

Effect of ultraviolet irradiation and foliar application of some plant growth regulators on biomass and morphological characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.)

Zahra Hajipour¹, Hasan Mumivand^{*2}, Alireza Shayganfar³, Amin Ebrahimi⁴

1. M.Sc. Student, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran. E-mail: zahra.hjp@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran. E-mail: mumivand.h@lu.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: shayganfar.a.r@gmail.com
4. Assistant Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Semnan, Iran. E-mail: aminebrahimi63@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 03.02.2021
Revised: 04.10.2021
Accepted: 06.07.2021

Keywords:
Ascorbic acid,
Melatonin,
Stomate
Trigonella foenum-graecum L.,
Ultraviolet

ABSTRACT

Background and Objectives: Increase in ultraviolet radiation (UV), especially UV-B, as one of the consequences of climate change, can disrupt the growth of plants. UV light influences plant growth and metabolism. Various studies have shown that increasing in UV-B can have detrimental effects on physiological processes and overall growth of some plants. The use of exogenous plant growth regulators has mostly been effective in reducing the effects of environmental stresses in plants. The present study was conducted to investigate the effect of UV-A and UV-B and foliar application of melatonin and ascorbic acid (ASC) on growth, biomass and morphological and stomatal characteristics of fenugreek in 2019.

Materials and Methods: The experiment was performed as a split plot in a completely randomized design in the research greenhouses of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University. Ultraviolet radiation was considered in four levels as the first factor (including: control, UV-A, UV-B and UV-A+UV-B) and application of osmolytes was used in four levels (Control, melatonin, ASC and melatonin+ ASC) as the second factor. Finally, plant height, plant width, number of leaves, leaflet length and width, petiole length, crown diameter, plant fresh weight, plant dry weight, leaf fresh weight, number of internodes, number of lateral branches, stomatal guard cell length and width, stomatal index, stomatal density, chlorophyll and carotenoid contents were measured. The data obtained from the experiment was analyzed using Minitab software. Also, mean comparison was performed using LSD test method at 0.05.

Results: The results showed that UV-A increased fresh leaf weight, crown diameter, leafstalk length, leaflet length and width, plant height and width, plant fresh weight (12.17%), plant dry weight, number of internodes and content of chlorophyll a (7.4%) and chlorophyll b (3.5%), but reduced the number of lateral branches (15.63%). In contrast, UV-B and UVA+UVB treatments reduced most of the studied traits including plant height (8.09%), leaflet length and width, leafstalk length, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, plant fresh and dry weight

and leaf fresh weight. However, carotenoid content, the number of lateral branches (6.58%) and stomatal index (11.4%) were increased by UV-B and UV-A+UV-B. Application of ASC and melatonin reduced the negative effects of UV-B on fenugreek. In control and UV-A treatments, ASC foliar application had shown the best effects on the studied traits and the highest plant height, number of lateral branches, number of leaves, leaf length and width, chlorophyll, carotenoids, and stomatal index and density were observed in this treatment. While, simultaneous application of melatonin and ASC led to the best results under UV-B and UVA+B treatments. Therefore, it can be concluded that the synergistic effect of these two compounds in modulating the effects of ultraviolet stress on fenugreek was remarkable.

Conclusion: In the present study, UV-B radiation and simultaneous radiation of UV-A and UV-B reduced the growth and development of fenugreek. In contrast, UV-A treatment improved yield and morphological characteristics of the plant. In addition, foliar application of melatonin and ascorbic acid modulated morphological destruction and growth indices caused by ultraviolet-B treatment.

Cite this article: Hajipour, Zahra, Mumivand, Hasan, Shayganfar, Alireza, Ebrahimi, Amin. 2022. Effect of ultraviolet irradiation and foliar application of some plant growth regulators on biomass and morphological characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Plant Production Research*, 29 (1), 133-154.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2021.18867.2785

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر تابش پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد بر ویژگی‌های عملکردی و ظاهری شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.)

زهرا حاجی‌پور^۱، حسن مومیوند^{۲*}، علیرضا شایگان‌فر^۳، امین ابراهیمی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: zahra.hjp@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: mumivand.h@lu.ac.ir
۳. استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: shayganfar.a.r@gmail.com
۴. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران. رایانامه: aminebrahmii63@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: افزایش تابش پرتوی فرابنفش به‌ویژه فرابنفش-ب، به عنوان یکی از پیامدهای تغییر اقلیم، قادر به اختلال در رشد و نمو گیاهان است. پرتوی فرابنفش بر رشد و سوخت‌وساز گیاه تأثیر می‌گذارد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که افزایش پرتوی فرابنفش-ب می‌تواند اثرات زیان‌آوری بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشد کلی بعضی از گیاهان داشته باشد. استفاده از ترکیبات یا تنظیم‌کننده‌های رشد به صورت برون‌زا در بسیاری از موارد در کاهش اثرات تنش‌های محیطی مؤثر بوده است. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر پرتوی فرابنفش آ و ب و محلول‌پاشی ملاتونین و اسید آسکوربیک بر رشد، زی‌توده گیاهی و خصوصیات ظاهری و روزنه‌ای شنبلیله انجام گرفت.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷	
واژه‌های کلیدی: اسید آسکوربیک، روزنه، فرابنفش، ملاتونین، <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.	مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. تیمار تابش پرتوی فرابنفش در چهار سطح (شاهد، تابش پرتوی فرابنفش-آ، تابش پرتوی فرابنفش-ب و تابش پرتوی فرابنفش آ + ب) به عنوان عامل اصلی و کاربرد ترکیبات تعدیل‌کننده تنش در چهار سطح (شاهد، ملاتونین، اسید آسکوربیک و ملاتونین + اسید آسکوربیک) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. در پایان آزمایش صفات ارتفاع بوته، عرض بوته، تعداد برگ، طول برگچه، عرض برگچه، طول دم‌برگ، قطر طوقه، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد میانگره، طول و عرض سلول محافظ روزنه، شاخص روزنه‌ای، تراکم روزنه‌ای، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید اندازه‌گیری شد. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Minitab مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از روش آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که پرتوی فرابنفش-آ علی‌رغم کاهش تعداد شاخه‌های جانبی (۱۵/۶۳ درصد)، باعث افزایش وزن تر برگ، قطر طوقه، طول دمبرگ، طول و عرض برگچه، ارتفاع و عرض بوته، وزن تر اندام هوایی (۱۲/۱۷ درصد)، وزن خشک اندام هوایی، تعداد میانگره و میزان کلروفیل-آ (۷/۴ درصد) و کلروفیل-ب (۳/۵ درصد) شد. بر خلاف این تیمار فرابنفش-ب و فرابنفش آ + ب باعث کاهش اغلب صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته (۸/۰۹ درصد)، طول و عرض برگچه، طول دمبرگ، کلروفیل آ، کلروفیل ب، کلروفیل آ + ب، وزن تر و خشک بوته و وزن تر برگ شد. با این وجود میزان کاروتنوئید، تعداد شاخه‌های جانبی (۶/۵۸ درصد) و شاخص روزنه‌ای (۱۱/۴ درصد) را افزایش دادند. کاربرد اسید آسکوربیک و ملاتونین باعث کاهش اثرات منفی تابش فرابنفش در شبلیله گردید. در شرایط عدم تیمار فرابنفش و تیمار فرابنفش-آ، محلول پاشی اسید آسکوربیک اثرات بهتری بر صفات مورد مطالعه بر جا گذاشت و بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، طول و عرض برگچه، کلروفیل، کاروتنوئید، شاخص روزنه و تراکم روزنه را به خود اختصاص داد. در حالی‌که در شرایط تابش فرابنفش-ب و فرابنفش آ + ب، محلول پاشی هر دو ترکیب ملاتونین و اسید آسکوربیک نتایج بهتری به همراه داشت. بنابراین اثر هم‌افزایی این دو ترکیب در تعدیل اثرات تنش فرابنفش در شبلیله قابل توجه بود.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه تابش فرابنفش-ب و تابش همزمان فرابنفش-آ و ب منجر به کاهش رشد و نمو شبلیله شد. بر خلاف این، پرتوی فرابنفش-آ باعث بهبود عملکرد و صفات ظاهری گیاه گردید. علاوه بر این، محلول پاشی ملاتونین و اسید آسکوربیک باعث کاهش آسیب‌های ظاهری و شاخص‌های رشدی ناشی از تیمار پرتوی فرابنفش-ب شد.

استناد: حاجی‌پور، زهرا، مومیوند، حسن، شایگان‌فر، علیرضا، ابراهیمی، امین (۱۴۰۱). تأثیر تابش پرتوی فرابنفش و محلول پاشی برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد بر ویژگی‌های عملکردی و ظاهری شبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.). نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۹ (۱)، ۱۵۴-۱۳۳.

DOI: 10.22069/JOPP.2021.18867.2785



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

شنبليله (*Trigonella foenum-graecum* L.) گیاهی دولپه و یکساله از خانواده لگوم‌ها است که از برگ‌های آن به عنوان سبزی، چاشنی و علوفه استفاده می‌شود (۱). دانه‌های شنبليله منبع خوبی از پروتئین، ویتامین و آلكالوئید تريگونلین هستند و از نظر دارویی ارزش بالایی به‌ویژه در درمان اختلالات گوارشی، دیابت، اسهال خونی، اسهال و نرمی استخوان دارند. همانند سایر گیاهان خانواده لگوم، ریشه‌های این گیاه توانایی تثبیت نیتروژن را دارند؛ بنابراین کشت شنبليله خاک را از مواد مغذی اولیه غنی می‌کند (۲). بذر شنبليله منبع مهم تولید تجاری متابولیت با ارزش تريگونلین است (۳). برگ‌های جوان شنبليله و سپس دانه‌های بالغ آن نیز بیش‌ترین مقدار دایزورژنین را دارا هستند. تريگونلین که از طریق متیلاسیون اسید نیکوتینیک در گیاه ساخته می‌شود، دارای نقش هورمونی در گیاهان است. این آلكالوئید دارای خواص ضد‌میگرنی، ضدسرطانی، ضددیابت، پایین‌آورنده چربی خون و ضدعفونی‌کنندگی است (۴). دایزورژنین به‌طور عمده به عنوان مواد اولیه برای سنتز بخشی از قرص‌های ضدبارداری خوراکی، هورمون‌های جنسی و سایر استروئیدها استفاده می‌شود (۵).

کاهش ضخامت ازن استراتوسفری در سال‌های اخیر، باعث افزایش میزان پرتوی فرابنفش در سطح زمین شده است (۶). پیش‌بینی‌های تغییرات آب و هوایی در دهه‌های گذشته نشان از افزایش میزان پرتوی فرابنفش-ب دارد (۷). پرتوهای فرابنفش-ب (۲۸۰-۳۲۰ نانومتر) در موارد مختلفی از جمله اندام‌شناسی، ریخت‌شناختی، فیزیولوژی، بیوشیمی، فنولوژی و عملکرد، پیامدهای قابل‌توجهی روی گیاهان دارند. از جمله اثرات مضر این پرتوها در گیاهان می‌توان به کاهش فتوسنتز از طریق ایجاد اختلال در عملکرد ترکیبات پیچیده تجزیه‌کننده آب، تخریب فتوسیستم II،

پلاستوکوئینون، کاهش فعالیت آنزیم رویسکو و ATP سنتاز و نیز تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی اشاره کرد (۸). در بیش‌تر گیاهان کاهش ارتفاع گیاه، برگ، فاصله میان‌گره و وزن گیاه از سازوکارهای حفاظتی ساختاری در مقابل آسیب‌های ناشی از پرتوی فرابنفش است. علاوه بر این، گیاهانی که در معرض پرتوی فرابنفش، به‌خصوص پرتوی فرابنفش-ب قرار می‌گیرند دارای برگ‌هایی کوچک‌تر، ضخیم‌تر و شاخه‌های جانبی بیش‌تری هستند (۹). اما در گیاهان دارویی اعمال تنش فرابنفش به صورت کنترل شده باعث فعال شدن سیستم تولید متابولیت‌های ثانویه شده و افزایش ارزش گیاهان دارویی را به همراه دارد. پرتوی فرابنفش-آ (۳۹۰-۳۲۰ نانومتر) نیز باعث انواع مختلفی از پاسخ‌ها مانند کاهش رشد طولی شاخه، افزایش شکل‌گیری جوانه‌های جانبی، افزایش ترکیبات فنولی و سایر متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌شود (۸).

استفاده از ترکیبات یا تنظیم‌کننده‌های رشد به‌صورت برون‌زا در بسیاری از موارد در کاهش اثرات تنش‌های محیطی مؤثر بوده است. امروزه استفاده از ترکیباتی که بتوانند اثرات تنش‌های محیطی را کاهش دهند، از لحاظ تئوری و کاربردی اهمیت فراوانی دارد. ملاتونین (N-استیل ۵-متوکسی تریپتامین) ترکیبی ایندولی است که به‌طور طبیعی در گیاهان تولید می‌شود و بر ایجاد تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مؤثر است (۱۰). ملاتونین و متابولیت‌های آن دارای خواص هیدروفیلی و هیدروفوبی هستند، از این رو به‌عنوان بهترین آنتی‌اکسیدان‌ها محسوب می‌شوند. این ترکیب می‌تواند به راحتی از طریق غشای سلولی عبور کند و به تمام بخش‌های آبی مانند سیتوسول، هسته، میتوکندری و غیره نفوذ کند، مطالعات مختلف نشان داده‌اند که ملاتونین خارجی تحمل گیاه را به شوری، دمای پایین، باران اسیدی، خشکی و کادمیوم بهبود می‌بخشد (۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵).

تعداد برگ، محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل-آ، کلروفیل-ب و کاروتنوئید دو رقم کدو (*Cucurbita pepo* L.) شد. در مطالعه دیگری نشان داده شد که پرتوی فرابنفش-ب باعث کاهش طول ریشه، ساقه، وزن تر و خشک، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای احیا کننده، پروتئین کل و سطح برگ بامیه (*Hibiscus esculentus* L.) شد. علاوه بر این، میزان تراکم و شاخص روزنه‌ای افزایش یافت. نتایج این مطالعه نشان داد که پرتوی فرابنفش-ب و فرابنفش-ث دارای آثار زیان‌بار بر بامیه بود، در حالی که فرابنفش-آ آثار زیان‌بازی بر گیاه نداشت (۲۲). پیش‌تیمار ملاتونین نیز قبل از اعمال تنش شوری، سبب کاهش اثرات مضر شوری بر رشد *Malus hupehensis* شد (۲۳).

نظر به افزایش تابش پرتوی فرابنفش در سطح زمین و اهمیت تأثیر آن بر گونه‌های گیاهی، مطالعات بیش‌تری برای درک بهتر پاسخ گیاهان به افزایش تابش پرتوی فرابنفش لازم است. با توجه به اهمیت شبلیله به عنوان یک گیاه دارویی با ارزش و نقش کلیدی اسید آسکوربیک و ملاتونین به عنوان ترکیبات تعدیل‌کننده تنش‌های محیطی در گیاهان، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر ملاتونین و اسید آسکوربیک برون‌زا بر پاسخ‌های شبلیله به تابش پرتوی فرابنفش آ و ب از نظر رشد، زی‌توده گیاهی و خصوصیات ظاهری و روزنه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت گلدانی در گلخانه آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. گلخانه مذکور در جهت شمالی- جنوبی، دارای پوشش پلی‌کربنات، مجهز به دستگاه خنک‌کننده، تهویه جانبی و سایه‌بان، با میانگین دمای روزانه ۲۸-۲۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۶۰-۷۰ درصد و نور ۶۰۰ میکرومول بر

اسید آسکوربیک از آنتی‌اکسیدان‌های مهم و بستر مناسبی برای سم‌زدایی است که باعث حفاظت گیاه از رادیکال‌های آزاد اکسیدکننده می‌شود (۱۶). اسید آسکوربیک در خنثی کردن تنش اکسیداتیو، تنظیم تقسیم سلولی، فتوسنتز حذف گونه‌های فعال اکسیژن در کلروپلاست و سیتوسول و همچنین در مسیر آسکوربات-گلوتاتیون نقش مهمی دارد (۱۷). این ترکیب در برخی از واکنش‌های فتوسنتزی به عنوان کوفاکتور عمل می‌کند و در احیای غیرمستقیم ترکیباتی مانند آلفا-توکوفرول و دفع رادیکال هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن مؤثر است. علاوه بر این به‌طور مستقیم با رادیکال‌های آزاد اکسیژن واکنش داده و آن‌ها را خنثی می‌کند. همچنین در اعمال دیگری مانند رشد گیاه، تنظیم بیان ژن، تنظیم فعالیت و حفاظت از برخی آنزیم‌ها و تنظیم ردوکس اجزای آنتی‌اکسیدان متصل به غشا دخالت می‌کند (۱۸).

گزارش شده که پرتوی فرابنفش-آ باعث بروز صفات مثبت از نظر باغبانی و کوچک و ضخیم شدن میوه خیار شد، در صورتی که از نظر عملکرد تفاوت معنی‌داری بین گیاهان شاهد و تیمار شده وجود نداشت (۱۹). در مطالعه‌ای دیگر نیز تابش پرتوی فرابنفش-آ باعث افزایش قابل توجه میزان فنول کل و نسبت کلروفیل-آ به کلروفیل-ب شد. درحالی که تابش این پرتو در شب باعث کاهش فنول کل و پروتئین کل گردید و در نسبت کلروفیل-آ به کلروفیل-ب تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. تابش پرتوی فرابنفش-ب در گیاه علف لیمو (*Cymbopogon citrates*) نیز در ابتدا باعث افزایش میزان کاروتنوئیدها شد، اما با گذشت زمان میزان این ترکیبات رو به کاهش نهاد (۲۰). در این مطالعه دوزهای بالای فرابنفش-ب باعث کاهش ۱۷/۱ درصدی زی‌توده گیاهی شد (۲۱). تابش پرتوی فرابنفش-ب باعث کاهش طول ریشه و اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، سطح برگ،

پوشانده شد. با توجه به تغییر ارتفاع گیاهان در طول دوره رشد و به منظور تیمار یکسان پرتوی فرابنفش در طول انجام آزمایش، ارتفاع پایه‌های نگهدارنده لامپ‌های تامین‌کننده پرتوی فرابنفش با گذشت زمان افزایش یافت. تیمار ملاتونین و اسید آسکوربیک نیز بعد از مرحله چهار برگ حقیقی اعمال شد (۱۵). ملاتونین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار به مدت سه هفته و شش بار و اسید آسکوربیک با غلظت یک میلی‌مولار به مدت سه هفته و سه بار روی برگ گیاهان افشانه شد.

در انتهای آزمایش و پس از گذشت ۴۰ روز از اعمال تیمارها (مرحله گلدهی)، تعداد سه گلدان از هر تکرار به صورت تصادفی انتخاب و صفات ظاهری شامل (طول و عرض برگچه، طول دمبرگ اصلی، عرض بوته، ارتفاع بوته، قطر طوقه، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی و تعداد میانگره) مورد سنجش قرار گرفتند. سپس گیاهان مورد نظر برداشت و وزن تر اندام هوایی، وزن تر برگ و وزن خشک اندام هوایی آن‌ها اندازه‌گیری شد (حدود ۷۰ روز پس از کشت بذری). نمونه‌گیری تصادفی از تیمارهای مختلف جهت اندازه‌گیری میزان رنگدانه‌ها صورت گرفت. برای سنجش میزان کلروفیل-آ، کلروفیل-ب، کلروفیل-آ+ب و کاروتنوئید از روش لیچتندلر (۱۹۸۳) استفاده شد (۲۴). در این روش ابتدا ۰/۱ گرم برگ توزین و در هاون چینی با ازت مایع کاملاً ساییده شد. سپس نمونه را با ۱۰ میلی‌لیتر استون خالص مخلوط کرده، عصاره به‌دست آمده در فالكون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد و به‌مدت ۱۵ دقیقه با دستگاه (مدل KL 16-2 سیگما ۴) ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس محلول رویی برداشته و با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل ماپادا UV5-18005) جذب محلول در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۶۲ و ۶۴۵ نانومتر قرائت شد. در نهایت میزان کلروفیل-آ (Chla)، کلروفیل-ب (Chlb)، کلروفیل-آ+ب (Chla+b) و کاروتنوئید (Car)، بر حسب میلی‌گرم در گرم برگ محاسبه شد.

مترمربع در ثانیه بود. به این منظور آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (پنج گلدان در هر تکرار) اجرا شد. تیمار تابش پرتوی فرابنفش در چهار سطح (شاهد، تابش پرتوی فرابنفش-آ، تابش پرتوی فرابنفش-ب و تابش پرتوی فرابنفش-آ+ب) به عنوان عامل اصلی و کاربرد ترکیبات تعدیل‌کننده تنش در چهار سطح (شاهد، ملاتونین، اسید آسکوربیک و ملاتونین + اسید آسکوربیک) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. بذور شبلیله به وسیله هیپوکلیت سدیم سه درصد ضدعفونی و به‌مدت ۱۰ دقیقه با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس بذرها در گلدان‌های دو کیلوگرمی حاوی خاک زراعی، کود دامی و ماسه بادی به نسبت ۲:۲:۱ کشت شدند. طی دوره رشد، مراقبت‌های زراعی لازم از گیاهان صورت گرفت. گیاهان شبلیله بعد از مرحله دو برگ حقیقی در معرض تابش پرتوی فرابنفش-آ+ب قرار گرفتند. تیماردهی پرتوی فرابنفش توسط لامپ‌های ساخت شرکت Q-lab آمریکا انجام شد. لازم به ذکر است که لامپ‌های ۴۰ واتی مورد استفاده در این مطالعه باند پهن بوده و بیش‌ترین تطبیق را با فرابنفش-ب (در لامپ‌های فرابنفش-ب) و فرابنفش-آ (در لامپ‌های فرابنفش-آ) دریافتی از خورشید در سطح زمین داشتند، بنابراین بهترین شبیه‌سازی ممکن را فراهم می‌کردند. پیک تابشی لامپ‌های فرابنفش-ب برابر ۳۱۳ نانومتر و فرابنفش-آ برابر با ۳۵۱ نانومتر بود. به‌منظور اعمال تیمارهای پرتوی فرابنفش، پایه‌های فلزی با ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر از سطح زمین آماده و لامپ‌ها روی آن‌ها نصب شد. تیماردهی به‌صورت روزانه و به مدت ۳ ساعت در طول روز (از ساعت ۱۱ تا ۱۴) انجام شد. بدین‌منظور از یک تایمر الکتریکی با هدف تنظیم زمان روشن و خاموش شدن لامپ‌ها استفاده شد. به‌منظور ایجاد فضای ایزوله و با هدف جلوگیری از تداخل تأثیر تیمارهای مختلف، فاصله بین تیمارها با استفاده از یونولیت

از نرم‌افزار Minitab صورت گرفت و مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام شد. برای ترسیم جداول از نرم‌افزارهای Word و Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

صفات ظاهری و زی‌توده گیاهی: نتایج تجزیه واریانس صفات ظاهری و زی‌توده گیاهی (جدول ۱) نشان داد که اثر پرتوی فرابنفش بر وزن تر برگ، طول دم‌برگ، طول و عرض برگچه، ارتفاع بوته، عرض بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، قطر طوقه، تعداد میانگره و وزن تر و خشک اندام هوایی معنی‌دار بود. هم‌چنین وزن تر برگ، طول دم‌برگ، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی قرار گرفتند. اثر متقابل پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی نیز بر صفات طول دم‌برگ، عرض برگچه، تعداد برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، قطر طوقه، وزن تر و خشک اندام هوایی معنی‌دار شد.

خصوصیات روزنه‌ای با استفاده از اپیدرم تحتانی برگ‌های بالغ اندازه‌گیری شد. برای این کار از روش عکس‌برداری میکروسکوپی با بزرگنمایی‌های ۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ و نرم‌افزار ایمیج تولز استفاده شد. تراکم و شاخص روزنه‌ای و طول و عرض سلول‌های محافظ روزنه اندازه‌گیری و محاسبه شد (۲۵). برای اندازه‌گیری طول و عرض سلول‌های محافظ روزنه حداقل ۱۰ روزنه به‌صورت تصادفی از هر اسلاید مربوط به اپیدرم یک برگ عکس‌برداری شد و میانگین آن‌ها در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری تراکم روزنه‌ای نیز از هر اسلاید دو عکس به‌طور تصادفی تهیه و میانگین آن‌ها به‌عنوان تراکم روزنه‌ای بر حسب میلی‌متر مربع در نظر گرفته شد. برای محاسبه شاخص روزنه‌ای نیز از رابطه زیر استفاده گردید:

$$SI = [(S/E+S)] \times 100 \quad (1)$$

که در آن، E تعداد سلول‌های اپیدرمی در واحد سطح، S تعداد روزنه در واحد سطح، SI شاخص روزنه‌ای (درصد)

تجزیه و تحلیل داده‌ها: در انتها، تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح آزمایشی مورد مطالعه با استفاده

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده بر صفات ظاهری و زی‌توده گیاهی شنبلیله.

Table 1. Analysis of variance of the effect of UV radiation and foliar application of osmolytes on morphological traits and biomass of fenugreek.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of Square					
		تعداد شاخه‌های جانبی Number of lateral branches	طول دم‌برگ Petiole length	طول برگچه Leaflet length	عرض برگچه Leaflet width	تعداد برگ Number of leaves	قطر طوقه Crown diameter
A	3	0.67791*	15.970**	5.4994*	4.9766**	4.580 ^{ns}	0.44160**
A Error	8	0.07852	2.235	0.8236	0.8329	4.802	0.17949
B	3	0.12191 ^{ns}	13.811**	2.2611 ^{ns}	1.6510 ^{ns}	4.151 ^{ns}	0.14904 ^{ns}
AB	9	1.37230**	8.703*	1.4237 ^{ns}	2.1030*	16.286**	0.14473*
B Error	24	0.17474	2.895	1.1869	0.8329	1.643	0.05508

A: تیمار پرتوی فرابنفش. B: محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده. AB: اثر متقابل پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده

**، *، ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند

A: UV radiation; B: foliar application of osmolytes; AB: interaction effect of UV and foliar application of osmolytes

**، *، ^{ns} show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively

ادامه جدول ۱ -

Continue Table 1.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of Square					
		ارتفاع بوته Plant height	عرض بوته Plant width	تعداد میانگره Number of internodes	وزن تر اندام هوایی Plant fresh weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Plant dry weight
A	3	39.120**	6.235*	2.7201**	13.3136**	0.002676**	4.38778**
A Error	8	4.327	2.298	0.2997	0.8356	0.000242	0.05817
B	3	12.684**	2.113 ^{ns}	0.3326 ^{ns}	6.6900	0.001065**	2.02296*
AB	9	7.212*	2.308 ^{ns}	0.2273 ^{ns}	6.3785**	0.000416 ^{ns}	2.24091**
B Error	24	2.406	2.036	0.2770	1.8615	0.000212	0.64436

A: تیمار پرتوی فرابنفش. B: محلول پاشی ترکیبات تعدیل کننده. AB: اثر متقابل پرتوی فرابنفش و محلول پاشی ترکیبات تعدیل کننده
 **, *, ^{ns} به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی دار هستند

A: UV radiation; B: foliar application of osmolites; AB: interaction effect of UV and foliar application of osmolites
 **, *, ^{ns} show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively

ارتفاع بوته (۸/۰۹ درصد)، عرض بوته (۱۲/۶۴ درصد) و تعداد میانگره (۲/۴۳ درصد) را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. برخلاف این، تعداد شاخه های جانبی (۶/۵۸ درصد) تحت تأثیر پرتوی فرابنفش-ب افزایش پیدا کرد. در مطالعات زیادی گزارش شده است که پرتوی فرابنفش-ب باعث کاهش رشد و زی توده گیاه می گردد. برای مثال رشد طولی، جوانه زنی بذر، وزن خشک بذر، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه و وزن خشک کل *Bromus catharticus* تحت تأثیر پرتوی فرابنفش-ب کاهش یافت (۲۶). تابش پرتوی فرابنفش-ب باعث کاهش ارتفاع گیاه در آویشن باغی و آویشن دنیایی شد که با نتایج حاصل از پژوهش ما مطابقت داشت (۱۸).

نتایج مقایسه میانگین اثر پرتوی فرابنفش بر صفات ظاهری و زی توده گیاهی سنبله (جدول ۲) نشان داد که بیشترین وزن تر برگ، طول برگچه، عرض بوته و تعداد میانگره در تیمار پرتوی فرابنفش-آ و کمترین آن ها در تیمار پرتوی فرابنفش-ب مشاهده شد. در مورد تمامی این صفات اختلاف معنی داری بین تیمار فرابنفش-ب و تیمار همزمان فرابنفش آ و ب وجود نداشت. طبق نتایج به دست آمده مشخص گردید که پرتوی فرابنفش-ب باعث کاهش اغلب صفات وابسته به رشد و زی توده گیاه شد؛ به نحوی که وزن تر برگ (۱۱/۴۷ درصد)، وزن تر اندام هوایی (۱۸/۵ درصد) و خشک اندام هوایی (۲۶ درصد)، طول دم برگ (۶/۱۴ درصد)، طول برگچه (۴/۵۷ درصد)، عرض برگچه (۷/۷۵ درصد)،

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر پرتوی فرابنفش بر صفات ظاهری و زی توده گیاهی شبلیله.

Table 2. Mean comparison of the effect of UV radiation on morphological traits and biomass of fenugreek.

UV adiation	وزن تربرگ Leaf fresh weight (gr)	طول برگچه Leaflet length (mm)	عرض بوته Plant width (mm)	تعداد میانگره Number of internodes
Control	0.13 ^b	21.66 ^{ab}	10.44 ^a	10.25 ^b
UVA	0.15 ^a	22.17 ^a	10.81 ^a	11.01 ^a
UVB	0.12 ^c	20.67 ^c	9.13 ^b	10.00 ^b
UVA+ UVB	0.12 ^{bc}	20.98 ^{bc}	10.13 ^{ab}	10.02 ^b

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

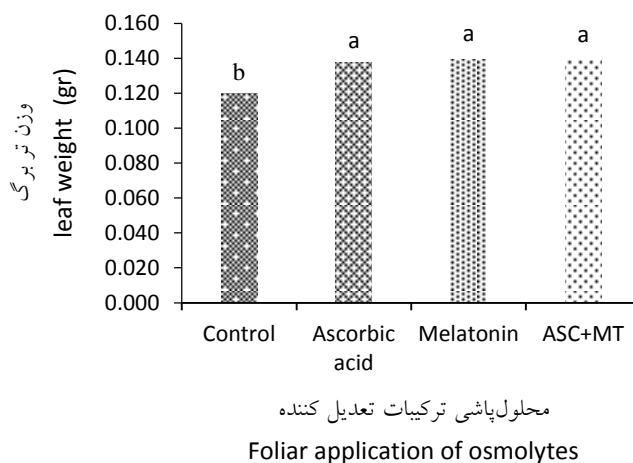
پاسخ‌های گیاهان به پرتوی فرابنفش-آ متفاوت و مطالعات موجود اغلب حاوی اطلاعات متناقضی است (۲۷). تعدادی از مطالعات گزارش کرده‌اند که پرتوی فرابنفش-آ باعث تسریع در افزایش رشد و تغییر در صفات ظاهری گیاهان می‌شود (۲۸). برخلاف این برخی دیگر از مطالعات هیچ‌گونه پاسخ معنی‌داری یا اثرات منفی (به عنوان مثال جلوگیری از تجمع زی توده یا گسترش برگ) تحت تابش پرتوی فرابنفش-آ گزارش نکرده‌اند. به‌طور کلی پرتوی فرابنفش-آ برای فتوسنتز مضر است، اما تحت شرایط نورکم (غیراشباع)، پرتوی فرابنفش-آ می‌تواند میزان فتوسنتز را افزایش دهد (۲۷). بنابراین هنوز پاسخ گیاهان تحت تابش پرتوی فرابنفش-آ کاملاً مشخص نیست و بسته به نوع گونه گیاهی و شرایط اقلیمی محل آزمایش (به‌ویژه شدت نور) واکنش به فرابنفش-آ متفاوت است. ورداگر و همکاران (۲۰۱۷) این موضوع را مطرح کردند که پاسخ گیاهان به پرتوی فرابنفش-آ ممکن است در اثر تغییرات جزئی در تعادل بین اثرات متعدد فرابنفش-آ، از جمله تنش ناشی از تغییر در صفات ظاهری، فتوسنتز و همچنین تجمع ترکیبات فنولی با قابلیت‌های آنتی‌اکسیدانی ایجاد شود. علاوه بر این، گزارش شده است که برخی از اثرات فرابنفش-آ بر زی توده توسط سایر عوامل محیطی تعدیل می‌شود (۲۸).

پرتوی فرابنفش-ب به طور مستقیم سبب کاهش فعالیت آنزیم روپیسکو و تثبیت کربن و کاهش تولید ماده خشک و نشاسته، و به‌طور غیرمستقیم باعث بسته شدن روزنه‌ها، تغییر ضخامت برگ و کاهش سطح کانوبی می‌شود که این موضوع می‌تواند باعث کاهش رشد گیاهان شده و از این طریق در نهایت منجر به کاهش عملکرد و وزن تر و خشک گیاه گردد (۲۱). ارتفاع گیاه با افزایش میزان پرتوی فرابنفش-ب به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که گفته می‌شود به واسطه تخریب تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید ایندول استیک و تشکیل ترکیبات بازدارنده رشد در اثر تابش فرابنفش است. اغلب گیاهان زمانی که در معرض فرابنفش-ب قرار می‌گیرند در ساختمان تشریحی برگ آن‌ها تغییراتی ایجاد می‌شود که یکی از این تغییرات کاهش سطح برگ است. احتمالاً تابش پرتوی فرابنفش-ب باعث کاهش تقسیم سلولی، طولی شدن سلول‌ها و کاهش تعداد سلول‌های در حال میتوز می‌گردد؛ از طرفی زمان تقسیم سلولی را نیز کاهش می‌دهد. بنابراین سلول‌ها فرصت کافی را برای تقسیم و گسترش سلولی پیدا نمی‌کنند. شاید این موضوع به‌خاطر محدود کردن اسید ایندول استیک به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد کلیدی در گیاهان باشد؛ در نتیجه کاهش سطح برگ، طول میانگره، طول و عرض برگ و برگچه و ارتفاع گیاه را به دنبال دارد (۱۸).

معنی داری کاهش داد (۱۸). این پژوهش گران پاسخ متفاوت گونه‌های مختلف آویشن به پرتوی فرابنفش را به تفاوت در خصوصیات ژنتیکی گونه‌ها و شرایط اقلیمی خاستگاه آن‌ها نسبت دادند. در مطالعه حاضر تابش همزمان پرتوهای فرابنفش آ و ب باعث کاهش ارتفاع گیاه، تعداد برگ، طول دمبرگ، عرض برگچه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک برگ در مقایسه با گیاهان تیمار شده با پرتوی فرابنفش-آ و شاهد شد که با نتایج حاصل از پژوهش‌های دیگر مطابقت داشت (۲۹، ۳۰ و ۳۱).

نتایج مقایسه میانگین اثر محلول پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده نیز نشان داد که استفاده از محلول‌های تعدیل‌کننده باعث افزایش وزن تر برگ نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۱). بین محلول پاشی ملاتونین، اسید آسکوربیک و کاربرد هم‌زمان این دو ترکیب، اختلاف معنی داری از نظر وزن تر برگ مشاهده نشد.

در مطالعه حاضر پرتوی فرابنفش-آ باعث افزایش وزن تر برگ (۱۸/۶ درصد) و اندام هوایی (۱۲/۱۷ درصد)، طول دمبرگ (۳/۲۹ درصد)، طول (۴/۲ درصد) و عرض (۰/۸ درصد) برگچه، ارتفاع بوته (۶/۸ درصد)، عرض بوته (۳/۴۴ درصد)، تعداد میانگره (۷/۶ درصد)، کلروفیل-آ (۷/۴ درصد)، کلروفیل-ب (۳/۵ درصد) و کلروفیل آ+ب (۶/۲۳ درصد) در شنبلیله شد. اما نتیجه عکس در تعداد شاخه‌های جانبی (۱۵/۶۳ درصد) مشاهده شد؛ به‌گونه‌ای که پرتوی فرابنفش-ب باعث افزایش و پرتوی فرابنفش-آ باعث کاهش تعداد شاخه‌های جانبی در شنبلیله گردید. در مطالعه شایگانفر و همکاران (۲۰۱۸) تابش پرتوی فرابنفش-آ باعث افزایش ارتفاع آویشن دنایی و آویشن باغی شد؛ با این حال تأثیری بر ارتفاع آویشن قره‌باغی نداشت، هر چند طول میانگره این گونه را به صورت



شکل ۱- اثر محلول پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده بر وزن تر برگ شنبلیله.

Fig. 1. Effect of foliar application of osmolytes on leaf fresh weight of fenugreek.

به‌نظر می‌رسد ملاتونین رشد و توسعه گیاه را به‌وسیله تأثیر بر پایداری غشا، فرا یا فرو تنظیم بیان ژن و ویژگی آنتی‌اکسیدانی خود بهبود می‌بخشد. برخی از عملکردهای ملاتونین ممکن به واسطه سازوکار

ملاتونین یک ترکیب ایندول آمین مشتق شده از تریپتوفان است که از نظر ساختار با هورمون اکسین دارای قرابت زیادی است. سازوکار عمل ملاتونین در گیاهان هنوز به‌طور واضح مشخص نشده است، اما

گیرنده-محوری باشد، در حالی که عملکرد ترکیبات دیگر مستقل از سازوکار گیرنده-محوری است (۳۲). قرار گرفتن گیاه در معرض پرتوی فرابنفش باعث کاهش سریع میزان فتوسنتز و کاهش تقریبی همه پارامترهای مربوط به فتوسنتز شد. با این حال تیمار ملاتونین باعث کاهش تأثیر منفی پرتوی فرابنفش-ب گردید (۳۳). هم‌چنین استفاده از ملاتونین در گیاه جوی دوسر که در معرض تنش شوری بود سبب افزایش محتوای کلروفیل و سطح برگ شد و وزن تر و وزن خشک گیاه را افزایش داد (۳۴).

اثر مثبت اسید آسکوربیک بر رشد گیاه را شاید بتوان به نقش آن به عنوان عاملی مهم در بیوسنتز برخی از هورمون‌های گیاهی دخیل در رشد و تقسیم سلولی از جمله جیبرلین و پایداری رنگدانه‌ها و دستگاه فتوسنتزی نسبت داد (۱). احتمالاً کاربرد اسید آسکوربیک از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش تقسیم سلولی، موجب تحریک رشد و افزایش ارتفاع در گیاهان می‌شود. محلول‌پاشی اسید آسکوربیک نیز موجب افزایش معنی‌دار رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ و درصد روغن ریحان تحت تنش کم‌آبی شد (۳۵).

در پژوهش برادران فیروزآبادی و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده شد که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک سبب افزایش عملکرد گیاه سیاهدانه در شرایط تنش آبیاری شد (۲۸، ۳۶). عرب و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک باعث افزایش میزان صفات ظاهری در گلرنگ بهاره گردید، که با پژوهش حاضر همخوانی دارد (۳۷).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده بر صفات ظاهری و زی‌توده گیاهی شنبلیله نشان داد که بیش‌ترین طول دم‌برگ در تیمار عدم تابش پرتوی فرابنفش با محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و کم‌ترین آن در تیمار پرتوی فرابنفش-ب و بدون محلول‌پاشی به‌دست آمد. بیش‌ترین عرض برگچه در تیمار پرتوی فرابنفش-آ و محلول‌پاشی ملاتونین و کم‌ترین آن در تیمار پرتوی فرابنفش-ب و عدم محلول‌پاشی مشاهده شد. بیش‌ترین تعداد برگ در تیمار پرتوی فرابنفش-آ و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و کم‌ترین آن در تیمار هم‌زمان پرتوی فرابنفش-آ+ب و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک به‌دست آمد. بالاترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار پرتوی فرابنفش-آ و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و کم‌ترین آن در تیمار پرتوی فرابنفش-ب و عدم محلول‌پاشی بود. بیش‌ترین تعداد شاخه‌های جانبی در تیمار پرتوی فرابنفش-ب و کاربرد هم‌زمان اسید آسکوربیک و ملاتونین و کم‌ترین آن در تیمار پرتوی فرابنفش-آ و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد. بیش‌ترین قطر طوقه در تیمار عدم تابش پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و کم‌ترین آن در تیمار هم‌زمان پرتوی فرابنفش-آ و ب و بدون محلول‌پاشی مشاهده گردید. بالاترین وزن تر اندام هوایی در تیمار پرتوی فرابنفش-آ با محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و کم‌ترین آن در تیمار پرتوی فرابنفش-ب و بدون محلول‌پاشی به‌دست آمد. بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار عدم تابش پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی ملاتونین و کم‌ترین آن در تیمار پرتوی فرابنفش-ب و عدم محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۳).

تأثیر تابش پرتوی فرابنفش و محلول پاشی برخی از ... / زهرا حاجی پور و همکاران

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پرتوی فرابنفش و محلول پاشی ترکیبات تعدیل کننده بر صفات ظاهری و زی توده گیاهی شنبلیله.

Table 3. Mean comparison of the interaction effects of UV radiation and foliar application of osmolytes on morphological traits and biomass of fenugreek.

UV radiation	ترکیبات تعدیل کننده Osmolytes	طول دمبرگ Petiole length (mm)	عرض برگچه Leaflet width (mm)	طول برگچه Number of leaves	ارتفاع بوته Plant height (Cm)
Control	Control	27.11 ^d	16.30 ^{abcde}	17.32 ^{de}	26.87 ^{efg}
	Ascorbic acid	32.80 ^a	17.31 ^{ab}	18.63 ^{cd}	30.50 ^{bc}
	Melatonin	29.71 ^{bcd}	17.02 ^{abcd}	21.53 ^{ab}	29.83 ^{bcd}
	ASC+MT	28.31 ^{bcd}	15.88 ^{cdef}	17.17 ^{de}	27.97 ^{cdef}
UVA	Control	30.06 ^{abc}	16.64 ^{abcde}	16.20 ^e	29.90 ^{bcd}
	Ascorbic acid	30.52 ^{ab}	15.92 ^{bcd}	23.19 ^a	33.19 ^a
	Melatonin	30.44 ^{abc}	17.35 ^a	17.57 ^{de}	27.83 ^{def}
	ASC+MT	30.80 ^{ab}	17.20 ^{abc}	17.93 ^{cde}	32.13 ^{ab}
UVB	Control	24.20 ^e	14.04 ^g	17.30 ^{de}	24.81 ^g
	Ascorbic acid	27.59 ^{cd}	16.43 ^{abcde}	17.40 ^{de}	27.00 ^{efg}
	Melatonin	28.91 ^{bcd}	15.30 ^{efg}	16.43 ^e	26.20 ^{fg}
	ASC+MT	30.01 ^{abc}	15.61 ^{def}	18.60 ^{cd}	27.83 ^{def}
UVA+UVB	Control	28.93 ^{bcd}	15.98 ^{abcde}	18.80 ^{cd}	29.07 ^{cde}
	Ascorbic acid	27.93 ^{bcd}	15.07 ^{fg}	15.93 ^e	28.57 ^{cdef}
	Melatonin	29.56 ^{bcd}	16.58 ^{abcde}	16.97 ^{de}	26.80 ^{efg}
	ASC+MT	30.03 ^{abc}	17.19 ^{abc}	20.03 ^{bc}	26.97 ^{efg}

* میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

* Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

UV radiation	ترکیبات تعدیل کننده Osmolytes	وزن تر بوته Plant fresh weight (gr)	وزن خشک بوته Plant dry weight (gr)	تعداد شاخه های جانبی Number of lateral branches	قطر طوقه Crown diameter (mm)
Control	Control	4.11 ^{efg}	6.17 ^{de}	2.77 ^{bc}	1.74 ^{bcd}
	Ascorbic acid	5.66 ^{abcd}	8.15 ^{bcd}	2.73 ^{bc}	2.69 ^a
	Melatonin	6.47 ^a	10.19 ^{ab}	2.60 ^{bcd}	1.90 ^{bcd}
	ASC+MT	4.20 ^{efg}	6.51 ^{cde}	1.63 ^f	1.89 ^{bcd}
UVA	Control	4.10 ^{efg}	6.80 ^{cde}	1.53 ^f	2.03 ^{bcd}
	Ascorbic acid	6.05 ^{ab}	10.82 ^a	2.97 ^{ab}	2.06 ^{bc}
	Melatonin	5.13 ^{abcde}	8.63 ^{abc}	1.93 ^{def}	2.07 ^b
	ASC+MT	4.73 ^{bcd}	8.54 ^{bc}	1.77 ^{ef}	2.02 ^{bcd}
UVB	Control	3.38 ^g	5.34 ^e	2.18 ^{cdef}	1.76 ^{bcd}
	Ascorbic acid	4.33 ^{defg}	6.98 ^{cde}	2.40 ^{bcd}	1.70 ^{bcd}
	Melatonin	3.42 ^{fg}	5.49 ^e	2.17 ^{cdef}	1.86 ^{bcd}
	ASC+MT	4.00 ^{efg}	7.46 ^{cde}	3.63 ^a	1.89 ^{bcd}
UVA+UVB	Control	4.71 ^{cdefg}	6.80 ^{cde}	2.70 ^{bc}	1.59 ^e
	Ascorbic acid	4.03 ^{efg}	5.57 ^e	1.80 ^{ef}	1.73 ^{bcd}
	Melatonin	4.34 ^{defg}	6.43 ^{vide}	2.57 ^{bcd}	1.65 ^{de}
	ASC+MT	5.96 ^{abc}	8.41 ^{bcd}	2.90 ^b	1.68 ^{cde}

* میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

* Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

خصوصیات روزنه‌ای و رنگدانه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر پرتوی فرابنفش بر شاخص روزنه‌ای، تراکم روزنه‌ای، کاروتنوئید، کلروفیل-آ، کلروفیل-ب و کلروفیل آ+ب معنی‌دار بود. هم‌چنین طول سلول محافظ روزنه، عرض سلول محافظ روزنه، تراکم روزنه‌ای، شاخص روزنه‌ای، کلروفیل-آ، کلروفیل-ب و کلروفیل آ+ب معنی‌دار شد.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده بر ویژگی‌های روزنه‌ای و رنگدانه‌های شنبلیله.

Table 4. Analysis of variance of the effect of UV radiation and foliar application of osmolytes on stomatal characteristics and pigments of fenugreek.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of Square			
		عرض سلول محافظ روزنه Stomatal guard cell width (μm)	طول سلول محافظ روزنه Stomatal guard cell length (μm)	شاخص روزنه‌ای Stomatal index (%)	تراکم روزنه‌ای Stomatal density (mm ²)
A	3	2.85 ^{ns}	5.25 ^{ns}	18.12 ^{**}	747.83 ^{**}
A Error	8	6.16	3.94	1.11	5.00
B	3	32.21 ^{**}	18.92 ^{**}	2.65 ^{ns}	356.99 ^{**}
AB	9	39.21 ^{**}	15.91 ^{**}	8.46 ^{**}	221.83 [*]
B Error	24	4.91	3.15	2.82	77.43

A: تیمار پرتوی فرابنفش. B: محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده. AB: اثر متقابل پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده

^{**}, ^{*}, ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند

A: UV radiation[†] B: foliar application of osmolytes; AB: interaction effect of UV and foliar application of osmolytes
^{**}, ^{*}, ^{ns} show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively

ادامه جدول ۴-

Continue Table 4.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of Square			
		کلروفیل آ Chlorophyll a	کلروفیل ب Chlorophyll b	کلروفیل آ و ب Chlorophyll a+b	کاروتنوئید Carotenoid
A	3	12.52 ^{**}	4.07 ^{**}	30.53 ^{**}	1.18 ^{**}
A Error	8	0.35	0.52	0.97	0.11
B	3	11.88 ^{**}	3.13 ^{**}	25.58 ^{**}	0.70 [*]
AB	9	3.50 ^{**}	0.78 ^{**}	6.48 ^{**}	0.38 ^{ns}
B Error	24	1.10	0.18	1.39	0.24

A: تیمار پرتوی فرابنفش. B: محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده. AB: اثر متقابل پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده

^{**}, ^{*}, ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند

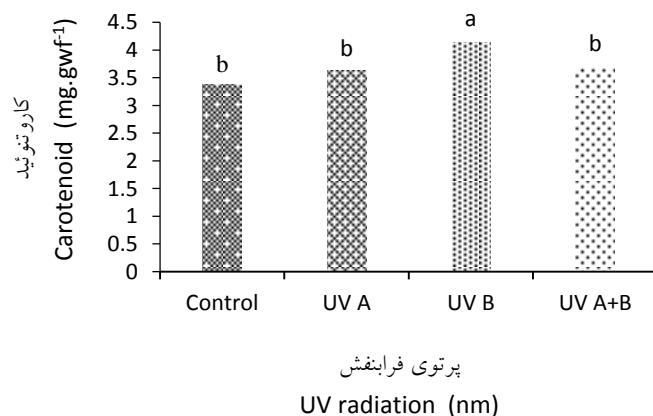
A: UV radiation[†] B: foliar application of osmolytes; AB: interaction effect of UV and foliar application of osmolytes
^{**}, ^{*}, ^{ns} show significant differences at 1% and 5% levels and no significant difference, respectively

در مطالعه حاضر پرتوی فرابنفش-آ باعث افزایش کلروفیل-آ (۷/۴ درصد)، کلروفیل-ب (۳/۵ درصد) و کلروفیل-آ+ب (۶/۲۳ درصد) در شنبلیله شد. مافی و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که تابش اشعه فرابنفش-آ باعث افزایش کلروفیل-ب و افزایش طول میانگرمه شد (۲۰). نتایج انتشاری و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که تفاوت معنی داری در میزان کلروفیل آ و ب و کلروفیل-آ+ب بین گیاهان سویای تیمار شده با پرتوی فرابنفش-آ با گیاهان شاهد وجود نداشت (۳۰).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تابش پرتوی فرابنفش-ب باعث افزایش میزان کاروتنوئید شد. در حالی که بین تیمار عدم استفاده از پرتوی فرابنفش، فرابنفش-آ و فرابنفش-آ+ب، اختلاف معنی داری از نظر میزان کاروتنوئید شنبلیله مشاهده نشد (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر محلول پاشی ترکیبات تعدیل کننده نیز نشان داد که استفاده همزمان از محلول های تعدیل کننده باعث کاهش میزان کاروتنوئید نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۳).

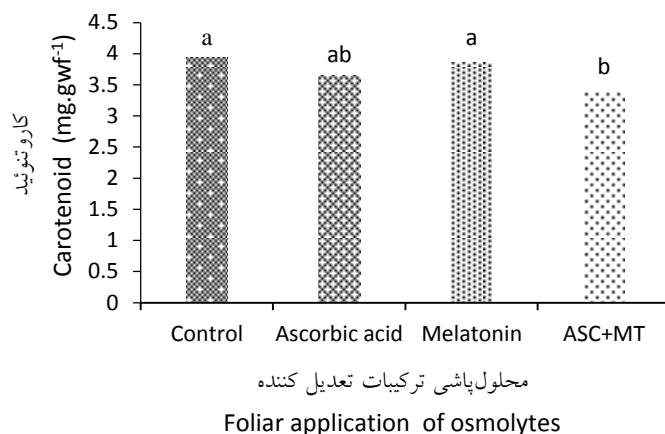
میزان کلروفیل-آ (۹/۵ درصد)، کلروفیل-ب (۱۸ درصد) و کلروفیل-آ+ب (۱۲ درصد) نیز با تیمار فرابنفش-ب در مقایسه با شاهد کاهش یافت. برخلاف این، تراکم روزنه ای (۸/۷ درصد) و شاخص روزنه ای (۱۱/۴ درصد) تحت تأثیر پرتوی فرابنفش-ب افزایش پیدا کرد.

بررسی سلول های روزنه ای نشان داد که پرتوی فرابنفش-ب باعث افزایش اندازه، تراکم و شاخص روزنه ای شنبلیله شد که با نتایج حسینی سرقینی و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت (۷). مطالعه آثار پرتوی فرابنفش در سویا، تغییرات ریخت شناسی القا شده توسط پرتوی فرابنفش را ناشی از تغییر در توسعه و گسترش اپیدرم و تغییرات ایجاد شده در تراکم روزنه ای را نتیجه تغییر در تبادلات گازی و افزایش کارایی آبی برگ نشان داد. تیمار پرتوی فرابنفش-ب نیز در گیاه بامیه (*Hibiscus esculentus* L.) باعث افزایش ۲۷/۲۷ درصد تراکم روزنه ای نسبت به شاهد شد (۳۸). مطالعه اثر پرتوی فرابنفش-ب بر *Malus hupehensis* نشان داد تراکم و عرض روزنه ای به ترتیب ۲۶/۵ درصد و ۱۰/۳ درصد افزایش، اما طول روزنه ۳۷/۲ درصد کاهش یافته است (۲۵).



شکل ۲- اثر پرتو فرابنفش بر میزان کاروتنوئید در گیاه شنبلیله.

Fig. 2. Effect of UV radiation on carotenoid of fenugreek.



شکل ۳- اثر محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده بر میزان کاروتنوئید در گیاه شنبلیله.
Fig. 3. Effect of foliar application of osmolytes on carotenoid of fenugreek.

آسکوربیک و ملاتونین به‌دست آمد. بالاترین عرض سلول محافظ روزنه مربوط به تیمار پرتوی فرابنفش-ب و محلول‌پاشی ملاتونین و کم‌ترین آن مربوط به تیمار پرتوی فرابنفش-ب و کاربرد هم‌زمان ملاتونین و اسید آسکوربیک بود. بیش‌ترین میزان کلروفیل-آ، کلروفیل-ب و کلروفیل-آ+ب در تیمار پرتوی فرابنفش-آ و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و کم‌ترین آن در تیمار پرتوی فرابنفش-ب و محلول‌پاشی ملاتونین به‌دست آمد (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پرتوی فرابنفش و محلول‌پاشی ترکیبات تعدیل‌کننده بر خصوصیات روزنه‌ای و رنگدانه‌های شنبلیله نشان داد که بیش‌ترین شاخص روزنه‌ای و تراکم روزنه‌ای در تیمار پرتوی فرابنفش-ب و محلول‌پاشی هم‌زمان ملاتونین و اسید آسکوربیک و کم‌ترین آن‌ها در تیمار عدم تابش پرتوی فرابنفش و عدم محلول‌پاشی مشاهده شد. بیش‌ترین طول سلول محافظ روزنه در تیمار پرتوی فرابنفش-ب و محلول‌پاشی ملاتونین و کم‌ترین آن در تیمار پرتوی فرابنفش-ب و محلول‌پاشی هم‌زمان اسید

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پرتوی فرابنفش و محلول پاشی ترکیبات تعدیل کننده بر خصوصیات روزنه‌ای و رنگدانه‌های گیاه شبلیله.

Table 5. Mean comparison of the interaction effects of UV radiation and foliar application of osmolite on stomatal characteristics and pigments of fenugreek.

UV radiation	ترکیبات تعدیل کننده Osmolytes	تراکم روزنه‌ای Stomatal density (mm ²)	شاخص روزنه‌ای Stomatal index (%)	عرض سلول محافظ روزنه Stomatal guard cell width (μm)	طول سلول محافظ روزنه Stomatal guard cell length (μm)
Control	Control	58.33 ^f	17.77 ^g	39.81 ^{efg}	51.41 ^{ab}
	Ascorbic acid	69.16 ^{def}	18.68 ^{fg}	43.34 ^{bcd}	52.82 ^a
	Melatonin	84.33 ^{abc}	20.34 ^{cdefg}	39.15 ^{fgh}	52.28 ^{ab}
	ASC+MT	75.33 ^{cde}	20.46 ^{bcdefg}	44.89 ^{abc}	49.62 ^{bc}
UVA	Control	62.500 ^{ef}	20.91 ^{bcdef}	46.28 ^{ab}	53.36 ^a
	Ascorbic acid	76.00 ^{cde}	21.15 ^{bcdef}	43.35 ^{bcd}	52.54 ^{ab}
	Melatonin	71.67 ^{cdef}	20.89 ^{bcdef}	40.83 ^{defg}	52.20 ^{ab}
	ASC+MT	68.67 ^{def}	19.16 ^{efg}	38.22 ^{gh}	51.37 ^{ab}
UVB	Control	76.33 ^{cde}	22.75 ^{abc}	45.82 ^{ab}	53.59 ^a
	Ascorbic acid	73.00 ^{cdef}	19.21 ^{efg}	41.91 ^{cdefg}	52.77 ^a
	Melatonin	67.83 ^{def}	19.72 ^{defg}	48.03 ^a	52.07 ^{ab}
	ASC+MT	95.00 ^a	24.38 ^a	35.95 ^h	45.12 ^d
UVA+UVB	Control	78.00 ^{bcd}	21.81 ^{abcde}	42.63 ^{bcdef}	52.19 ^{ab}
	Ascorbic acid	94.00 ^a	23.25 ^{ab}	41.09 ^{defg}	50.66 ^{abc}
	Melatonin	91.17 ^{ab}	21.21 ^{bcdef}	43.94 ^{bcd}	48.32 ^c
	ASC+MT	86.00 ^{abc}	22.23 ^{abcd}	40.51 ^{defg}	53.11 ^a

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

ادامه جدول ۵-

Continue Table 5.

UV radiation	ترکیبات تعدیل کننده Osmolytes	کلروفیل آ Chlorophyll a	کلروفیل ب Chlorophyll b	کلروفیل آ و ب Chlorophyll a+b
Control	Control	8.23 ^{efg}	4.08 ^{cde}	12.31 ^{efg}
	Ascorbic acid	11.64 ^{ab}	5.12 ^a	16.76 ^{ab}
	Melatonin	9.91 ^{bcd}	4.39 ^{bc}	14.20 ^{de}
	ASC+MT	10.51 ^{abcd}	4.34 ^{bcd}	14.86 ^{bcd}
UVA	Control	9.65 ^{cdef}	4.33 ^{bcd}	13.98 ^{def}
	Ascorbic acid	12.10 ^a	5.27 ^a	17.38 ^a
	Melatonin	11.11 ^{abc}	5.15 ^a	16.26 ^{abc}
	ASC+MT	10.47 ^{abcd}	3.82 ^{cdef}	14.29 ^{cde}
UVB	Control	8.50 ^{ef}	3.64 ^{def}	12.14 ^{fg}
	Ascorbic acid	11.14 ^{abc}	4.86 ^{ab}	16.01 ^{abc}
	Melatonin	6.53 ^g	2.67 ^g	9.19 ^h
	ASC+MT	10.31 ^{bcd}	3.54 ^{ef}	13.85 ^{def}
UVA+UVB	Control	7.99 ^{fg}	2.70 ^g	10.69 ^{gh}
	Ascorbic acid	8.47 ^{ef}	4.03 ^{cdef}	12.50 ^{efg}
	Melatonin	8.86 ^{def}	3.35 ^{fg}	12.21 ^{fg}
	ASC+MT	8.78 ^{def}	3.77 ^{cdef}	12.55 ^{efg}

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

تیمار هم‌زمان فرابنفش آ+ب که گیاهان در معرض تنش قرار دارند و اغلب صفات مربوط به زی‌توده گیاهی کاهش نشان داده‌اند، کاربرد هم‌زمان ملاتونین و اسید آسکوربیک اثرات بیش‌تری بر صفات مورد مطالعه داشت و بهترین نتایج در این تیمار مشاهده گردید.

هنگامی که نهال‌ها گونه‌ای سیب (*Malus hupehensis*) به‌وسیله ملاتونین پیش تیمار شده و سپس در معرض تنش شوری قرار گرفتند، طول شاخه‌ها، تعداد برگ‌ها، میزان کلروفیل و نشت یونی آن‌ها در مقایسه با گیاهان شاهد کم‌تر تحت‌تأثیر قرار گرفت (۶). ملاتونین برون‌زا باعث افزایش تراکم روزنه‌ای در *Malus hupehensis* شد، اما در طول و عرض روزنه بعد از ۲۰ روز قرار گرفتن در معرض پرتوی فرابنفش-ب اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (۲۵).

در اثر تنش اکسیداتیو انواع اکسیژن فعال تولید شده و افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها، خسارت به غشای سلولی، تخریب رنگدانه‌ها و کاهش غلظت کلروفیل آ و ب اتفاق می‌افتد. تأثیر اسید آسکوربیک بر فتوسنتز ممکن است به‌علت تأثیر بر پایداری و حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد. کاربرد خارجی اسید آسکوربیک به حفظ رنگدانه‌های کلروفیل و کاهش تأثیر تنش خشکی کمک می‌کند. از آنجایی‌که اسید آسکوربیک از فعالیت آنتی‌اکسیدانی جهت پاکسازی انواع اکسیژن فعال برخوردار است بنابراین می‌تواند از تخریب کلروفیل و دیگر ترکیبات مهم سلولی جلوگیری کند (۴۰). نتایج این پژوهش با نتایج دولت‌آبادیان (۲۰۰۹) مبنی بر این‌که محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک موجب افزایش کلروفیل-آ و کلروفیل-ب در گیاه ذرت شد، مطابقت دارد (۴۱).

کاربرد اسید آسکوربیک از طریق افزایش هدایت روزنه‌ای تأثیر مخرب تنش خشکی را تعدیل کرده و

مطالعه حاضر نشان داد که تیمار هم‌زمان ملاتونین و آسکوربیک باعث افزایش تراکم روزنه‌ای (۱۱/۱۸ درصد)، کلروفیل-آ (۶۵/۱۶ درصد)، کلروفیل-ب (۶/۴ درصد) و کلروفیل آ+ب (۱۱/۱۳ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد شد. با بررسی نتایج می‌توان دید که در تیمار عدم کاربرد فرابنفش و تیمار فرابنفش-آ که گیاهان در معرض تنش قرار ندارند، کاربرد ملاتونین و اسید آسکوربیک به‌صورت مجزا اثرات بهتری بر صفات مورد مطالعه داشتند و نسبت به تیمار کاربرد هم‌زمان این دو ترکیب نتایج بهتری مشاهده گردید. در شرایط عدم تیمار فرابنفش و تیمار فرابنفش-آ، محلول‌پاشی اسید آسکوربیک اثرات بهتری بر صفات مورد مطالعه بر جا گذاشت و بیش‌ترین میزان کلروفیل، کاروتنوئید، شاخص روزنه و تراکم روزنه را به خود اختصاص داد. بنابراین اثر هم‌افزایی این دو ترکیب در تعدیل اثرات تنش بر شنبلیله قابل‌توجه بود.

در سال‌های اخیر، تعدادی از مطالعات نقش دوگانه ملاتونین در گیاهان را به عنوان محافظ در برابر تنش‌های غیر زنده و زنده و تنظیم‌کننده رشد (تحریک‌کننده رشدونمو) تأیید کرده‌اند (۳۹). مطالعه حاضر نشان داد که تیمار هم‌زمان ملاتونین و آسکوربیک باعث افزایش وزن تر برگ (۷/۱۶ درصد)، وزن تر (۳۳ درصد) و خشک (۶۹/۱۵ درصد) اندام هوایی، طول دم‌برگ (۵/۸ درصد)، عرض برگچه (۳۰/۴ درصد)، تعداد شاخه جانبی (۳۰/۸ درصد)، ارتفاع بوته (۳/۸۳ درصد)، قطر طوقه (۰۶/۵ درصد)، در مقایسه با تیمار شاهد شد. در شرایط عدم تیمار فرابنفش و تیمار فرابنفش-آ، محلول‌پاشی اسید آسکوربیک اثرات بهتری بر صفات مورد مطالعه بر جا گذاشت و بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، طول و عرض برگچه را به خود اختصاص داد. بر خلاف این در تیمار فرابنفش-ب و

شنبلیله شد. بر خلاف این، پرتوی فرابنفش-آ باعث بهبود عملکرد و صفات ظاهری (وزن تر برگ، قطر طوقه، طول دمبرگ، طول و عرض برگچه، ارتفاع و عرض بوته، وزن تر اندام هوایی و وزن خشک اندام هوایی) گردید. علاوه بر این مشاهده شد که محلول پاشی ملاتونین و اسید آسکوربیک باعث کاهش آسیب های ظاهری و شاخص های رشدی ناشی از تیمار پرتوی فرابنفش-ب شد. در شرایط عدم تیمار فرابنفش و تیمار فرابنفش-آ (شرایط عدم تنش)، محلول پاشی اسید آسکوربیک اثرات بهتری بر صفات مورد مطالعه شبلیله داشت. اما در تیمار فرابنفش-ب و تیمار همزمان فرابنفش-آ+ب (شرایط تنش+ا)، کاربرد همزمان ملاتونین و اسید آسکوربیک اثرات بیش تری بر صفات مورد مطالعه نشان داد و بهترین نتایج در این تیمار مشاهده گردید. بنابراین می توان گفت که اثر هم افزایی این دو ترکیب در تعدیل اثرات تنش بر شبلیله قابل توجه بود.

این موضوع می تواند ناشی از نقش آنتی اکسیدانی اسید آسکوربیک از طریق خنثی کردن اکسیدان های مضر باشد. کاربرد اسید آسکوربیک موجب افزایش کاروتنوئیدها می گردد (۴۲). این ماده محلول در آب است و در محافظت از کاروتنوئیدها و توکوفرول نقش مهمی ایفا می کند (۴۳). به نظر می رسد تأثیر اسید آسکوربیک در افزایش کاروتنوئیدها در این پژوهش به همین دلیل باشد. تیمار اسید آسکوربیک موجب افزایش برخی صفات رویشی گیاه شبلیله شد.

نتیجه گیری کلی

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که صفات ظاهری و خصوصیات روزنه ای گیاه شبلیله در مقابل پرتو فرابنفش تغییر یافت که احتمالاً نوعی سازوکار محافظتی برای کاهش آسیب های ناشی از تابش فرابنفش هستند. به طور کلی تابش فرابنفش-ب و تابش همزمان فرابنفش-آ و ب منجر به کاهش رشد و نمو

منابع

1. Khan, T., Mazid, M. and Mohammad, F. 2011. A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. *J. Agrobiol.* 28: 2. 97-111.
2. Ranjbar, A. and Musavi, S.A. 2018. The effects of Enhanced Ultraviolet-B Radiation and Heavy Metal Cadmium on Some Physiological Parameters of Lettuce (*Lactuca sativa*). *J. Plant Res.* 30: 4. 853-861. (In Persian)
3. McKenzie, R.L., Aucamp, P.J., Bais, A.F., Björn, L.O., Ilyas, M. and Madronich, S. 2011. Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. *Photochem. Photobiol. Sci.* 10: 2. 182-198.
4. Marino, B., Hernandez-Ruiz, A. and Hernandez-Ruiz, J. 2015. Functions of melatonin in plants: a review. *J. Pineal Res.* 59: 133-150.
5. Xalxo, R. and Keshavkant, S. 2019. Melatonin, glutathione and thiourea attenuates lead and acid rain-induced deleterious responses by regulating gene expression of antioxidants in *Trigonella foenum graecum* L., *Chemosphere.*
6. Malik, S., Ashraf, M., Arshad, M. and Malik, T.A. 2015. Effect of ascorbic acid application on physiology of wheat under drought stress. *Pak. J. Biol. Agric. Sci.* 52: 209-217.
7. Hosseini Sarghein, S., Carapetian, J. and Khara, J. 2012. Effects of uv-radiation on some physiological parameters in *capsicum longum* L. *J. Plant Prod.* 34: 3. 27-40.
8. Hasan, M.K., Ahammed, G.J., Yin, L., Shi, K., Xia, X., Zhou, Y., Yu, J. and Zhou, J. 2015. Melatonin mitigates cadmium phytotoxicity through modulation of phytochelatins biosynthesis, vacuolar sequestration, and antioxidant potential in *Solanum lycopersicum* L. *Front. Plant Sci.* 6: 601.

9. Qian, M., Rosenqvist, E., Flygare, N. M., Kalbina, I., Teng, Y., Jansen, M.A.K. and Strid, A. 2020. UV-A light induces a robust and dwarfed phenotype in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) without affecting fruit yield. *Sci. Hort.* 263: 109-110.
10. Kumari, R. and Agrawal, S.B. 2010. Supplemental UV-B induced changes in leaf morphology, physiology, and secondary metabolites of an Indian aromatic plant *Cymbopogon citratus* (D.C.) Staph under natural field conditions. *Int. Journal Environ. Stud.* 67: 655-675.
11. Debnath, B., Hussain, M., Irshad, M., Mitra, S., Min, L., Liu, S. and Qiu, D. 2018. Exogenous melatonin mitigates acid rain stress to tomato plants through modulation of leaf ultrastructure, photosynthesis and antioxidant potential. *Mol.* 23: 2. 388.
12. Farooq, M., Shankar, U., Ray, R.S., Agrawal, N., Verma, K. and Hans, R. K. 2005. Morphological and metabolic alterations in duckweed *Spirodela polyrhiza* on long term low level chronic exposure. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 62: 408-414.
13. Hagihosseini, N., Hosseini Sargein, S. and Jamei, R. 2016. The study of interactive effects of UV-B Radiation and drought stress on some physiological traits of two cultivar of gourd (*Cucurbita pepo* L.). *Iran. J. Plant Physiol. Biochem.* 1: 2. 16-26.
14. Srinivasan, K. 2006. Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*): A review of health beneficial physiological effects. *Food Rev. Inter.* 22: 203-224.
15. Wei, Z., Li, C., Gao, T., Zhang, Z., Liang, B., Lv, Z., Zou, Y. and Ma, F. 2019. Melatonin increases the performance of *Malus hupehensis* after UV-B exposure. *Plant Physiol. Biol.*
16. Osman, E.A.M., El-Galad, M.A., Khatab, K.A. and El-Sherif, M.A.B. 2014. Effect of compost rates and foliar application of ascorbic acid on yield and nutritional status of sunflower plants irrigated with saline water. *Global J. Sci. Res.* 2: 6. 193-200.
17. Ahmad, P., Jaleel, C.A., Salem, M.A., Nabi, G. and Sharma S. 2010. Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Crit. Rev. Biotechnol.* 30: 3. 161-175.
18. Sarikhani, H. 2014. Effect of UV-A Radiation on Growth and Some Physiological Properties of Peppermint (*Mentha piperita*). *Plant Prod. Technol.* 5: 2. 35-44.
19. Piri, E., Babaeian, M., Tavassoli, A. and Esmaeilian, Y. 2011. Effects of UV irradiation on plants. *Afr. J. Microbiol. Res.* 5: 1710-1716.
20. Maffei, M., Canova, D., Bertera, C.M. and Scannerini, S. 1999. UV-A effects on photomorphogenesis and essential-oil composition in *Mentha piperita*. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* 52: 105-110.
21. Krizek, D.T., Mirecki, R.M. and Britz, S.J. 1997. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation of growth of cucumber. *Physiol. Plant.* 100: 886-893.
22. Gong, X., Shi, S., Dou, F., Song, Y. and Ma, F. 2017. Exogenous melatonin alleviates alkaline stress in *Malus hupehensis* rehd. by regulating the biosynthesis of polyamines. *Mol.* 22: 9. 1542.
23. Shayganfar, A., Azizi, M. and Rasouli, M. 2018. Various strategies elicited and modulated by elevated UV-B radiation and protectant compounds in *Thymus* species: Differences in response over treatments, acclimation and interaction. *Ind. Crops Prod.* 113: 298-307.
24. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In *methods in enzymology*, Elsevier, pp. 350-382.
25. Verdaguer, D., Jansen, M.A., Llorens, L., Morales, L.O. and Neugart, S. 2017. UV-A radiation effects on higher plants: Exploring the known unknown. *Plant Sci.* 255: 72-81.
26. Deckmyn, G. and Impnes, I. 1988. Effects of solar UV-B irradiation on vegetative and generative growth of *Bromus catharticus*. *Environ. Exp. Bot.* 40: 179-185.

27. Turk, H., Erdal, S., Genisel, M., Atici, O., Demi, Y. and Yanmis, D. 2014. The regulatory effect of melatonin on physiological, biochemical and molecular parameters in cold-stressed wheat seedlings. *Plant Growth Regul.* 74: 139-152.
28. Bernal, M., Verdaguer, D., Badosa, J., Abadía, A., Llusia, J., Penuelas, J., Nunez-Olivera, E. and Llorens, L. 2015. Effects of enhanced UV radiation and water availability on performance, biomass production and photoprotective mechanisms of *Laurus nobilis* seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 109: 264-275.
29. Agrawal, S.B., Rathore, D. and Singh, A. 2004. Effect of supplemental ultraviolet-B and mineral nutrients on growth, biomass allocation and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Trop. Ecol.* 45: 315-325.
30. Enteshari, Sh., Torkzadeh, M., Manouchehr Kalantari, Kh. and Ghorbani, M.L. 2005. The effect of different bands of ultraviolet radiation on pigments content in *Glycine max* L. Iran. *J. Biol.* 18: 1. 77-84. (In Persian)
31. Hopkins, L., Bond, M.A. and Tobin, A.K. 2002. Ultraviolet-B radiation reduces the rates of cell division and elongation in the primary leaf of wheat (*Triticum aestivum* L. cv Maris Huntsman). *Plant, Cell Environ.* 25: 617-624.
32. Mehrafarin, A., Naghdibad, H., Noormohammadi, G., Zand, E., Rezazadeh, S. and Qaderi, A. 2011. Effects of environmental factors and methanol on germination and emergence of Persian Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Afr. J. Agric. Res.* 6: 19. 4631-4641.
33. Liang, B.W., Ma, C.Q., Zhang, Z.J., Wei, Z.W., Gao, T.T., Zhao, Q., Ma, F.W. and Li, C. 2018. Long-term exogenous application of melatonin improves nutrient uptake fluxes in apple plants under moderate drought stress. *Environ. Exp. Bot.* 155: 650-661.
34. Cao, S., Shao, J., Shi, L., Xu, L., Shen, Z., Chen, W. and Yang, Z. 2018. Melatonin increases chilling tolerance in postharvest peach fruit by alleviating oxidative damage. *Sci. Rep.* 8: 1. 806.
35. Nawaz, M.A., Huang, Y., Bie, Z., Ahmed, W., Reiter, R.J., Niu, M. and Hameed, S. 2016. Melatonin: Current Status and Future Perspectives in Plant Science. *Front. Plant Sci.* 1230p.
36. Baradaran Firouzabadi, M., and Parsaeiyan, M. and Baradaran-Firouzabadi, M. 2017. Agronomic and physiological response of *Nigella sativa* L. to ascorbate and methanol foliar application in water deficit stress. *Plant Ecophysiol.* 8: 30. 13-27. (In Persian)
37. Arab, S., Baradaran Firouzabadi, M. and Asghari, H. 2016. The effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside foliar application on photosynthetic pigments and some traits of spring safflower under water deficit stress. *J. Plant Prod.* 38: 4. 93-104. (In Persian)
38. Khiriya, K.D. and Singh, B.P. 2003. Effect of Phosphorus and Farmyard Manure on Yield, Yield Attributes and Nitrogen, Phosphorus and Potassium Uptake of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Indian J. Agron.* 48: 62-65.
39. Arnao, M.B. and Hernandez-Ruiz, J. 2007. Melatonin promotes adventitious and lateral root regeneration in etiolated hypocotyls of *Lupinus albus* L. *J. Pineal Res.* 42: 147-152.
40. Khalid Hussein, Z. and Qader Khursheed, M. 2014. Effect of foliar application of ascorbic acid on growth, yield components and some chemical constituents of wheat under water stress conditions. *Jordan J. Agric. Sci.* 10: 1-15.
41. Dolatabadian, A., Modares Sanavy, A.M. and Asilan, K. 2009. Effect of ascorbic acid foliar application on yield, yield component and several morphological traits of grain corn under water deficit stress conditions. *Not. Sci. Biol.* 2: 45-50.

42. Amin, A., Rashad, E.S.M. and Gharib, F. 2008. Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 2: 252-261.
43. Hong, S.W. and Vierling, E. 2000. Mutants of *Arabidopsis thaliana* defective in the acquisition of tolerance to high temperature stress. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 97: 8. 4392-4397.