوان منبع ارزان قیمتی از پروتئین‌ها، آمینو اسیدها، کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها (A، B و C) و مواد معدنی در این مناطق به شمار می‌رود. ریشه‌ها و ساقه‌های گیاه بامیه به عنوان پاک‌کننده جوهر و همچنین، قهوه‌ای کردن شکر استفاده می‌شوند. در صنعت برای تهیه کاغذ

اعمال تیمار

پس از ۳۵ روز رشد در شرایط محیطی یکنواخت، گلدان‌ها به طور کاملاً تصادفی به چهار دسته تقسیم شدند. برای تیمار از لامپ‌هایی با مشخصات زیر به مدت ۱۲ روز و هر روز به مدت ۲۰ دقیقه برای تیمار UV-A و UV-B و ۱۰ دقیقه برای تیمار UV-C استفاده شد. زمان اعمال تیمار بین ساعت ۱۲:۰۰ تا ۱۳:۳۰ بود. مشخصات و طول موج لامپ‌ها به صورت زیر بود:

UV-A: 2(F20/BL-Hitachi, Japan), 362 nm

UV-B: 2(15_w) (LF-215m. 312nm), 312 nm

UV-C: (TUV/G30T8-Philips, Holland), 254 nm

لامپ‌ها در بالای گلدان‌ها در فاصله ۷۵ سانتی متری نصب شده بودند (Hosseini Sarghein *et al.*, 2011).

اندازه‌گیری طول ریشه و ساقه

پس از برداشت نمونه‌های شاهد و تیمار طول بلندترین ریشه از ناحیه یقه تا نوک ریشه و طول بلندترین ساقه از ناحیه یقه تا نوک جوانه انتهایی با خط کش اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه، ساقه و برگ

پس از برداشت گیاهان مربوط به یک گلدان وزن تر اندام‌های مختلف با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. سپس، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند. پس از مدت زمان یاد شده وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری سطح برگ

میزان سطح همه برگ‌های یک گیاه از هر تیمار با استفاده از دستگاه اسکنر (Epson, V300) و نرم‌افزار کامپیوتری (Flächenberechnung-einer-sw-Grafik) بر حسب سانتی متر مربع اندازه‌گیری شد.

مطالعات ساختاری

برای مطالعه نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری ابتدا مقاطع دستی از قسمت‌های مورد نیاز برای مطالعه تهیه شد سپس، مقاطع با روش رنگ آمیزی کارمن زاجی - سبز متیل رنگ آمیزی شدند (Hosseini Sarghein *et al.*, 2011).

قسمت‌های مختلف مورد نظر در برگ و ساقه با میکروسکوپ Zeiss مجهز به عدسی مشبک و مدرج بود، مطالعه شد. عکس برداری از نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتالی SONY مدل DSC-W35 که روی میکروسکوپ نصب شده بود، انجام شد.

اندازه‌گیری ضخامت ساقه، دم‌برگ، برگ و رگبرگ میانی

مقطع‌گیری دستی برای مطالعه ضخامت ساقه، از ۱/۵ تا ۲ سانتی متر پایین تر از نوک مرستم انتهایی، برای مطالعه ضخامت دم‌برگ از ناحیه میانی دم‌برگ برگ شماره ۱۰ و برای بررسی ضخامت برگ و رگبرگ میانی از ناحیه میانی برگ شماره ۱۰ در نمونه‌های شاهد و تیمار انجام شد. سپس، با عدسی مدرج ضخامت اندام‌های یاد شده تعیین شد (Hosseini Sarghein *et al.*, 2011).

اندازه‌گیری طول و عرض سلول‌ها

برای اندازه‌گیری طول و عرض سلول‌های اپیدرمی، پارانشیم نرده‌ای، پارانشیم حفره‌ای و روزنه‌ای بزرگ‌ترین سلول‌ها انتخاب و طول و عرض آنها با استفاده از عدسی مدرج اندازه‌گیری شد (Hosseini Sarghein *et al.*, 2011).

اندازه‌گیری تراکم و شاخص روزنه‌ای

برای اندازه‌گیری تراکم و شاخص روزنه‌ای، عدسی مشبک به طور تصادفی روی قسمتی از اپیدرم جدا شده

۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۳ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۹۸ درصد اضافه شد. لوله‌ها به مدت یک ساعت به حال خود رها شدند تا رنگ ظاهر و تثبیت شود. پس از ظهور رنگ میزان جذب در ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

پروتئین کل

برای تعیین پروتئین کل از روش Lowry و همکاران (۱۹۵۱) استفاده شد. به ۰/۰۲ گرم ماده خشک، ۴ میلی‌لیتر بافر تریس کلریدریک اسید با اسیدیته ۸ (۵۰ میلی‌لیتر تریس ۰/۲ مولار، ۱۷/۲ گرم سوکروز و ۰/۱ گرم آسکوربیک اسید که با آب مقطر به حجم نهایی ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر گذاشته شد. سپس، به مدت ۳۰ دقیقه در ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به ۱ میلی‌لیتر از فاز بالایی ۴ میلی‌لیتر معرف سولفات مس قلیایی اضافه شد، پس از هم زدن مخلوط فوق، ۱/۵ میلی‌لیتر محلول ۱۰ برابر رقیق شده فولین سیوکالتتو (Folin-Ciocalteu) افزوده، به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. در نهایت، جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۶۰ nm با دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت شد.

تحلیل داده‌ها

برای کاهش خطا، نمونه‌برداری و آزمایش‌ها به صورت ۳ تکرار انجام شد. در مطالعات ریخت‌شناختی آزمایش‌ها به صورت ۶ تکرار انجام شد. تحلیل داده‌های آماری بر اساس مدل پایه بلوک‌های کامل تصادفی با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶/۰ با تجزیه واریانس یک‌طرفه One way ANOVA و آزمون دانکن در سطح احتمال آماری $P < 0.05$ انجام شد. نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۰۷ ترسیم شد.

از ناحیه میانی برگ شماره ۱۰ تنظیم شد و پس از عکس‌برداری، سلول‌های اپیدرمی و روزنه‌ای در قسمت مشبک شمارش شدند. برای محاسبه شاخص روزنه‌ای از فرمول زیر استفاده شد (Hosseini Sarghein *et al.*, 2011).

$$\% \text{ Stomata index} = (S)/(S+E) \times 100$$

(S: تعداد روزنه‌ها، E: تعداد سلول‌های اپیدرمی)

رنگی‌های کلروفیل و کاروتنوئید

برای اندازه‌گیری رنگی‌های کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۵) استفاده شد. ۰/۱ گرم از وزن تر برگ به همراه ۵ میلی‌لیتر استون ۱۰۰ درصد در هاون چینی ساییده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰۰ g سانتریفیوژ شد. سپس جذب فاز بالایی هر یک از نمونه‌های سانتریفیوژ شده توسط اسپکتروفتومتر (WPA S2100, UK) UV/VIS در طول موج‌های ۶۶۲، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر ثبت شد. برای محاسبه مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها از فرمول‌های زیر استفاده شد (A میزان جذب ثبت شده در هر طول موج توسط اسپکتروفتومتر است).

$$\text{Chla} = 11.75 A_{662} - 2.350 A_{645}$$

$$\text{Chlb} = 18.61 A_{645} - 3.960 A_{662}$$

$$C_{X+C} = 1000 A_{470} - 2.270 \text{ Chla} - 81.4 \text{ Chlb}/227$$

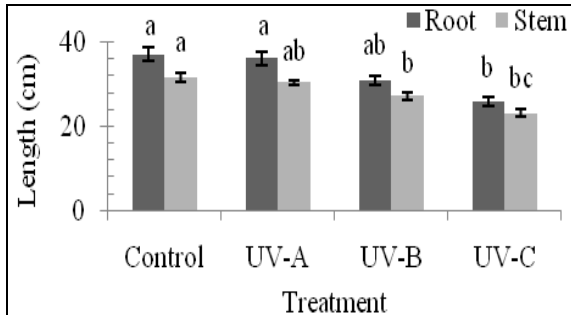
اندازه‌گیری قند محلول

میزان قندهای محلول با روش فنل سولفوریک و بر اساس هیدرولیز اسیدی قندهای محلول و ایجاد ترکیب فورفورال که با فنل یک کمپلکس رنگی تولید می‌کند، اندازه‌گیری شد (Roberts and Martin, 1959). ۰/۵ گرم بافت تر با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر در داخل هاون ساییده و سپس با تنظیم صاف شد. به عصاره حاصل،

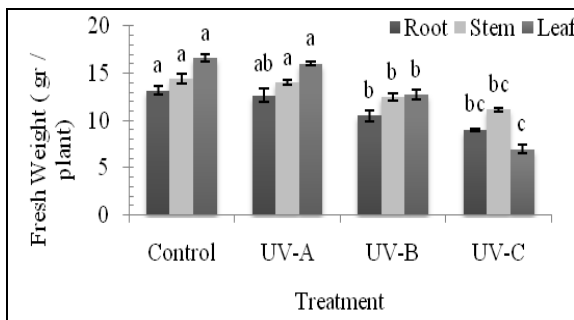
نتایج

طول ریشه و ساقه

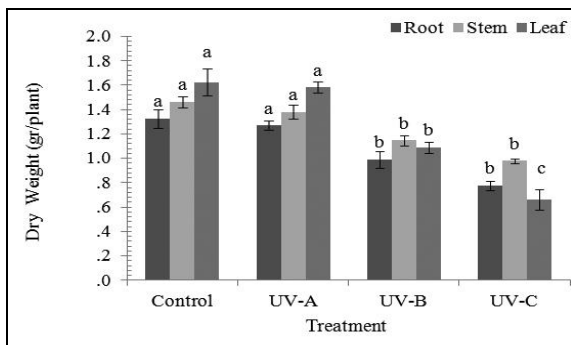
درصدی نمونه‌های تحت تیمار UV-C در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌دار بود (شکل ۳).



شکل ۱- مقایسه میزان طول ریشه و طول ساقه در نمونه‌های شاهد و تیمارهای مختلف UV. مقادیر، میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.



شکل ۲- مقایسه میزان وزن تر در نمونه‌های شاهد و تیمارهای مختلف UV. مقادیر، میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.



شکل ۳- مقایسه میزان وزن خشک در نمونه‌های شاهد و تیمارهای مختلف UV. مقادیر، میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.

بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری طول ریشه و ساقه نشان داد که طول ریشه و ساقه گیاه بامیه در اثر تابش پرتوهای اشعه UV در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش یافته است (شکل ۱). مشخص شد که کاهش ۳۰/۱ درصدی طول ریشه در نمونه‌های تحت تیمار UV-C در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌داری بود. میزان درصد کاهش طول ساقه در تیمارهای UV-B و UV-C به ترتیب ۱۳/۶ و ۲۶/۵ درصد بود و این کاهش در مقایسه با نمونه‌های شاهد معنی‌دار بود.

وزن تر و خشک

در این پژوهش، مشاهده شد که درصد کاهش وزن تر ریشه در تیمارهای UV-B و UV-C به ترتیب ۲۰ و ۳۱/۶۱ درصد در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌داری بود. میزان کاهش وزن تر ساقه در تیمارهای UV-B و UV-C نیز به ترتیب ۱۲/۴۰ و ۲۱/۸۶ درصد در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌دار بود. در مورد وزن تر برگ در نمونه‌های تیمار در مقایسه با شاهد، نمونه‌های UV-B با ۲۳/۷۳ درصد کاهش و UV-C با ۵۸/۰۵ درصد کاهش در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌دار بود (شکل ۲). درصد کاهش وزن خشک ریشه در تیمارهای مختلف UV-B و UV-C به ترتیب ۲۵ و ۴۱/۱ درصد نسبت به شاهد به صورت معنی‌دار بود. میزان درصد کاهش وزن خشک ساقه در تیمارهای UV-B و UV-C نیز به ترتیب ۲۱/۹ و ۳۲/۹۴ درصد در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌دار بود. مشاهده شد که کاهش ۲۱/۹ درصدی وزن خشک برگ در نمونه‌های تیمارهای UV-B و کاهش ۳۲/۹۴

ضخامت ساقه، برگ، دمبرگ و رگبرگ میانی

مقاطع عرضی تهیه شده از ساقه نشان داد که تیمارهای UV-B و UV-C سبب کاهش ضخامت ساقه در مقایسه با نمونه‌های شاهد شده‌اند، در حالی که در تیمار UV-A ضخامت ساقه افزایش بسیار اندکی نشان داد که چندان معنی‌دار نبود. کاهش در ضخامت ساقه به میزان ۲۷/۱۸ درصد، تنها در تیمار UV-C نسبت به

شاهد معنی‌دار بود. مطالعه مقاطع عرضی دمبرگ، برگ و رگبرگ میانی نیز مانند ساقه کاهش ضخامت را در تیمارهای اشعه UV در مقایسه با نمونه‌های شاهد نشان داد. مشاهده شد که کاهش ۱۹/۶، ۲۵/۸ و ۱۹/۱۶ درصد برای تیمار UV-C به ترتیب در دمبرگ، برگ و رگبرگ میانی تنها در بین تیمارهای مختلف در مقایسه با نمونه‌های شاهد معنی‌دار است (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- تغییرات ساختاری القا شده توسط طیف‌های مختلف اشعه فرابنفش در برگ بامیه. مقادیر میانگین \pm تکرار SE است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ است.

تیمار	ضخامت رگبرگ (mm)	ضخامت برگ (mm)	شاخص روزنه (mm^{-2})	تراکم سلول روزنه (mm^{-2})	طول سلول روزنه (μm)	عرض سلول اپیدرم برگ (μm)	طول سلول اپیدرم برگ (μm)	طول سلول پارانشیم نرده‌ای (μm)
شاهد	۰/۷۵۶ \pm ۰/۰۰۷ ^a	۰/۱۷۴ \pm ۰/۰۰۱ ^a	۳۳/۶۶ \pm ۱/۹۲ ^a	۲۲۰ \pm ۸/۹۴ ^a	۲۵/۵ \pm ۰/۴۲ ^a	۲۴/۳۳ \pm ۰/۸۳ ^a	۴۶/۶۶ \pm ۱/۲۳ ^a	۵۷/۹۱ \pm ۱/۱۹ ^a
UV-A	۰/۷۳۵ \pm ۰/۰۰۷ ^{ab}	۰/۱۷ \pm ۰/۰۰۱ ^{ab}	۴۳ \pm ۱/۴۳ ^a	۲۴۰ \pm ۱۰/۳۲ ^a	۲۳/۳ \pm ۰/۴ ^a	۲۵/۳۳ \pm ۱/۳۳ ^a	۴۷/۹۱ \pm ۲/۰۸ ^a	۵۵/۴۱ \pm ۱/۲ ^a
UV-B	۰/۶۴۸ \pm ۰/۰۰۶ ^b	۰/۱۶۴ \pm ۰/۰۰۱ ^b	۵۱/۳۳ \pm ۲/۴۸ ^b	۲۸۳ \pm ۱۴/۶۰ ^b	۲۶/۵ \pm ۰/۴۳ ^b	۳۰/۸۳ \pm ۰/۸ ^b	۴۳/۳۳ \pm ۱/۰۱ ^a	۴۶/۶۶ \pm ۱/۵۳ ^b
UV-C	۰/۶۰۸ \pm ۰/۰۰۱ ^c	۰/۱۳۲ \pm ۰/۰۰۲ ^c	۶۰/۳۳ \pm ۱/۹۲ ^c	۳۱۳ \pm ۱۲/۲۹ ^b	۲۶/۵ \pm ۰/۴۲ ^b	۳۲/۰۸ \pm ۰/۷۶ ^c	۳۵/۲۵ \pm ۱/۰۷ ^b	۳۰/۸۳ \pm ۲ ^c

جدول ۲- تغییرات ساختاری القا شده توسط طیف‌های مختلف اشعه فرابنفش در ساقه بامیه. مقادیر میانگین \pm تکرار SE است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ است.

تیمار	ضخامت دمبرگ (mm)	طول سلول اپیدرم دمبرگ (μm)	عرض سلول اپیدرم دمبرگ (μm)	ضخامت ساقه (mm)	طول سلول اپیدرم ساقه (μm)	عرض سلول اپیدرم ساقه (μm)
شاهد	۲/۱۹ \pm ۰/۰۳۷ ^a	۴۶/۶۶ \pm ۱/۲۳ ^a	۴۶/۰۸ \pm ۱/۵ ^a	۲/۹ \pm ۰/۰۰۱ ^a	۴۸/۷۴ \pm ۱/۰۷ ^a	۳۶/۲۵ \pm ۱/۴۱ ^a
UV-A	۲/۱۸ \pm ۰/۰۳۷ ^a	۴۷/۹۱ \pm ۲/۰۸ ^a	۴۸/۱۷ \pm ۱/۶۶ ^a	۳/۰۱ \pm ۰/۰۰۱ ^a	۴۸/۷۵ \pm ۲/۱۱ ^a	۳۵/۸ \pm ۱/۰۵ ^a
UV-B	۲/۱۴ \pm ۰/۰۳ ^a	۴۳/۳۳ \pm ۱/۰۱ ^a	۵۲/۹ \pm ۱/۱۹ ^{bc}	۲/۷۴ \pm ۰/۰۰۱ ^{ab}	۴۲/۰۸ \pm ۱/۷۵ ^b	۴۵/۸۳ \pm ۱/۷۸ ^b
UV-C	۱/۷۶ \pm ۰/۰۵ ^b	۳۵/۲۵ \pm ۱/۰۷ ^b	۵۲/۹۱ \pm ۱/۶۳ ^c	۲/۱۷ \pm ۰/۰۰۲ ^b	۴۰/۸۳ \pm ۱/۰۵۴ ^b	۴۳/۳۳ \pm ۱/۲۳ ^b

طول و عرض سلول‌های اپیدرمی (برگ، ساقه و دمبرگ)

بررسی‌های انجام شده نشان داد که طول سلول‌های اپیدرمی در اثر اعمال تیمارها کاهش یافته، فشردگی سلول‌های اپیدرمی افزایش می‌یابد. این کاهش طول در سلول‌های اپیدرمی برگ و دمبرگ در تیمارهای UV-C در مقایسه با نمونه‌های شاهد معنی‌دار بود.

طول سلول‌های اپیدرمی برگ و دمبرگ در مقایسه با نمونه‌های شاهد به ترتیب ۳۳/۶۲ و ۲۴/۴۵ درصد کاهش داشت (جدول‌های ۱ و ۲). کاهش طول سلول‌های اپیدرمی ساقه در تیمارهای UV-B و UV-C در مقایسه با نمونه‌های شاهد به ترتیب ۱۳/۶۸ و ۲۴/۴۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین، نتایج نشان داد که عرض سلول‌های اپیدرمی در تیمارهای

رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید

تحلیل داده‌ها نشان داد که میزان کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئیدها به طور کلی تحت تأثیر اشعه UV کاهش یافته است (شکل ۴). کاهش کلروفیل a در تیمارهای UV-B و UV-C در مقایسه با نمونه‌های شاهد به ترتیب ۱۶/۵۱ و ۵۱/۱۴ درصد و کاهش کلروفیل b تنها در تیمارهای UV-C به میزان ۵۱/۱۴ درصد در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌دار مشاهده شد. درصد کاهش برای کاروتنوئیدها در تیمارهای UV-B و UV-C در مقایسه با نمونه‌های شاهد به ترتیب ۱۷/۳۶ و ۴۴/۶۲ درصد معنی‌دار بود.

سطح برگ

نتایج نشان داد که تابش اشعه UV باعث کاهش سطح برگ می‌شود. این کاهش در تیمارهای UV-A به میزان ۴/۴۸ درصد، UV-B به میزان ۳۰/۰۸ درصد و در UV-C به میزان ۶۰ درصد نسبت به گیاهان شاهد بود. این کاهش تنها در نمونه‌های UV-B و UV-C در مقایسه با نمونه‌های شاهد در سطح ۵ درصد به صورت معنی‌دار بود (شکل ۵).

قند محلول

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میزان قند محلول تحت تأثیر اشعه UV کاهش یافته است (شکل ۶). این کاهش در ریشه در تیمار UV-C به میزان ۳۸ درصد در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌دار بود. این کاهش نیز در تیمارهای UV-B و UV-C در ساقه به ترتیب به میزان ۱۹/۲۱ و ۴۶/۷۶ درصد و در برگ به میزان ۲۳/۶۲ و ۳۶/۱۶ درصد نیز در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌دار مشاهده شد.

UV-B و UV-C در مقایسه با نمونه‌های شاهد به طور قابل توجهی افزایش یافته بود. میزان این افزایش در تیمارهای UV-B و UV-C در دم‌برگ به ترتیب ۱۴/۸۲ و ۱۴/۸۲ درصد، در برگ به ترتیب ۲۶/۷۱ و ۳۱/۸۶ درصد و برای ساقه نیز به ترتیب ۲۶/۴۲ و ۱۹/۵۳ درصد بود، این افزایش در هر سه اندام در مقایسه با نمونه‌های شاهد معنی‌دار بود (جدول‌های ۱ و ۲).

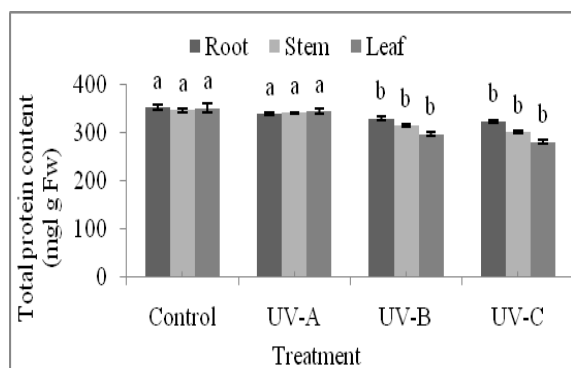
طول، تراکم و شاخص سلول‌های روزنه

تحلیل داده‌های مربوط به اندازه‌گیری طول سلول‌های روزنه نشان داد که طول روزنه‌ها در تیمارها نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش یافته است و درصد این افزایش در تیمارهای UV-B و UV-C به میزان ۱۷/۷ درصد در مقایسه با نمونه‌های شاهد بوده است (جدول ۱).

با مطالعه آثار طیف‌های مختلف اشعه UV بر میزان تراکم سلول‌های روزنه‌ای و اپیدرمی برگ مشخص شد که تراکم سلول‌های اپیدرمی کاهش و تراکم سلول‌های روزنه‌ای افزایش یافته است. افزایش تراکم روزنه‌ای برای تیمارهای UV-B نسبت به نمونه‌های شاهد به میزان ۲۷/۲۷ درصد مشاهده شد و افزایش تراکم روزنه‌ای برای تیمارهای UV-C به میزان ۴۲/۴۲ درصد مشاهده شد. این مقادیر در مقایسه با نمونه‌های معنی‌دار بودند. میزان درصد شاخص روزنه‌ای در تمام تیمارها نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان داد. روند این افزایش در تیمارها به ترتیب ۱۶/۶۶ درصد برای UV-B و ۳۵/۴۱ درصد برای UV-C نسبت به نمونه‌های شاهد معنی‌دار بودند (جدول ۱).

پروتئین کل

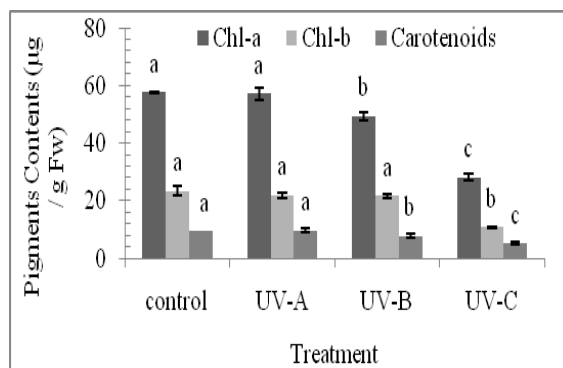
به طور کلی، میزان پروتئین کل تحت تأثیر اشعه UV کاهش یافت (شکل ۷). کاهش ۱۶/۶۴ درصدی در ریشه تیمارهای UV-C در مقایسه با نمونه‌های شاهد معنی‌دار است. همچنین، این کاهش در تیمارهای UV-B و UV-C در ساقه به ترتیب به میزان ۹/۱۱ و ۱۳/۰۴ درصد و در برگ به میزان ۶/۵ و ۸ درصد در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌دار مشاهده شد. شایان ذکر است که کاهش یا افزایش در تمام شاخص‌ها در تیمارهای UV-A در مقایسه با نمونه‌های شاهد معنی‌دار نبود.



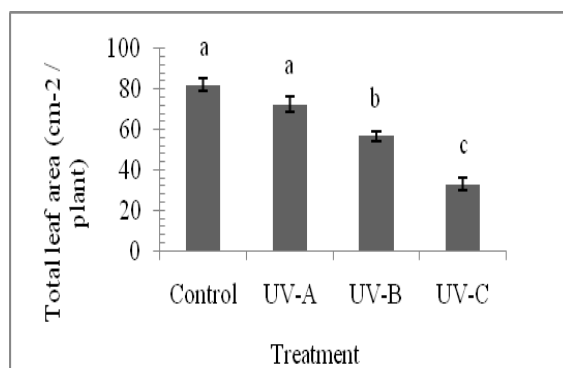
شکل ۷- میزان پروتئین کل در نمونه‌های شاهد و تیمارهای مختلف UV. مقادیر، میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.

بحث

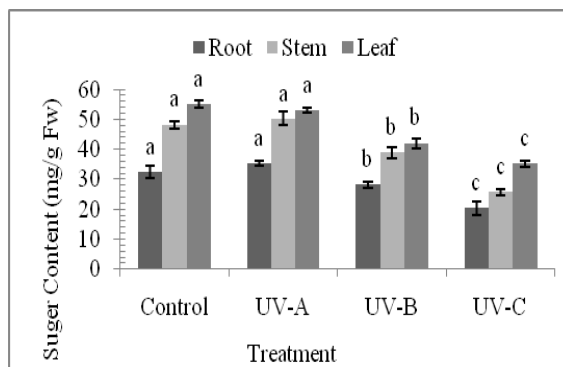
مطالعات فراوان نشان می‌دهند که اشعه فرابنفش باعث کاهش رشد طولی ریشه و اندام هوایی می‌شود. مطالعات Al-Ouda و همکاران (۱۹۹۸) روی گندم و باقلا، مطالعات Kakani و همکاران (۲۰۰۳) روی پنبه و مطالعات Krizek و همکاران (۱۹۹۷) روی رقم‌های خیار نشان داد که میزان رشد طولی تحت تأثیر اشعه UV کاهش می‌یابد. Teramura (۱۹۸۳) علت کاهش رشد



شکل ۴- میزان رنگیزه‌ها در نمونه‌های شاهد و تیمارهای مختلف UV. مقادیر، میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.



شکل ۵- میزان سطح برگ در نمونه‌های شاهد و تیمارهای مختلف UV. مقادیر، میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.



شکل ۶- محتوای قند محلول در نمونه‌های شاهد و تیمارهای مختلف UV. مقادیر، میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ با استفاده از آزمون دانکن است.

وزن تر و خشک برگ تحت تأثیر اشعه UV به علت کاهش میزان سطح برگ بوده است. علت کاهش سطح برگ را می‌توان به کاهش میزان تقسیم سلول‌ها نسبت داد. مطالعه Damian و همکاران (۱۹۹۸) روی گیاه نخودفرنگی و Staxen و همکاران (۱۹۹۳) روی گل اطلسی نشان داد که علت اصلی کاهش سطح برگ در اثر اشعه UV در این گیاهان کاهش میزان تقسیم سلولی است. Smirnoff و Whelev (۲۰۰۰) اعلام کردند که کاهش در تقسیم سلولی می‌تواند به علت اکسیداسیون توبولین‌ها تحت تأثیر اشعه UV باشد که خود باعث تأخیر در تشکیل میکروتوبول‌ها و در نهایت کاهش میزان تقسیم سلولی می‌شود. اشعه UV علاوه بر تغییراتی که در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژی ایجاد می‌کند، به خوبی می‌تواند تغییرات ریخت‌شناسی را در گیاه ایجاد کند. از جمله پاسخ گیاهان به این اشعه کاهش نفوذ آن به بافت‌ها به ویژه برگ‌ها است. تغییرات ساختاری القایی در برگ توسط اشعه UV در گیاهان مختلف گزارش شده است. تغییرات ضخامت ساقه تحت تأثیر اشعه UV در گونه‌های مختلف متفاوت است. مطالعات انجام شده توسط Hosseini Sarghein و همکاران (۲۰۱۱) روی گیاه فلفل قلمی افزایش ضخامت ساقه را تحت تأثیر اشعه UV نشان داد. اما مطالعات انجام شده توسط Yao و همکاران (۲۰۰۶) روی گیاه *Fagopyrum tataricum* کاهش ضخامت را تحت تأثیر اشعه UV نشان داد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان ضخامت ساقه تحت تأثیر اشعه UV کاهش می‌یابد. مطالعه حاضر نشان داد که کاهش در ضخامت برگ بیشتر به کاهش طول لایه پارانشیم نرده‌ای و به میزان کمتر به پارانشیم اسفنجی مربوط است. این نتایج

تحت تأثیر اشعه UV را افزایش فیتوهورمون‌ها به ویژه اتیلن و تخریب نوری می‌داند. Krizek و همکاران (۱۹۹۸) یکی از علت‌های افزایش اتیلن را تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن اعلام کردند، طبق نظر آنها گونه‌های واکنشگر اکسیژن باعث پراکسیداسیون لیپیدها شده و این پراکسیداسیون باعث افزایش میزان اتیلن می‌شود. افزایش اتیلن باعث کاهش رشد طولی و افزایش رشد شعاعی می‌شود. یکی دیگر از فیتوهورمون‌های واسطه رشد، اکسین (IAA) است که میزان آن تحت تأثیر اشعه UV کاهش می‌یابد. کاهش اکسین می‌تواند عاملی برای کاهش رشد طولی باشد. همچنین، می‌توان گفت که کاهش وزن تر و خشک ساقه و ریشه در مطالعه حاضر احتمالاً به علت کاهش رشد طولی القا شده توسط اشعه UV است. Krizek و همکاران (۱۹۹۸) یکی از عوامل کاهش در میزان وزن تر و خشک ساقه تحت تیمارهای اشعه UV را اختلال در بیوسنتز و انتقال تنظیم‌کننده‌های رشد مانند IAA و GA می‌دانند. مطالعات انجام شده روی خردل و لوبیا توسط Pal و همکاران (۱۹۹۸ و ۱۹۹۹) نشان داد که تولید بیوماس گیاهی تحت تأثیر اشعه UV کاهش می‌یابد. البته گزارش‌هایی از افزایش میزان وزن تر و خشک برگ در گیاه سیب‌زمینی تحت تأثیر اشعه UV توسط Santos و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده است. آنها مشاهده کردند که در گیاه سیب‌زمینی تحت تأثیر اشعه UV میزان سطح برگ افزایش می‌یابد و این خود عاملی برای افزایش وزن تر و خشک در گیاه سیب‌زمینی است. یکی از علت‌های کاهش وزن تر و خشک برگ در گیاه بامیه می‌تواند کاهش سطح برگ باشد. نتایج مطالعات Gao و همکاران (۲۰۰۳) روی پنبه نشان داد که کاهش

سلول‌های اپیدرمی تحت تأثیر اشعه UV توسط Gorton و Vogelmann (۱۹۹۶) در گیاه *Antirrhinum* گزارش شد. ایشان معتقدند که ایجاد سلول‌های گنبدی عاملی برای تمرکز اشعه UV روی سلول‌های مزوفیل است. در واقع، این سلول‌ها به صورت عدسی عمل می‌کنند و باعث تمرکز اشعه UV روی سلولی‌های مزوفیل می‌شوند. بنابراین، می‌توان یکی از عوامل کاهش در طول و عرض سلول‌های مزوفیلی در مطالعه حاضر را تمرکز اشعه UV توسط سلول‌های اپیدرمی گنبدی شکل دانست.

بررسی سلول‌های روزنه‌ای نشان داد که اشعه UV باعث افزایش میزان اندازه طول و عرض در این سلول‌ها شده است. در همخوانی با نتایج این مطالعه، افزایش اندازه (طول) و تراکم روزنه‌ای تحت تأثیر اشعه UV در گیاه فلفل قلمی توسط Hosseini Sarghein و همکاران (۲۰۱۱)، در گیاه پنبه توسط Kakani و همکاران (۲۰۰۳)، او کالیپتوس و اکاسیا توسط Liu و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده است. همچنین، افزایش تراکم روزنه‌ای در پاسخ به کاهش دی‌اکسید کربن القا شده توسط اشعه UV توسط Sullivan (۱۹۹۷) گزارش شده است. Dennis و همکاران (۲۰۰۵) با مطالعه آثار اشعه UV در گیاه سویا تغییرات ریخت‌شناسی القا شده توسط اشعه UV را تغییر در توسعه و گسترش اپیدرم و همچنین، تغییرات ایجاد شده در تراکم روزنه‌ای را نتیجه تغییر در تبادلات گازی و افزایش کارآیی آبی (WUE, Water Use Efficiency) در برگ می‌دانند. در مطالعات Mapelli و همکاران (۲۰۰۶) روی گل یخ نیز کاهش میزان تبادلات گازی تحت تأثیر اشعه UV مشاهده شد.

مشابه با گزارش‌های Bornman و همکاران (۱۹۸۳) است. آنها نشان دادند که کاهش ضخامت برگ در گیاه پنبه به کاهش پارانشیم نرده‌ای مربوط است. همچنین، در مطالعه حاضر مشخص شد که کاهش در ضخامت ساقه، دم‌برگ و رگبرگ میانی بیشتر به کاهش تعداد لایه‌های سلولی و اندازه سلول‌ها مربوط است. این کاهش در تعداد لایه‌ها و اندازه سلول‌ها به ویژه در تیمارهای UV-B و UV-C در دم‌برگ مشاهده می‌شود. Krizek و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند که اختلالات هورمونی که توسط اشعه UV القا می‌شود می‌تواند به کاهش گسترش سلولی منجر شود. همچنین، Holzinger و Lutz (۲۰۰۶) نشان دادند که اشعه UV با شکست مولکول DNA و تخریب پروتئین‌هایی مانند توبولین که در تقسیم سلولی نقش دارند باعث کاهش در تقسیم و بزرگ شدن سلول می‌شود. افزایش فعالیت پراکسیدازهایی که تحت تأثیر اشعه UV مانند IAA-کسیداز عمل می‌کنند و با این فعالیت باعث کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی می‌شوند، موجب کاهش رشد طولی می‌شوند. از طرفی، اشعه UV باعث تغییر در سرعت، میزان تقسیم و گسترش سلولی می‌شود. همچنین، باید به این نکته توجه داشت که هورمون‌هایی مانند اکسین که نقش مهمی در گسترش سلولی دارند، تحت تأثیر اشعه UV تخریب می‌شوند، تخریب اکسین در بافت برگ باعث کاهش رشد سلول‌های بالایی می‌شود، در حالی که لایه‌های پایینی به رشد طبیعی خود ادامه می‌دهند و این به پیچش برگی منجر می‌شود. اپیدرم به عنوان عامل حفاظتی مهم در برابر اشعه UV دستخوش تغییراتی مانند افزایش ضخامت، افزایش میزان موم روی کوتیکول و ایجاد شکل‌های گنبدی می‌شود. ایجاد شکل‌های گنبدی در

جمع‌بندی

افزایش عرض سلول‌های اپیدرمی، کاهش سطح برگ، کاهش ضخامت برگ، دم‌برگ، ساقه و رگبرگ میانی و همچنین، کاهش در طول و عرض سلول‌های مزوفیل نرده‌ای در واقع می‌توانند پاسخ‌های دفاعی گیاه بامیه برای کاهش میزان اشعه دریافتی باشند. کاهش قندهای محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین می‌تواند ناشی از آثار مضر اشعه UV باشد. افزایش تعداد و اندازه روزنه‌ها می‌تواند راهکاری برای افزایش کارایی دستگاه فتوسنتزی باشد که این امر نشان می‌دهد که گیاه بامیه گیاه مقاومی است. البته برای اثبات این امر بررسی عوامل دیگری مانند مقدار تثبیت CO_2 فتوسنتزی می‌تواند انجام شود. با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت که اشعه UV-B و به ویژه UV-C دارای آثار تخریبی شدیدتری نسبت به UV-A روی شاخص‌های فیزیولوژیک و آناتومیک بررسی شده هستند. یافته‌های حاصل، نظریه‌ای را که گیاهان با راهکارهای مختلف در برابر پرتوهای UV مقاومت می‌کنند، تأیید می‌کند.

سپاسگزاری

از سرکار خانم مهندس ندا فرناد کارشناس آزمایشگاه بیوشیمی، خانم مهندس هانیه مرادیگی کارشناس آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی به خاطر همکاری در تهیه مواد و استفاده از دستگاه‌ها و از خانم‌ها الفت خاکپور و نیر محمدخانی به خاطر همکاری و مساعدت در این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

به طور کلی، پاسخ گیاه بامیه در تحقیق حاضر به ویژه در تیمارهای UV-B و UV-C با کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها) همراه بود. کاهش میزان کلروفیل به علت جلوگیری این اشعه از سنتز کلروفیل و تخریب پیش‌سازهای این رنگیزه‌هاست. Agrawal (۱۹۹۲) با مطالعه اثر اشعه UV روی رنگیزه‌های فتوسنتزی نوعی جلبک سبز، این مسأله را گزارش کرده بود. همچنین، Gao و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که اشعه UV باعث فوتواکسیداسیون غیر آنزیمی کلروفیل می‌شود. از علت‌های دیگر کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط اشعه UV می‌توان به افزایش در میزان اتیلن اشاره کرد. این هورمون باعث راه‌اندازی تخریب کلروفیل می‌شود (Zhang and Kirkham, 1996). افزایش کاروتنوئیدها در بعضی از گونه‌های گیاهی پاسخ سازشی برای کاهش آثار اشعه UV است (Hollosoy, 2002). در آزمایش‌هایی که توسط Allen و همکاران (۱۹۹۸) روی رابطه طول موج‌های پایین نور و کاهش کاروتنوئیدها انجام شد، کاهش کاروتنوئیدها می‌تواند به علت تبدیل آنها به آبسزیک اسید باشد، این تبدیل در بسیاری از تنش‌های محیطی انجام می‌شود.

مشخص شد که میزان قندهای محلول در گیاه بامیه تحت تأثیر UV کاهش یافته است. نصیبی و منوچهری کلاتری (۱۳۸۵) علت کاهش قندهای احیا کننده در گیاه بنگ‌دانه تحت تأثیر اشعه UV را به علت افزایش در سنتز ترکیبات ثانویه اعلام کردند. همچنین، مهدویان و همکاران (۱۳۸۵) از علت‌های احتمالی کاهش قندهای احیا کننده در گیاه فلفل را القا تنش اکسایشی می‌دانند.

منابع

- نصیبی، ف. و منوچهری کلانتری، خ. (۱۳۸۵) کاربرد باندهای مختلف اشعه UV برای افزایش ترکیبات ثانویه در دو گونه گیاه بنگ‌دانه (*Hyoscyamus*). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۲(۲): ۱۴۰-۱۴۵.
- 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.
- Allen, D. J., Nogues, S. and Baker, R. N. (1998) Ozone depletion and increased UV-B radiation: is here a real threat to photosynthesis? *Journal of Experimental Botany* 328: 1775-1788.
- Al-Ouda, M., Baydoun, S. A. and Mohammad, A. (1998) Effects of enhanced UV-B on growth and yield of two Syrian crops wheat (*Triticum durum* var. Horani) and Broad Beans (*Vicia faba*) under field conditions. *Environmental and Experimental Botany* 40: 11-16.
- Asada, K. (1999) The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. *Journal of Plant Physiology* 50: 601-639.
- Bornman, J. F., Evert, R. F. and Mierzwa, R. J. (1983) The effect of UV-B and UV-C radiation on sugar beet leaves. *Protoplasma* 117: 7-16.
- Buchholz, G., Ehmann, B. and Wellman, E. (1995) Ultraviolet light inhibition of phytochrome induced flavonoid biosynthesis and DNA photolyase formation in Mustard cotyledones (*Synapis alba* L.). *Journal of Plant Physiology* 108: 227-234.
- Damian, J., Allen, S. N. and Neil, R. B. (1998) Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there real threat to photosynthesis? *Journal of Experimental Botany* 49(328): 1775-1788.
- Dennis, C., Gitz, A. Lan, L. G. Steven, J. Britz, C. and Joe, H. S. (2005) Ultraviolet-B effects on stomatal density, water use efficiency, and stable carbon isotope discrimination in four glasshouse soybean (*Glycine max*) cultivar growth. *Environmental and Experimental Botany* 53: 343-355.
- Gao, W., Zhena, Y. Slusser, J. R. and Gordon, M. (2003) Impact of enhanced Ultraviolet-B irradiance on cotton growth, development, yield, and qualities under field conditions. *Agricultural and Forest Meterology* 120(5): 241-248.
- Gorton, H. L. and Vogelmann, T. C. (1996) Effect of epidermal cell shape and pigmentation on optical properties of *Antirrhinum* petals at visible and ultraviolet wavelengths. *Journal of Plant Physiology* 112: 879-888.
- Holzinger, A. and Lutz, C. (2006) Algae and UV irradiation; effect on ultrastructure and related metabolic function. *Micron* 37: 190-207.
- Hollosy, F. (2002) Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron* 33: 179-197.
- Horii, A., Mccup, P. and Shetty, k. (2007) Enhancement of seed vigour following insecticide and phenolic elicitor treatment. *Bioresource Technology* 98: 623-632.
- Hosseini Sarghein, S., Carapetian, J. and Khara, J. (2011) The effects of UV radiation on some structural and ultrastructural parameters in pepper (*Capsicum longum* A. DC). *Turkish Journal of Biology* 35: 69-77.
- Javed, H., Aziz, M. A. and Leghari R. A. K. (2009) Resistance in different Okra cultivars (*Abelamoschus EsculLentus* L.) against American bollworm *Helicoverpa*

- Arnigera* Hub. Journal of Agriculture 47(4): 433-438.
- Kakani, V. G., Reddy, K. R. Zhao, D. and Mohammed, A. R. (2003) Effects of ultraviolet-B radiation on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) morphology and anatomy. Journal of Botany 91: 817-826.
- Krizek, D. T., Mirecki, R. M. and Britzek., S. J. (1997) Inhibitory effects ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth Cucumber. Journal of Physiologia Plantarum 100: 886-893.
- Krizek, D. T., Brita, S. J. and Miewcki, R. M. (1998) Inhibitory effects of ambient level of solar UV-A and UV-B on growth of cv. New Red Fire Lettuce. Journal of Physiology Plant 103(143): 1-7.
- Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1985) Determination of total carotenoids and chlorophylls A and B of leaf in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.
- Liu, L. X., Shou-Min, X. and Woo, K. C. (2005) Solar UV-B radiation on growth photosynthesis and the xanthophyll cycle in tropical *Acacias* and *Eucalyptus*. Environmental and Experimental Botany 54: 121-130.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J. Farr, A. L. and Randal R. J. (1951) Protein measurement with the folin-phenol reagent. Journal of Biological Chemistry 193: 265-275.
- Mapelli, S., Shorina, M., Brambilla, I. and Kuznetsov, V. (2006) Biochemical and physiological events following exposure to UV-B radiation in Ice plant. General and Applied Plant Physiology (Special Issue) 33-44.
- Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R. D., Govindarajan, R., Kuriakose, S. V. and Prasad, M. N. V. (2006) Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. Plant Physiology Biochemistry 44: 25-37.
- Mpoloka, S. W., Abratt, V. A., Mundree, S. G., Thomson, J. A. and Musil, C. F. (2007) Potential effects of prolonged ultraviolet radiation exposure in plants: chloroplast DNA analysis. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 2(4): 437-441.
- Pal, M., Jain, V. and Sengupta, U. K. (1998) Influence of enhanced UV-B radiation on mustard: cultivar response. Journal of Plant Physiology 1(3): 188-193.
- Pal, M., Sengupta, U. K. Srivastava, A. C. Jain, V. and Meena, R. C. (1999) Changes in growth and photosynthesis of mung bean induced by UV-B radiation. Journal of India Plant Physiology 5(4): 79-84.
- Roberts, E. J. and Martin, L. F. (1959) Progress in determining organic nonsugars of sugarcane juice that affect sugar refining. In: Proceedings of the 6th technical session on bone char (Ed. Deitz, V. R.) 67-99 Bone Char Research Project, Inc.
- Santos, I., Fidalgo, F. and Almeida, J. (2004) Biochemical and ultrastructural changes in leaves of potato plants grown under supplementary UV-B radiation. Plant Science 167: 925-935.
- Smirnoff, N. and Wheeler, G. L. (2000) Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function critical. Journal of Plant Sciences 19(4): 267-290.
- Staxen, L., Bergounioux, C. and Bornman, J. F. (1993) Effect of ultraviolet radiation on cell division and microtubule organization in *Petunia hybrida* protoplasts. Protoplasma 173: 70-76.
- Sullivan, J. H. (1997) Effect of increasing UV-B radiation and atmospheric CO₂ on photosynthesis and growth, implication for terrestrial ecosystems. Plant Ecology 128: 194-206.
- Teramura, A. H. (1983) Effects of UV-B radiation on the growth and yield of crop plant. Journal of Plant Physiology 1(58): 415-427.
- Yao, Y., Xuan, Z., Li, Y., He, Y., Korplainen, H. and Li, C. (2006) Effects of ultraviolet-B radiation on crop growth, development,

yield and leaf pigment concentration of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) under field conditions. European Journal of Agronomy 25: 215-222.

Zhang, J. and Kirkham, M. B. (1996) Antioxidant responses to drought in sunflower and sorghum seedlings. Journal of New Phytology 132: 361-371.

Changes in physiological anatomical and parameters of okra (*Hibiscus esculentus* L.) under different ultraviolet radiation

Soroush Kargar Khorrami, Rashid Jamei * and Siavash Hosseini Sarghein

Department of Biology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

In this study, okra plants were exposed to different ultraviolet (UV) radiation for 12 days. After treatment, leaf surface, root and stem length, fresh and dry weight and photosynthetic pigments, protein and sugar content were evaluated and the results showed that their contents were significantly decreased under UV radiation specially in UV-B and UV-C. The anatomical studies indicated that thickness in the different organs was decreased. Also, it was observed that stomatal density, index contents and stomatal length were increased under UV radiation in UV-B and UV-C. Because of the effects of UV radiation on epidermal cells of stem, leaf and petiole were observed to have decreased epidermal length but epidermal breadth was increased specially in UV-B and UV-C. The results of this study showed that UV-B and UV-C had serious effects on okra plant, but UV-A wasn't harmful to okra plants.

Key words: Anatomy, Ultraviolet radiation, Protein, Pigments, Sugar, Okra

* Corresponding Author: r.jamei@urmia.ac.ir