Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 40, No. 1, Page 1-17 (2024)

DOI:10.22092/ijmapr.2023.362068.3311

Effects of photoperiod and abscisic acid hormone on *Cannabis sativa* L. morphological and chemical characteristics

Shamila Yadollahizadeh[1], Farzin Abdollahi[2]*, Alireza Yavari[3] and Leila Jafari[3]

1- Ph.D. student, Horticulture Science Department, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
2*- Corresponding author, Horticulture Science Department, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
E-mail: fabdollahi@hormozgan.ac.ir
3- Horticulture Science Department, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Received: April 2023 Revised: July 2023 Accepted: July 2023

Abstract

Background and objectives: Light is one of the environmental factors influencing plant growth and development. Nowadays, LED lamps are light sources that researchers focus on and are recommended for plant production. In recent years, agricultural experts have focused on plant growth regulators to improve the quality and stability of the cultivation system. Biological elicitors induce secondary metabolites and hypersensitive responses by activating defense mechanisms. The phytohormone abscisic acid transmits messages under living and non-living stress conditions.

Methodology: The current research was carried out in 2021 in the greenhouse of Shahid Fozveh Biological Research Center as factorial in a completely randomized design in 5 replications. For this purpose, the effect of experimental factors, including four concentrations of abscisic acid (0, 5, 10, and 20 mg/liter) and five different day lengths (16, 14, 12, 10, and 8 hours of light) on the growth characteristics and content of photosynthetic pigments of the cannabis plant (*Cannabis sativa* L.) was evaluated. For each light level, five rows were considered, and each row contained four pots (a total of 20 pots for each level). Based on the results of the preliminary experiment, above each set of 20 pots, 4 LED lamps with 9 watts power and 90 lumens radiation intensity were placed and connected to a timer (with time intervals of 16, 12, 14, 10, and 8 hours). Before the flowering phase, the whole plants were sprayed with zero, 5, 10, and 20 milligrams per liter of abscisic acid solutions. The spraying was repeated three times at 24-hour intervals. Following spraying, plant leaves were collected to evaluate morphological traits and pigment levels.

Results: The highest plant height, stem diameter, leaf number, root length, fresh and dry weight of roots, fresh and dry weight of aerial parts, and fresh and dry weight of leaves were measured under the 14-hour light duration, while the lowest values of these traits were observed under the 16-hour light duration. Further, the maximum chlorophyll a, b, total, and carotenoid contents were obtained with a 16-hour light duration without abscisic acid hormone. However, the highest anthocyanin content was observed with a 16-hour light duration and 10 and 20 ppm abscisic acid hormone treatments. Furthermore, the highest total phenols content was obtained under a 16-hour light duration with the abscisic acid treatment at 20 ppm.

Conclusion: Given the importance and widespread use of medicinal plants in human life, investigating the relationship between environmental conditions (including light) and plant hormones (such as abscisic acid) and the production and accumulation of secondary metabolites in these plants can be beneficial. According to these results, LED light with 14 and 16-hour light durations is recommended to improve cannabis plant growth characteristics and photosynthetic pigment content. However, under these conditions, abscisic acid appears necessary. Overall, this study showed that if natural light is limited in enclosed environments such as greenhouses, it is

Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

possible to improve the quality and quantity of medicinal plants, including the cannabis plant, with supplementary artificial light from LED lamps.

Keywords: Anthocyanin, carotenoid, artificial light, stem diameter, growth characteristics.

اثر مدت زمان روشنایی و هورمون اسید آبسیزیک بر خصوصیات مورفولوژیکی و رنگدانه‌های گیاه شاهدانه (*Cannabis sativa* L.)

شمیلا یدالهی‌زاده[۱]، فرزین عبدالهی[۲*]، علیرضا یاوری[۳] و لیلا جعفری[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم باغبانی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، پست الکترونیک: fabdollahi@hormozgan.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: نور از عوامل محیطی تأثیرگذار بر رشد و توسعه گیاهان است. امروزه لامپ‌های LED منابع نوری هستند که پژوهش‌ها بر روی آنها متمرکز شده است و در تولیدات گیاهی پیشنهاد می‌شوند. در سال‌های اخیر توجه متخصصان کشاورزی به تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای بهبود کیفیت و پایداری سیستم کشت معطوف شده است. الیسیتورهای زیستی از طریق فعال کردن سازوکارهای دفاعی باعث القای تشکیل متابولیت‌های ثانوی و پاسخ‌های فوق حساسیتی می‌شوند. فیتوهورمون آبسیزیک اسید، عامل انتقال پیام در شرایط تنش‌های زنده و غیر زنده است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در گلخانه مرکز تحقیقات بیولوژیک شهید فزوه اصفهان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۵ تکرار بر روی گیاه شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) انجام شد. بدین منظور تأثیر فاکتورهای آزمایش شامل چهار غلظت اسید آبسیزیک (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و پنج طول روز (۱۶، ۱۴، ۱۲، ۱۰ و ۸ ساعت روشنایی) بر خصوصیات رشدی، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و فنل گیاه شاهدانه ارزیابی گردید. برای هر سطح نوری ۲۰ گلدان در ۵ ردیف ۴تایی در نظر گرفته شد و بالای سر هر ۲۰ گلدان به‌صورت جداگانه با توجه به نتایج آزمایش مقدماتی ۴ عدد لامپ LED ۹ وات با قدرت تابش ۹۰ لومن متصل به زمان‌سنج به فاصله زمانی ۱۶، ۱۴، ۱۲، ۱۰ و ۸ ساعت قرار داده شد. قبل از ورود گیاه به مرحله گلدهی، گیاهان با محلول‌های صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر اسید آبسیزیک به‌طور کامل محلول‌پاشی شدند. محلول‌پاشی سه بار و به فاصله ۲۴ ساعت تکرار شد. سپس یک روز پس از محلول‌پاشی، برگ‌های گیاهان برای بررسی صفات مورفولوژیکی و میزان رنگدانه‌ها جمع‌آوری گردید.

نتایج: بیشترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک برگ در مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت حاصل شد، در حالی که کمترین میزان این صفات در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت مشاهده گردید. همچنین بیشترین میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت بدون کاربرد هورمون اسید آبسیزیک حاصل شد. در حالی که بیشترین میزان آنتوسیانین در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت تحت تیمار هورمون اسید آبسیزیک با غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ppm مشاهده گردید. همچنین، بیشترین میزان فنل کل در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت تحت تیمار اسید آبسیزیک با غلظت ۲۰ppm حاصل شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به اهمیت و کاربرد فراوان گیاهان دارویی در زندگی امروزی بشر، بررسی وجود ارتباط بین شرایط محیطی (ازجمله نور) و هورمون‌های گیاهی (مانند اسید آبسیزیک) با تولید و تجمع متابولیت‌های ثانویه در این گیاهان می‌تواند بسیار مفید باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از نور LED با مدت زمان‌های روشنایی ۱۴ و ۱۶ ساعت برای افزایش خصوصیات رشدی و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه شاهدانه توصیه می‌گردد. در حالی که در این شرایط کاربرد اسید آبسیزیک برای افزایش تولید آنتوسیانین و فنل کل، ضروری به نظر می‌رسد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که اگر از نظر نور طبیعی در محیط‌های

بسته مانند گلخانه محدودیت ایجاد شود، می‌توان با نور مصنوعی تکمیلی حاصل از لامپ‌های LED ویژگی‌های کمّی و کیفی گیاهان دارویی ازجمله شاهدانه را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، کاروتنوئید، نور مصنوعی، قطر ساقه، خصوصیات رشدی.

مقدمه

گیاهان منبع بسیاری از مواد شیمیایی هستند که به‌عنوان ترکیب دارویی مصرف می‌شوند. فرآورده‌های حاصل از متابولیسم ثانویه گیاهی جزو گرانبهاترین ترکیبات شیمیایی گیاهی هستند. شناخت گیاهان دارویی و استفاده از آنها از قدیم مورد توجه محققان کشور ما بوده است (Arvin & Firouzeh, 2022). شاهدانه با نام علمی *Cannabis sativa* L.، گیاهی علفی، یک‌ساله و متعلق به خانواده Cannabinaceae است و با نام‌های Marijuana، Marihuana، Hemp، Indian hemp و Industrial hemp در اروپا شناخته می‌شود (Movahedi *et al*., 2016). این گیاه معمولاً دو پایه بوده و گل‌های نر و ماده این گیاه، بر روی پایه‌های جداگانه قرار دارند و عموماً گل‌های نر کمی زودتر از گل‌های ماده تشکیل و ظاهر می‌شوند (Romanov *et al*., 2022). بذر شاهدانه غنی از پروتئین و روغن می‌باشد و از دیرباز همواره مورد استفاده بشر قرار می‌گرفته است. بذرهای شاهدانه از مغذی‌ترین دانه‌های گیاهی است و حاوی ۲۵–۲۰٪ پروتئین، ۳۰–۲۰٪ کربوهیدرات، ۳۵–۲۵٪ روغن و ۱۵–۱۰٪ فیبر نامحلول و مقادیر مطلوب فسفر، پتاسیم، منیزیم، گوگرد، کلسیم، آهن، روی و انواع ویتامین‌های A، C و E بوده و همچنین دارای ترکیبات معدنی، بتا–کاروتن و آنتی‌اکسیدان است (Tang *et al*., 2016). گیاه شاهدانه برای انسان از جنبه‌های مختلف مورد توجه است. شاهدانه یکی از بهترین منابع فیبر طبیعی است. روغن دانه شاهدانه دارای اسیدهای چرب امگا ۳ و ۶ است و می‌تواند در تغذیه انسان جایگزین روغن ماهی شود (Deng *et al*., 2022).

نور از عوامل محیطی تأثیرگذار بر رشد و توسعه گیاهان است و نحوه اثر آن از سه جنبه طول مدت حضور، شدت و ترکیبات طیفی مورد توجه قرار گرفته است (Zhang *et al*., 2020). گیاهان از نظر نیاز به طول مدت نور برای گلدهی، در سه گروه روز بلند، روز کوتاه و روز خنثی قرار می‌گیرند. شاهدانه گیاهی روز کوتاه است. طول دوره نوری (فتوپریود)، مورد نیاز برای گیاه شاهدانه بین ۹ تا ۱۴ ساعت گزارش شده است. تنوع ژنوتیپ‌های شاهدانه از نظر طول دوره نوری به گونه‌های مختلف و شرایط محیطی بستگی دارد (Asadi *et al*., 2019). شدت نور با واحدهایی به نام لوکس اندازه‌گیری می‌شود. لوکس برابر با یک لومن در هر مترمربع است. البته، لومن اندازه‌گیری نور مرئی است که توسط چشم انسان درک می‌شود. در گیاهان سایه‌پسند بیشترین نور برای فتوسنتز ۵۰۰۰–۴۰۰۰ لوکس و کمترین آن ۵۰۰ لوکس است. کمترین میزان نور برای فتوسنتز گیاهان آفتاب‌پسند ۱۵۰۰–۱۰۰۰ لوکس است. گیاه شاهدانه به نور حساس است و در گروه گیاهان سایه‌پسند قرار می‌گیرد (Movahedi *et al*., 2016).

کیفیت نور از نظر رنگ و طول موج حتی می‌تواند ساختار مورفولوژیکی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین تغییر کیفیت نور به‌ویژه از طریق استفاده از منابع نور مصنوعی در محیط‌های کنترل شده برای تغییر کمّیت و کیفیت محصولات کشاورزی امکان‌پذیر شده است. این در حالی است که با وجود دیودهای ساطع‌کننده نور (LED)، راه برای انجام تحقیقات اختصاصی در مورد طیف‌های مختلف نور باز شده است. امروزه لامپ‌های LED منابع نوری هستند که پژوهش‌ها بر روی آنها متمرکز شده است و در تولیدات گیاهی پیشنهاد می‌شوند (Hung *et al*., 2016). در همین زمینه، پژوهشی در ارتباط با سیستم‌های نوین نوردهی مانند استفاده از دیودهای ساطع‌کننده نور که طیف مناسب نور را فراهم می‌کنند، انجام شده است (Johnson *et al*., 2020).

از لامپ‌های LED برای تولید نور مصنوعی به‌عنوان جایگزین لامپ‌های سدیمی و هالوژنی در کشت‌های گلخانه‌ای و محیط‌های بسته استفاده می‌شود. از نظر کمّیت، هر LED ۱۴ وات نوری برابر یک لامپ متال هالید ۱۵۰ وات تولید می‌کند. مقایسه قیمت، نشان می‌دهد که بکارگیری LED می‌تواند تا ۹۰٪ صرفه‌جویی اقتصادی هم در هزینه اولیه خرید و هم در میزان مصرف انرژی داشته باشد. LED می‌تواند در فاصله ۷/۵ تا ۱۵ سانتی‌متری گیاه قرار گیرد، بدون آنکه تابش نور آن در گیاه ایجاد سوختگی کند. این مزایا باعث شده که استفاده از این منابع نوری در محیط‌های کنترل شده مانند اتاقک رشد و گلخانه به‌عنوان منبع نور بررسی شود (Kong *et al*., 2018).

پاسخ‌های گیاهان به محرک‌ها نتیجه تعدادی تغییرات متوالی تنظیم‌شده در میزان هورمون‌ها و گونه‌های فعال واکنشی (ROS) است. فیتوهورمون آبسیزیک اسید، عامل انتقال پیام در شرایط تنش‌های زنده و غیرزنده است (Wong *et al*., 2022). الیسیتورهای زیستی از طریق فعال کردن سازوکارهای دفاعی باعث القای تشکیل متابولیت‌های ثانوی و پاسخ‌های فوق حساسیتی می‌شوند (Ali *et al*., 2020). تشخیص مولکولی و برهم‌کنش بین الیسیتور و گیرنده‌های گیاه فرایند پیچیده‌ای است که برای انتقال پیام الیسیتور ضروریست. به‌دنبال درک الیسیتور پاسخ‌های دفاعی سریع در سلول گیاهی مانند افزایش جریانات یونی از عرض غشای پلاسمایی، تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر، فعال‌سازی ژن‌های مربوط به دفاع، تغییرات ساختاری در دیواره سلولی و سنتز فیتوآلکسین‌ها اتفاق می‌افتد (Chong *et al*., 2019).

اسید آبسیزیک از مسیر زیست‌ساخت کاروتنوئید در گیاهان به وجود می‌آید و بسیاری از جنبه‌های رشد و نموی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به‌طور معمول با برهم‌کنش متضادی با اکسین، سیتوکینین، جیبرلین، اتیلن و برازینواستروئیدها عمل می‌کند (Hadi, 2014). هورمون ABA به‌عنوان یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی معرفی شده است که در فرایندهای مختلف رشد و نمو گیاه ازجمله بلوغ جنین، نمو و جوانه‌زنی دانه، تقسیم و طویل شدن سلولی، باز و بسته شدن روزنه‌ها، نمو ریشه و پاسخ به تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری، سرما، تاریکی، عوامل بیماری‌زا، حمله پاتوژن و اشعه ماوراءبنفش نقش دارد (Takahashi *et al*., 2020). اسید آبسیزیک با تأثیر بر جذب و توزیع یون‌ها در بافت‌های گیاهی، تحریک سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و سنتز اسمولیت‌های سازگار، در القای مقاومت به تنش خشکی در گیاهان نقش دارد. از سویی، هورمون ABA می‌تواند بر متابولیت‌های ثانویه‌ای مانند آنتوسیانین و فلاونوئیدها اثر گذاشته و میزان آنها را در گیاهان ازجمله گیاه شاهدانه افزایش دهد. همچنین این هورمون باعث کاهش متابولیت‌های اولیه مانند کلروفیل و کاروتنوئیدها در گیاهان می‌شود (Panahyan Kivi *et al*., 2020).

بدین منظور در این پژوهش به بررسی تأثیر هورمون اسید آبسیزیک و طول مدت روشنایی بر شاخص‌های مورفولوژیکی و رنگدانه گیاه دارویی شاهدانه پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در گلخانه مرکز تحقیقات بیولوژیک شهید فزوه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۵ تکرار به مدت ۹ ماه انجام گردید. فاکتورهای آزمایش شامل چهار غلظت اسید آبسیزیک (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و پنج طول روز (۱۶، ۱۴، ۱۲، ۱۰ و ۸ ساعت روشنایی) بود. در تاریخ دوم بهمن‌ماه سال ۱۴۰۰ کشت گیاه شاهدانه در گلخانه انجام شد. بدین منظور ۱۰۰ گلدان با قطر دهانه ۴۰ سانتی‌متر در ۵ سطح نوری ۱۶، ۱۴، ۱۲، ۱۰ و ۸ ساعت روشنایی آماده شد. برای هر سطح نوری ۲۰ گلدان در ۵ ردیف ۴تایی در نظر گرفته شد و بالای سر هر ۲۰ گلدان به‌صورت جداگانه با توجه به نتایج آزمایش مقدماتی ۴ عدد لامپ LED ۹ وات با قدرت تابش ۹۰ لومن متصل به تایمر به فاصله زمانی ۱۶، ۱۴، ۱۲، ۱۰ و ۸ ساعت تنظیم گردید. شروع بازه زمانی ۶ صبح در نظر گرفته شد. محیط کشت مورد استفاده

ترکیبی از خاک زراعی و پیت‌ماس به نسبت ۱ به ۳ بود. داخل هر گلدان ۵ بذر گیاه شاهدانه کشت شد. آبیاری به‌طور منظم بعد از کشت انجام گردید. بعد از گذشت ۳ تا ۴ روز بذرها جوانه زدند. گلدان‌ها از همان ابتدای کشت زیر سیستم نوری تنظیم شده قرار گرفتند. در این مدت دمای گلخانه روی ۲۵ تا۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی روی ۳۰٪ تنظیم شد. بعد از حدود یک ماه که گیاهان کمی رشد کردند عمل تنک کردن انجام شد و در هر گلدان ۲ گیاه حفظ شد. در هفته‌های اول برای رشد ریشه از کود NPK برند فوسامکو به غلظت یک در هزار در بازه زمانی ۱۵ روز یک‌بار استفاده شد. در هفته‌های بعد برای رشد اندام هوایی از کود کامل برند الیت قرمز ۳۶:۱۲:۱۲ در بازه زمانی دو هفته یک‌بار به نسبت یک در هزار استفاده گردید. در طول این مدت سه مرتبه به فاصله ۴۵ روز ارتفاع گیاهان اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس در انتهای کار و قبل از ورود به مرحله گلدهی، گیاهان با محلول‌های ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر اسید آبسیزیک به‌طور کامل محلول‌پاشی شدند، به‌طوری که قطرات محلول از برگ‌ها شروع به چکیدن کرد. این تیمار سه بار و به فاصله ۲۴ ساعت تکرار شد. سپس یک روز پس از تیماردهی، برگ‌های گیاهان برای بررسی صفات مورفولوژیکی و رنگدانه‌های موجود در گیاه شاهدانه جمع‌آوری و ارزیابی شدند.

روش‌های اندازه‌گیری صفات

بدین منظور در پایان پژوهش، ارتفاع بوته گیاهان تحت تیمار توسط متر اندازه‌گیری و ثبت شد. تعداد برگ گیاهان شاهدانه، شمارش و ثبت گردید. طول ریشه گیاهان شاهدانه توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد. قطر ساقه گیاهان شاهدانه در تیمارهای مورد بررسی توسط کولیس دیجیتال ارزیابی گردید. به‌منظور ارزیابی وزن تر و خشک ریشه، اندام هوایی و برگ گیاه، در پایان پژوهش از هر پلات آزمایشی، ۲ گیاه به‌طور تصادفی برداشت و توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ وزن تر آنها اندازه‌گیری و ثبت شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه، اندام هوایی و برگ گیاه، هر یک از قسمت‌ها به‌صورت جداگانه در سایه و دمای محیط خشک گردید و بعد وزن خشک آنها توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد.

ارزیابی میزان رنگدانه‌های کلروفیل a و b در بافت برگ، طبق روش Smith و Benitez (۱۹۵۵) انجام شد. به‌طوری که، ۰/۵ گرم از بافت برگ گیاهان شاهدانه در هاون چینی با استفاده از نیتروژن مایع کاملاً ساییده شد. سپس به آن ۹ میلی‌لیتر هگزان و ۱۵ میلی‌لیتر مخلوط متانول: استون (۱:۲) افزوده شد. فالکون‌های حاوی مخلوط بدست آمده درون جعبه یخ به مدت ۴ ساعت روی شیکر با سرعت ۲۰۰G در محیطی تاریک به منظور عصاره‌گیری قرار داده شد. سپس ۲۵ میلی‌لیتر محلول کلرید سدیم ۱ مولار به آن اضافه و کاملاً مخلوط گردید. مخلوط حاصل سه بخش تشکیل داده که بخش رویی به‌عنوان عصاره برای ارزیابی کلروفیل‌ها استفاده شد. در نهایت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۴، ۶۶۲ و ۴۷۰ نانومتر به‌ترتیب جذب کلروفیل b، کلروفیل a و کاروتنوئید هر یک از محلول‌ها قرائت شد. سپس میزان رنگدانه‌های مورد نظر طبق رابطه‌های Wellburn (۱۹۹۴) محاسبه و میزان هر یک از رنگدانه‌ها طبق رابطه‌های زیر براساس میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر بیان و کلیه اندازه‌گیری‌ها در ۳ تکرار انجام شد.

$$Chl_a = 10.05\ A_{662} - 0.766\ A_{a644}$$
$$Chl_b = 16.37\ A_{644} - 3.14\ A_{662}$$
$$C_{x+c} = [(1000\ A_{470} - 1.28\ C_a - 56.7\ C_b) / 205)$$

که در این رابطه، C_{x+c}، C_a و C_b به‌ترتیب میزان کاروتنوئید (گزانتوفیل و کاروتن)، کلروفیل a و b می‌باشد.

برای ارزیابی آنتوسیانین مقدار یک گرم از برگ تازه را با نیتروژن مایع پودر کرده و بعد به هر یک مقدار ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی شده با هیدروکلریک اسید ۱٪ اضافه کرده و در تاریکی با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری گردید. بعد از سانتریفوژ، میزان جذب محلول رویی

در طول موج ۵۵۰ نانومتر ثبت شد (Wagner, 1979).

میزان فنل کل با استفاده از محلول یک نرمال فولین سیوکالتیو تعیین شد. بدین منظور، ۱۹/۲ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۲۹ میکرولیتر معرف فولین یک نرمال مخلوط و بعد از ۳ دقیقه ۱۹۲ میکرولیتر از مخلوط سود ۲٪ و کربنات ۰/۴٪ به آن اضافه و درون هر یک از چاهک‌های پلیت ۹۶ خانه‌ای ریخته و ترکیب گردید. بعد از گذشت مدت زمان ۱ ساعت، میزان جذب در طول موج ۷۵۰ نانومتر با استفاده از دستگاه Multiscan plate reader در محیطی تاریک و در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. میزان فنل کل هر نمونه با توجه به نمودار استاندارد برحسب کلروژنیک اسید براساس میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر بیان گردید (McDonald *et al*., 2001).

جامعه آماری و تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

در نهایت داده‌های حاصل از پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 تجزیه واریانس شده و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمار مدت زمان روشنایی بر ارتفاع بوته گیاه شاهدانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، اثر تیمار مدت زمان روشنایی بر ارتفاع بوته گیاه شاهدانه در سطح ۵٪ آزمون دانکن معنی‌دار گردید. به‌طوری که بیشترین ارتفاع بوته در مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت با میزان ۱۸۶/۸ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۱۲۲/۰ سانتی‌متر مشاهده شد. مقایسه بین طول مدت روشنایی اعمال شده نشان داد که مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت توانسته است، ارتفاع گیاه را به میزان تقریباً ۱/۳ برابر نسبت به تیمار ۸ ساعت روشنایی (کمترین طول مدت روشنایی) و ۱/۵ برابر نسبت به تیمار ۱۶ ساعت (بالاترین طول مدت روشنایی) افزایش دهد (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر مدت زمان روشنایی بر برخی خصوصیات رویشی گیاه شاهدانه

Table 1. ANOVA of lighting duration effects on some *Cannabis sativa* vegetative characteristics

S.O.V.	d.f.	M.S.			
		Plant height	Stem diameter	Number of leaves	Root length
Lighting duration	4	3523**	1.70**	2658**	913.2**
Experimentalerror	20	37.64	0.01	10.04	14.30
C.V. (%)		3.86	7.83	5.90	6.00

**: significant at 1% probability level

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر مدت زمان روشنایی بر برخی خصوصیات رویشی گیاه شاهدانه

Table 2. Means comparison of lighting duration effects on some *Cannabis sativa* vegetative characteristics

Lighting duration (hours)	Plant height (cm)	Stem diameter (cm)	Number of leaves	Root length (cm)
8	142.0^{d}	1.17^{c}	29.80^{d}	52.60^{d}
10	167.0^{c}	1.79^{b}	58.60^{c}	62.20^{c}
12	177.0^{b}	1.88^{b}	67.80^{b}	68.60^{b}
14	186.8^{a}	2.15^{a}	81.80^{a}	83.00^{a}
16	122.0^{e}	0.72^{d}	30.40^{d}	49.20^{d}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمار مدت زمان روشنایی بر قطر ساقه گیاه شاهدانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین قطر ساقه در مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت با میزان ۲/۱۵ سانتی‌متر و کمترین قطر ساقه در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۰/۷۲ سانتی‌متر مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت توانسته است، قطر ساقه را به میزان تقریباً ۱/۸ برابر نسبت به تیمار ۸ ساعت روشنایی (کمترین طول مدت روشنایی) و ۳ برابر نسبت به تیمار ۱۶ ساعت (بالاترین طول مدت روشنایی) افزایش دهد (جدول ۲).

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمار مدت زمان روشنایی بر تعداد برگ گیاه شاهدانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). به‌طوری که بیشترین تعداد برگ در مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت با میزان ۸۱/۸۰ عدد مشاهده شد. همچنین، کمترین تعداد برگ در مدت زمان‌های روشنایی ۱۶ و ۸ ساعت به‌ترتیب با میزان ۳۰/۴۰ و ۲۹/۸۰ عدد حاصل شد. از سوی دیگر، مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت توانست تعداد برگ را به میزان تقریباً ۲/۷ برابر نسبت به تیمار ۸ ساعت روشنایی (کمترین طول مدت روشنایی) و تیمار ۱۶ ساعت (بالاترین طول مدت روشنایی) افزایش دهد (جدول ۲).

طول ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حکایت از معنی‌دار شدن اثر تیمار مدت زمان روشنایی بر طول ریشه گیاه شاهدانه در سطح احتمال ۱٪ داشت (جدول ۱). طبق نتایج، بیشترین طول ریشه در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت با میزان ۸۳ سانتی‌متر مشاهده شد. همچنین، کمترین طول ریشه در تیمارهای مدت زمان روشنایی ۱۶ و ۸ ساعت به‌ترتیب با میزان ۴۹/۲۰ و ۵۲/۶۰ سانتی‌متر حاصل شد. نتایج جدول ۲ نشان داد که مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت باعث افزایش طول ریشه به میزان تقریباً ۱/۶ برابر در مقایسه با تیمار ۸ ساعت روشنایی (کمترین طول مدت روشنایی) و ۱/۷ برابر نسبت به تیمار ۱۶ ساعت (بالاترین طول مدت روشنایی) شد.

وزن تر و خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حکایت از معنی‌دار شدن اثر مدت زمان روشنایی بر وزن تر و خشک ریشه گیاه شاهدانه در سطح احتمال ۱٪ داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین وزن تر ریشه در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت با میزان ۱۴۴/۴ گرم در بوته مشاهده شد. کمترین وزن تر ریشه نیز در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۵۵/۴۰ گرم در بوته حاصل شد (جدول ۴). همچنین، بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت با میزان ۳۳/۸۰ گرم در بوته مشاهده شد. کمترین وزن خشک ریشه نیز در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۱۰ گرم در بوته حاصل شد. اگرچه بین مدت زمان‌های روشنایی ۱۰ و ۱۲ ساعت بر وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. از سوی دیگر، مقایسه بین طول مدت روشنایی اعمال شده نشان داد که مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت، وزن تر و خشک ریشه را به‌ترتیب به میزان تقریباً ۱/۸ و ۲/۳ برابر در مقایسه با تیمار ۸ ساعت روشنایی (کمترین طول مدت روشنایی) و ۲/۶ و ۳/۴ برابر نسبت به تیمار ۱۶ ساعت (بالاترین طول مدت روشنایی) افزایش دهد (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مدت زمان روشنایی بر وزن تر و خشک اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاه شاهدانه

Table 3. ANOVA of lighting duration effects on fresh and dry weight of underground and aerial parts of *Cannabis sativa*

S.O.V.	d.f.	M.S.					
		Root fresh weight	Root dry weight	Total Aerial parts fresh weight	Total Aerial parts dry weight	Leaves fresh weight	Leaves dry weight
Lighting duration	4	5568**	413.3**	21875**	1720**	5046**	764.1**
Experimental error	20	46.40	8.74	26.38	2.98	22.96	5.26
C.V. (%)		7.12	14.64	4.68	6.40	8.61	13.21

**: significant at 1% probability level

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر مدت زمان روشنایی بر وزن تر و خشک اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاه شاهدانه

Table 4. Means comparison of lighting duration effects on fresh and dry weight of underground and aerial parts of *Cannabis sativa*

Lighting duration (hours)	Root fresh weight (g.plant^{-1})	Root dry weight (g.plant^{-1})	Total aerial parts fresh weight (g.plant^{-1})	Total aerial parts dry weight (g.plant^{-1})	Leaves fresh weight (g.plant^{-1})	Leaves dry weight (g.plant^{-1})
8	80.2^{d}	14.4^{c}	42.0^{d}	9.6^{d}	23.6^{d}	6.0^{d}
10	89.2^{c}	19.8^{b}	143.2^{c}	32.4^{c}	68.2^{c}	17.8^{c}
12	109.0^{b}	23.0^{b}	156.8^{b}	39.4^{b}	75.0^{b}	23.6^{b}
14	144.4^{a}	33.8^{a}	172.2^{a}	47.8^{a}	91.0^{a}	34.4^{a}
16	55.4^{e}	10.0^{d}	34.4^{e}	5.6^{e}	20.6^{d}	5.0^{d}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر مدت زمان روشنایی بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه شاهدانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد، بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت با میزان ۱۷۲/۲۰ گرم در بوته حاصل گردید. کمترین وزن تر اندام هوایی نیز در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۳۴/۴۰ گرم در بوته حاصل شد (جدول ۴). بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت با میزان ۴۷/۸۰ گرم در بوته حاصل گردید. کمترین وزن تر اندام هوایی نیز در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۵/۶۰ گرم در بوته حاصل شد. با مقایسه تأثیر طول مدت روشنایی مشاهده شد که مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت توانسته است وزن تر و خشک اندام هوایی را به‌ترتیب به میزان تقریباً ۴ و ۵ برابر نسبت به تیمار ۸ ساعت روشنایی(کمترین طول مدت روشنایی) و ۵ و ۸/۵ برابر نسبت به تیمار ۱۶ ساعت (بالاترین طول مدت روشنایی) افزایش دهد (جدول ۴).

وزن تر و خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر مدت زمان روشنایی بر وزن تر و خشک برگ گیاه شاهدانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین وزن تر برگ در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت با میزان ۹۱ گرم در بوته حاصل گردید. کمترین وزن تر برگ نیز در تیمار مدت زمان‌های روشنایی ۱۶ و ۸ ساعت به‌ترتیب با میزان ۲۰/۶۰ و ۲۳/۶۰ گرم در بوته حاصل شد (جدول ۴). بیشترین وزن خشک برگ در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت با میزان ۳۴/۴۰ گرم در بوته حاصل گردید. کمترین وزن خشک برگ نیز در تیمار مدت زمان‌های روشنایی ۱۶ و ۸ ساعت به‌ترتیب با میزان ۵ و ۶ گرم در بوته مشاهده شد. از سوی دیگر، مقایسه بین طول مدت روشنایی‌های

اعمال شده، نشان داد که روشنایی به مدت ۱۴ ساعت توانسته است وزن تر و خشک برگ را به‌ترتیب به میزان تقریباً ۳/۸ و ۵/۷ برابر در مقایسه با ۸ ساعت روشنایی (کمترین طول مدت روشنایی) و ۴/۵ و ۶/۸ برابر در مقایسه با ۱۶ ساعت (بالاترین طول مدت روشنایی) افزایش دهد (جدول ۴).

کلروفیل a، b، کل، کاروتنوئید و آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر مدت زمان روشنایی و هورمون در سطح احتمال ۱٪ بر میزان کلروفیل a، b، کل، کاروتنوئید و آنتوسیانین گیاه شاهدانه معنی‌دار شد، در حالی که اثر متقابل مدت زمان روشنایی×هورمون در سطح احتمال ۵٪ بر این صفات معنی‌دار نشد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین میزان کلروفیل a در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۷/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد. کمترین میزان کلروفیل a نیز تحت تیمار مدت زمان روشنایی ۸ ساعت با میزان ۶/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نشان داده شد (جدول ۷). همچنین، بیشترین میزان کلروفیل b در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۳/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد. کمترین میزان کلروفیل b نیز تحت تیمار مدت زمان روشنایی ۸ ساعت با میزان ۲/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نشان داده شد (جدول ۷). بیشترین میزان کلروفیل کل در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۱۰/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد. کمترین میزان کلروفیل کل نیز تحت تیمار مدت زمان روشنایی ۸ ساعت با میزان ۹/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نشان داده شد (جدول ۷). با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان کاروتنوئید در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۲/۵۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد. کمترین میزان نیز تحت تیمار مدت زمان روشنایی ۸ ساعت با میزان ۲/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نشان داده شد (جدول ۷). بیشترین میزان آنتوسیانین در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با میزان ۹/۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد. کمترین میزان آنتوسیانین نیز تحت تیمار مدت زمان روشنایی ۸ ساعت با میزان ۸/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نشان داده شد (جدول ۷).

طبق نتایج مقایسه میانگین‌های اثر هورمون، بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار شاهد با ۷/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین میزان در غلظت ۲۰ppm اسید آبسیزیک با میزان ۷/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد (جدول ۸). بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار شاهد با ۳/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین میزان در غلظت ۲۰ppm با میزان ۳/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل گردید (جدول ۸). همچنین تحت تیمار شاهد، بیشترین میزان کلروفیل کل با ۱۰/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد. کمترین میزان نیز در غلظت ۲۰ppm اسید آبسیزیک با میزان ۱۰/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده گردید (جدول ۸). بیشترین میزان کاروتنوئید در گروه شاهد با میزان ۲/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین میزان در غلظت ۲۰ppm اسید آبسیزیک با میزان ۲/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد (جدول ۸). بیشترین میزان آنتوسیانین نیز در غلظت‌های ۱۰ppm و ۲۰ppm اسید آبسیزیک با میزان ۹/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر حاصل شد. اگرچه کمترین میزان در تیمار شاهد با میزان ۹/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده گردید (جدول ۸).

فنل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حکایت از معنی‌دار شدن اثر مدت زمان روشنایی، هورمون و اثر متقابل مدت زمان روشنایی×هورمون در سطح احتمال ۱٪ بر میزان فنل گیاه شاهدانه داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد، بیشترین میزان فنل در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت تحت تیمار هورمون اسید آبسیزیک با غلظت ۲۰ppm با میزان ۱/۷۱ میکرومول بر گرم وزن تر مشاهده شد. کمترین میزان فنل نیز تحت تیمار مدت زمان روشنایی ۸ ساعت بدون کاربرد هورمون اسید آبسیزیک و غلظت ۵ppm اسید آبسیزیک با میزان ۱ میکرومول بر گرم وزن تر نشان داده شد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر مدت زمان روشنایی و هورمون اسید آبسیزیک بر برخی خصوصیات شیمیایی گیاه شاهدانه

Table 5. ANOVA of lighting duration and ABA effects on some *Cannabis sativa* chemical characteristics

S.O.V.	d.f.	M.S.					
		Chlorophyll *a*	Chlorophyll *b*	Total chlorophyll	Carotenoids	Anthocyanins	Phenols
Lighting duration (L)	4	1.21**	1.21**	1.20**	0.46**	3.28**	0.45**
ABA	3	0.24**	0.25**	0.26**	0.26**	0.13**	0.14**
ABA × L	12	0.0001^{ns}	0.0002^{ns}	0.0001^{ns}	0.00004^{ns}	0.00005^{ns}	0.003**
Experimental error	40	0.0001	0.0002	0.0002	0.00006	0.00006	0.00007
C.V. (%)		0.16	0.47	0.14	0.36	0.09	0.65

n.s. and **: non-significant and significant at 1% probability level, respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر مدت زمان روشنایی و هورمون اسید آبسیزیک بر میزان فنل موجود در گیاه شاهدانه

Table 6. Means comparison of lighting duration and ABA effects on *Cannabis sativa* phenols content

Lighting duration (hours)	ABA (ppm)	Phenols (μmol.g^{-1} FW)
8	0	1.00^{h}
	5	1.00^{h}
	10	1.10^{g}
	20	1.21^{f}
10	0	1.11^{g}
	5	1.20^{f}
	10	1.20^{f}
	20	1.31^{e}
12	0	1.11^{g}
	5	1.20^{f}
	10	1.20^{f}
	20	1.31^{e}
14	0	1.21^{f}
	5	1.31^{e}
	10	1.41^{d}
	20	1.51^{c}
16	0	1.51^{c}
	5	1.50^{c}
	10	1.61^{b}
	20	1.71^{a}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر مدت زمان روشنایی بر برخی خصوصیات شیمیایی گیاه شاهدانه

Table 7. Means comparison of lighting duration effects on some *Cannabis sativa* chemical characteristics

Lighting duration (hours)	Chlorophyll *a* (mg.g^{-1} FW)	Chlorophyll *b* (mg.g^{-1} FW)	Total chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	Carotenoids (mg.g^{-1} FW)	Anthocyanins (mg.g^{-1} FW)	Phenols (μmol.g^{-1} FW)
8	6.86^{c}	2.86^{c}	9.86^{c}	2.06^{c}	8.53^{e}	1.08^{d}
10	7.36^{b}	3.36^{b}	10.36^{b}	2.16^{b}	8.83^{d}	1.21^{c}
12	7.36^{b}	3.36^{b}	10.36^{b}	2.16^{b}	9.23^{c}	1.21^{c}
14	7.36^{b}	3.36^{b}	10.36^{b}	2.16^{b}	9.53^{b}	1.36^{b}
16	7.76^{a}	3.76^{a}	10.76^{a}	2.56^{a}	9.83^{a}	1.58^{a}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر هورمون اسید آبسیزیک بر برخی خصوصیات شیمیایی گیاه شاهدانه

Table 8. Means comparison of ABA effects on some *Cannabis sativa* chemical characteristics

ABA (ppm)	Chlorophyll *a* (mg.g^{-1} FW)	Chlorophyll *b* (mg.g^{-1} FW)	Total chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	Carotenoids (mg.g^{-1} FW)	Anthocyanins (mg.g^{-1} FW)	Phenols (μmol.g^{-1} FW)
0	7.49^{a}	3.49^{a}	10.49^{a}	2.37^{a}	9.07^{c}	1.19^{d}
5	7.39^{b}	3.38^{b}	10.38^{b}	2.27^{b}	9.17^{b}	1.24^{c}
10	7.29^{c}	3.29^{c}	10.29^{c}	2.17^{c}	9.26^{a}	1.31^{b}
20	7.19^{d}	3.19^{d}	10.19^{d}	2.06^{d}	9.26^{a}	1.41^{a}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

بحث

طبق نتایج حاصل از این پژوهش، بیشترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه، اندام هوایی و برگ، در مدت زمان روشنایی ۱۴ ساعت حاصل شد. یکی از مهمترین شرایط محیطی که بر رشد گیاه و چگونگی آن تأثیر می‌گذارد، شرایط نوری است (Zhang *et al*., 2020). در این بررسی، نتایج حکایت از این دارد که در مدت زمان‌های مناسب نوری ارتفاع گیاهان افزایش می‌یابد، زیرا در این شرایط تقسیم میتوز به دلیل فراوانی اکسین، سریع‌تر انجام می‌شود. همچنین، به نظر می‌رسد که افزایش ارتفاع گیاه می‌تواند با برهم‌کنش‌های مختلف و همزمان گیرنده‌های نور آبی/ قرمز و فیتوکروم‌ها با توجه به گونه افزایش یافته یا ممانعت شود (Kong *et al*., 2018). گیاهان نور را از طریق گیرنده‌هایی مانند فیتوکروم‌ها، کریپتوکروم‌ها و فتوتروپین‌ها دریافت می‌کنند. حداکثر فعالیت فیتوکروم‌ها در نور قرمز و قرمز دور و کریپتوکروم‌ها در نور آبی است و هر دوی این گروه از گیرنده‌های نوری بر اعمالی مانند رشد رویشی و تحریک گلدهی گیاهان نقش دارند (Craig & Runkle, 2016 ؛Fan *et al*., 2013).

از سویی، تحت تأثیر نور و به‌دنبال آن افزایش جذب دی‌اکسید کربن توسط گیاه، فتوسنتز به دلیل افزایش میزان باز شدن روزنه‌ها و تثبیت بیشتر دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد و تعداد برگ گیاهان برای استفاده از شرایط بوجود آمده افزایش می‌یابد (Rabara *et al*., 2017). در این پژوهش مدت زمان‌های روشنایی ۱۶ و ۸ ساعت سبب کاهش تعداد برگ گیاه شاهدانه گردید. به نظر می‌رسد که با کاهش دریافت نور و عدم تخریب نوری اکسین، میانگره‌ها نازک‌تر شوند. به‌طوری که گیاهان در شرایط نور ضعیف‌تر دارای قطر ساقه کمتر، استحکام کمتر، ضعیف‌تر و حساس‌تر می‌شوند (Seif *et al*., 2021). در این پژوهش با افزایش بیشتر مدت زمان روشنایی به ۱۶ ساعت، وزن تر و خشک اندام هوایی و برگ کاهش یافت که این موضوع ممکن است به دلیل اثر منفی شدت نور زیاد در فتوسنتز و رشد رویشی گیاه باشد.

تحت تأثیر کاربرد نور مکمل، قطر ساقه ممکن است افزایش یابد، یا بدون تغییر باقی بماند. این نتایج نشان می‌دهد که واکنش مورفولوژی ساقه به نور تکمیلی بستگی به ژنوتیپ و سایر فاکتورهای محیطی دارد (Fang *et al*., 2020). افزایش نور حد قابل تحمل گیاه، سبب افزایش فتوسنتز و تجمع آسیمیلات‌ها و افزایش رشد و نمو می‌گردد که ازجمله شاخص‌های رشد میزان وزن خشک اندام‌ها می‌باشد (Hernandez & Kubota, 2015). از سویی، در ساختار ساقه، تعدادی دستجات آوندی و سلول‌های اسکلرانشیمی وجود دارد که با آرایش و تراکم خاص قرار دارند که به نظر می‌رسد با نقل و انتقال مواد در این آوندها و انباشت در سلول‌های اسکلرانشیمی باعث افزایش قطر ساقه می‌شود. نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نعناع پرورش یافته در اتاقک‌های رشد مجهز به نور قرمز-آبی LED نشان داده است که نور LED در مقایسه با شرایط کشت در زمین افزایش اسانس نعناع، فتوسنتز گیاه و وزن تر را به‌همراه داشته است (Sabzalian *et al*., 2014). در بررسی دیگری که روی رشد و مورفولوژی گیاه کاهو انجام شد، وزن تر

شاخساره تحت تیمار نور قرمز بعد از نور آبی به‌طور قابل توجهی بیشتر از زمانی بود که گیاه تحت نور ترکیبی قرار گرفت (Jishi *et al*., 2016). در پژوهشی دیگر، مشاهده شد که در گیاهان داوودی پرورش یافته تحت نورهای مختلف، برگ‌های جوانی که در معرض شب‌شکنی قرار داشتند، ارتفاع گیاه را به‌تدریج بلندتر کردند (Park & Jeong, 2020).

طبق نتایج حاصل از این پژوهش بیشترین میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت بدون کاربرد هورمون اسید آبسیزیک حاصل شد. در حالی که بیشترین میزان آنتوسیانین در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت تحت تیمار هورمون اسید آبسیزیک با غلظت‌های ۱۰ppm و ۲۰ppm مشاهده گردید. نتایج برخی تحقیقات نشان داده‌اند که تغییر میزان نور از طریق تغییر در آرایش کلروپلاست درون سلول‌های گیاهی مقادیر کلروفیل برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری که علاوه بر اینکه در شرایط مدت زمان روشنایی کم میزان کلروفیل کاهش یافته و سبزینگی برگ‌ها نیز کمتر می‌شود، کلروپلاست‌ها هم عمود بر زاویه تابش و موازی دیواره سلولی قرار می‌گیرند که این نیز باعث تغییر در مقادیر کلروفیل می‌شود (Zha *et al*., 2019).

سنتز کاروتنوئیدها، اگرچه ارتباط مستقیمی با تابش نور خورشید ندارد اما برای تأمین انرژی لازم برای سنتز آنها به‌طور غیرمستقیم، به نور نیاز دارد (De Keyser *et al*., 2019). همان طور که در این پژوهش ملاحظه شد، فاکتورهای محیطی به‌ویژه نور، بر کمّیت و کیفیت رنگیزه‌ها مؤثرند. Frąszczak و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده‌اند که توزیع طیفی در استفاده از منابع نوری LED برای هر گونه گیاهی می‌تواند مختص آن گونه باشد و باید برای هر گونه به‌طور جداگانه شرایط بهینه‌اش را یافت.

براساس نتایج، میزان آنتوسیانین گیاه شاهدانه تحت تیمار ۱۶ ساعت روشنایی و غلظت‌های ۱۰ppm و ۲۰ppm اسید آبسیزیک در مقایسه با سایر تیمارها افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان داد. آنتوسیانین به‌عنوان گیرنده نور درونی مؤثر و تکمیل‌کننده اختلاف جذب کلروفیل در بخش سبز- نارنجی در طیف قابل مشاهده است (Babakhanzadeh-Sirjani *et al*., 2013). تغییر در کمّیت و کیفیت نور بر متابولیسم ترکیب‌های فنولی مانند آنتوسیانین‌ها مؤثر است. همان‌طور که قبلاً گزارش شده است بیوسنتز آنتوسیانین توسط شدت نور و طول موج آن تنظیم می‌شود (Cominelli *et al*., 2008). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌طور قابل توجهی فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز را بهبود می‌بخشد و سبب افزایش تولید آنتوسیانین می‌شود (Ghasemzadeh *et al*., 2016). Hung و Kao (۲۰۰۴)، گزارش کردند که اسید آبسیزیک، فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز را به‌عنوان یک آنزیم کلیدی در بیوسنتز آنتوسیانین افزایش می‌دهد. نتایج حاصل از این پژوهش مبنی بر افزایش میزان آنتوسیانین تحت تأثیر نور مصنوعی با نتایج پژوهش Rezaei و همکاران (۲۰۲۳) روی گل رز رقم سامورایی مطابقت دارد. در پژوهشی مشاهده شد کاهوهای تیمار شده با اسید آبسیزیک، محتوای آنتوسیانین بالایی نسبت به گیاهان شاهد داشتند (Li *et al*., 2010).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، بیشترین میزان فنول در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت تحت تیمار هورمون اسید آبسیزیک با غلظت ۲۰ppm حاصل شد. ترکیبات فنولی در تمام اندام‌های گیاهی حضور دارند، اما توزیع آنها در بافت و سلول‌های گیاه یکنواخت نیست (Brglez Mojzer *et al*., 2016). تابش نور LED می‌تواند باعث بیان برخی ژن‌های ویژه شود و سنتز مواد معینی را باعث گردد. ازجمله این مواد، می‌توان فنل‌ها را نام برد (Behdad *et al*., 2020). از سویی، اسید آبسیزیک هم می‌تواند در بیان ژن‌های دخیل در بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه گیاه ازجمله فنول (Barickman *et al*., 2014) و نیز در تغییر محتوای آنها (Wang *et al*., 2015) نقش مهمی ایفاء کند. طبق مطالعات برخی از محققان، اسید آبسیزیک می‌تواند با بهبود بیان ژن‌های آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و نیز تیروزین آمینوترانسفراز یعنی آنزیم‌های کلیدی مسیر

بیوسنتزی ترکیبات فنلی، محتوای فنل کل گیاه را افزایش دهد (Shen *et al*., 2016). گزارش‌های زیادی حکایت از افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاهان تیمار شده با اسید آبسیزیک دارد (Wang *et al*., 2011). مطالعات نشان داده است که اسید آبسیزیک می‌تواند تجمع ترکیبات فنلی را در تحقیقات مربوط به کشت سلول و بافت و نیز در شرایط مزرعه‌ای افزایش دهد (Murcia *et al*., 2017). کاربرد اسید آبسیزیک در مرحله گلدهی، موجب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید در گیاه چای جاوه (*Orthosiphon stamineus*) شد (Ibrahim & Jaafar, 2013).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت کیفیت نور تأثیر زیادی بر رشد و توسعه گیاهان دارد و ابزاری قوی برای کنترل فرایندهای مختلف است. نتایج این پژوهش نشان داد که منبع نور مصنوعی اثرهای متفاوتی را در گونه‌های مختلف گیاهی ایجاد می‌کند و لامپ‌های LED میتوانند جایگزین نور طبیعی در اتاقک‌های رشد و در مناطقی که نور کافی نیست، به‌ویژه در مرحله تولید نشاء شوند. نتایج این پژوهش حکایت از این دارد که نور می‌تواند در رشد و نمو گیاه به دلیل افزایش در محتوای کلروفیل و فعالیت‌های فتوسنتزی سلول‌های برگی، تأثیرگذار باشد. در این پژوهش استفاده از نور LED تأثیر مثبت معنی‌داری بر برخی از خصوصیات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه شاهدانه مانند وزن تر و خشک اندام هوایی، زیرزمینی، برگ، قطر ساقه، ارتفاع بوته، رنگدانه‌های فتوسنتزی، آنتوسیانین و فنل نشان داد. به‌طوری که با افزایش مدت زمان روشنایی به ۱۴ ساعت خصوصیات رشدی و مورفولوژیکی گیاه شاهدانه افزایش معنی‌داری را نشان داد و نسبت به شاهد افزایش داشت. از سویی، با افزایش مدت زمان روشنایی در گیاه شاهدانه میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی افزایش یافت، به‌طوری که میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئید موجود در برگ‌های این گیاه تحت تأثیر مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت افزایش یافتند.

از سویی، کاربرد هورمون اسید آبسیزیک در غلظت‌های مختلف بر روی گیاه شاهدانه تحت تیمار با نور LED در مدت زمان‌های مختلف روشنایی نشان داد که فاکتور غلظت این هورمون بسیار مهم و تأثیرگذار است. به‌طوری که طبق نتایج حاصل از این پژوهش بیشترین میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت بدون کاربرد هورمون اسید آبسیزیک حاصل شد. این در حالی است که بیشترین میزان آنتوسیانین در تیمار مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت تحت تیمار هورمون اسید آبسیزیک با غلظت‌های ۱۰ppm و ۲۰ppm مشاهده گردید. از سویی، بیشترین میزان فنول نیز در مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت تحت تیمار هورمون اسید آبسیزیک با غلظت ۲۰ppm حاصل شد.

با توجه به اهمیت و کاربرد فراوان متابولیت‌های ثانویه در زندگی امروزی بشر، به‌نظر می‌رسد بررسی وجود ارتباط بین شرایط محیطی با تولید و تجمع متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌تواند بسیار مفید باشد. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از نور LED با مدت زمان‌های روشنایی ۱۴ و ۱۶ ساعت برای افزایش خصوصیات رشدی، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان فنل گیاه شاهدانه توصیه می‌گردد. همچنین، اگر محدودیتی از نظر نور طبیعی در فضاهایی مانند گلخانه و ... ایجاد شود، می‌توان نور مصنوعی حاصل از لامپ‌های LED در کیفیت بهینه شده را جایگزین نور طبیعی کرد. علاوه بر آن، پرداختن به ارزش غذایی و دارویی گیاهان تحت نور مصنوعی می‌تواند از دیدگاه تجاری مهم و ارزشمند باشد.

References

- Ali, A., Pardo, J.M. and Yun, D.J., 2020. Desensitization of ABA-signaling: the swing from activation to degradation. Frontiers in Plant Science, 11: 1-7.
- Arvin P. and Firouzeh, R., 2022. Ethnobotany of medicinal plants in Razo-Jargalan district in North Khorasan province, Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(6); 873-907.
- Asadi, S., Moghadam, H., Naghdi Badi, H., Naghavi, M.R. and Salami, S.A.R., 2019. A Review on Agronomic, Phytochemical and Pharmacological Aspects of Cannabis (*Cannabis sativa* L.). Journal of Medicinal Plants, 18: 70: 1-20.

- Babakhanzadeh-Sirjani, A., Hadiyan, J., Abdosti, V. and Larijani, K., 2013. Effects of different habitats on flavonoids and anthocyanin contents of (*Echium amoenum* fisch and mey) in Eshkovart of Gilan Provice. Third National Conference on Medicinal Plants, November 20-21, Amol, Iran.
- Barickman, T.C., Kopsell, D.A. and Sams, C.E., 2014. Abscisic acid increases carotenoid and chlorophyll concentrations in leaves and fruit of two tomato genotypes. Journal of the American Society for Horticultural Science, 139: 261-266.
- Behdad, A., Mohsenzadeh, S., Azizi, M. and Moshtaghi, N., 2020. Salinity effects on physiological and phytochemical characteristics and gene expression of two *Glycyrrhiza glabra* L. populations. phytochemistry, 171: 112236.
- Brglez Mojzer, E., Knez Hrnčič, M., Škerget, M., Knez, Ž. and Bren, U., 2016. Polyphenols: extraction methods, antioxidative action, bioavailability and anticarcinogenic effects. Molecules, 21: 901-909.
- Chong, G.L., Foo, M.H., Lin, W.D. and Verslues, P.E., 2019. Highly ABA-induced 1 (HAI1)-interacting protein HIN1 and drought acclimation-enhanced splicing efficiency at intron retention sites. Proceedings of the National Academy of Sciences, 116: 22376-22385.
- Cominelli, E., Gusmaroli, G., Allegra, D., Galbiati, M., Wade, H.K., Jenkins, G.I. and Tonelli, C., 2008. Expression analysis of anthocyanin regulatory genes in response to different light qualities in *Arabidopsis thaliana*. Journal of Plant Physiology, 165: 886-894.
- Craig, D.S. and Runkle, E.S., 2016. An intermediate phytochrome photoequilibria from night-interruption lighting optimally promotes flowering of several long-day plants. Environmental and Experimental Botany, 121: 132-138.
- De Keyser, E., Dhooghe, E., Christiaens, A. and Van Labeke, M.C., 2019. LED light quality intensifies leaf pigmentation in ornamental pot plants. Scientia Horticulturae, 253: 270-275.
- Deng, C., Tang, Q., Yang, Z., Dai, Z., Cheng, C., Xu, Y., Chen, X., Zhang, X. and Su, J., 2022. Effects of iron oxide nanoparticles on phenotype and metabolite changes in hemp clones (*Cannabis sativa* L.). Frontiers of Environmental Science & Engineering, 16(134).
- Fan, X.X., Xu, Z.G., Liu, X.Y., Tang, C.M., Wang, L.W. and Han, X.L., 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. Scientia Horticulturae, 153: 50-55.
- Fang, L.Z., Ma, Z.Y., Wang, Q.B., Nian, H., Ma, Q.B., Huang, Q.L. and Mu, Y.H., 2020. Plant growth and photosynthetic characteristics of soybean seedlings under different LED lighting quality conditions. Journal of Plant Growth Regulation, 40: 6451.
- Frąszczak, B., Golcz, A., Zawirska-Wojtasiak, R. and Janowska, B., 2014. Growth rate of sweet basil and lemon balm plants grown under fluorescent lamps and LED modules. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 13: 3-13.
- Ghasemzadeh, A., Talei, D., Jaafar, H.Z.E., Juraimi, A.S., Muda-Mohamed, M.T., Puteh, A. and Halim, M.R.A., 2016. Plant-growth regulators alter phytochemical constituents and pharmaceutical quality in Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). BMC Complementary and Alternative Medicine, 16: 152-166.
- Hadi, M.R., 2014. Mechanism of Plant Hormones Action (Vol. 2). Isfahan Negar Press, Negar khane 24, 386p.
- Hernandez, R. and Kubota, C., 2015. Physiological, morphological, and energy-use efficiency comparisons of LED and HPS supplemental lighting for cucumber transplant production. HortScience, 50: 351-357.
- Hung, C.D., Hong, C.H., Kim, S.K., Lee, K.H., Park, J.Y., Nam, M.W., Choi, D.H. and Lee, H.I., 2016. LED light for in vitro and ex vitro efficient growth of economically important highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). Acta Physiologiae Plantarum, 38: 1-9.
- Hung, K.T. and Kao, C.H., 2004. Hydrogen peroxide is necessary for abscisic acid induced senescence of rice leaves. Journal of Plant Physiology, 161: 1347-1357.
- Ibrahim, M.H. and Jaafar, H.Z., 2013. Abscisic acid induced changes in production of primary and secondary metabolites, photosynthetic capacity, antioxidant capability, antioxidant enzymes and lipoxygenase inhibitory activity of *Orthosiphon stamineus* Benth. Molecules, 18: 7957-7976.
- Jishi, T., Kimura, K., Matsuda, R. and Fujiwara, K., 2016. Effects of temporally shifted irradiation of blue and red LED light on cos lettuce growth and morphology. Scientia Horticulturae, 198: 227-232.
- Johnson, R.E., Kong, Y. and Zheng, Y., 2020. Elongation growth mediated by blue light varies with light intensities and plant species: A comparison with red light in arugula and mustard seedlings. Environmental and Experimental Botany, 169: 103898.
- Kong, Y., Lleqellyn, D. and Zheng, Y., 2018. Response of growth, yield and quality of pea shoots to supplemental LED lighting during winter greenhouse

- Seif, M., Aliniaeifard, S., Arab, M., Mehrjerdi, M.Z., Shomali, A., Fanourakis, D., Li, T. and Woltering, E., 2021. Monochromatic red light during plant growth decreases the size and improves the functionality of stomata in chrysanthemum. Functional Plant Biology, 48: 515-528.
- Shen, L., Ren, J., Jin, W., Wang, R., Ni, C., Tong, M. and Yang, D., 2016. Role of NO signal in ABA-induced phenolic acids accumulation in *Salvia miltiorrhiza* hairy roots. Shengwu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Biotechnology, 32: 222-230.
- Smith, J.H.C. and Benitez, A., 1955. Chlorophylls: analysis of plant materials. 142-196. In: Paech, K., Tracey, M.V., (eds.) Modern Methods of Plant Analysis, vol. 4. Springer Publ., Berlin, 766p.
- Takahashi, Y., Zhang, J., Hsu, P.K., Ceciliato, P.H.O., Zhang, L., Dubeaux, G., Munemasa, S., Ge, C., Zhao, Y., Hauser, F. and Schroeder, J.I., 2020. MAP3Kinase-dependent SnRK2-kinase activation is required for abscisic acid signal transduction and rapid osmotic stress response. Nature Communications, 11(1): 12.
- Tang, K., Struik, P.C., Yin, X., Thouminot, C., Bjelková, M., Stramkale, V. and Amaducci, S., 2016. Comparing hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments. Industrial Crops and Products, 87: 33-44.
- Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. Plant Physiology, 64: 88-93.
- Wang, W.H., Yi, X.Q., Han, A.D., Liu, T.W., Chen, J., Wu, F.H. and Zheng, H.L., 2011. Calcium-sensing receptor regulates stomatal closure through hydrogen peroxide and nitric oxide in response to extracellular calcium in *Arabidopsis*. Journal of Experimental Botany, 63: 177-190.
- Wang, X.M., Yang, B., Ren, C.G., Wang, H.W., Wang, J.Y. and Dai, C.C., 2015. Involvement of abscisic acid and salicylic acid in signal cascade regulating bacterial endophyte-induced volatile oil biosynthesis in plantlets of *Atractylodes lancea*. Physiologia Plantarum, 153: 30-42.
- Wellburn, A.R., 1994. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal of Plant Physiology, 144: 307-313.
- Wong, A., Bi, C., Pasqualini, S. and Gehring, C., 2022. Abscisic acid (ABA) signaling: finding novel components off the beaten track. Plant Growth Regulation, 97: 585-592.

production. Canadian Journal of Plant Science, 98: 732-740.
- Li, Z., Zhao, X., Sandhu, A.K. and Gu, L., 2010. Effects of exogenous abscisic acid on yield, antioxidant capacities, and phytochemical contents of greenhouse grown lettuces. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58: 6503-6509.
- Liu, J., Yang, J., Zhang, H., Cong, L., Zhai, R., Yang, C., Wang, Z., Ma, F. and Xu, L., 2019. Melatonin inhibits ethylene synthesis via nitric oxide regulation to delay postharvest senescence in pears. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67: 2279-2288.
- McDonald, S., Prenzler, P.D., Autolovich, M. and Robards, K., 2001. Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. Food Chemistry, 73: 73-84.
- Movahedi, M., Ghasemiomran, V. and Torabi, S., 2016. In vitro callus induction and regeneration of medicinal plant *Cannabis sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 5: 758-769.
- Murcia, G., Fontana, A., Pontin, M., Baraldi, R., Bertazza, G. and Piccoli, P.N., 2017. ABA and GA3 regulate the synthesis of primary and secondary metabolites related to alleviation from biotic and abiotic stresses in grapevine. Phytochemistry, 135: 34-52.
- Panahyan Kivi, M., Alami Milani, M. and Abbasi, A., 2020. Effect of salicylic acid and abscisic acid on yield and yield components of common purslane (*Portulaca oleracea*) under water deficit. Journal of Plant Production, 3: 115-129.
- Park, Y.G. and Jeong, B.R., 2020. Both the quality and positioning of the night interruption light are important for flowering and plant extension growth. Journal of Plant Growth Regulation, 39: 583-593.
- Rabara, R.C., Behrman, G., Timbol, T. and Rushton, P.J., 2017. Effect of spectral quality of monochromatic LED lights on the growth of artichoke seedlings. Frontiers in Plant Science, 8: 1-9.
- Rezaei, S., Zarei, H., Nikbakht, A. and Sabzalian, M.R., 2023. Effect of different light sources on physiological and morphological characteristics of 'Samurai' rose. Journal of Plant Production, 29: 185-202.
- Romanov, D.V., Karlov, G.I. and Divashuk, M.G., 2022. Developing oligo probes for chromosomes identification in hemp (*Cannabis sativa* L.). Plants, 11(15): 10.3390
- Sabzalian, M.R., Zahedi, M., Agharokh, M., Sahba, M.R. and Schoefs, B., 2014. High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. Agronomy for Sustainable Development, 34: 879-886.

- Wu, H., 2021. Effect of LED light quality on the growth characteristics and nutritional quality of arugula. Master's Thesis, Northeast Agricultural University, Harbin, China.
- Zha, L., Zhang, Y. and Liu, W., 2019. Dynamic responses of ascorbate pool and metabolism in lettuce to long-term continuous light provided by red and blue LEDs. Environmental and Experimental Botany, 163: 15-23.
- Zhang, S., Ma, J., Zou, H., Zhang, L., Li, S. and Wang, Y., 2020. The combination of blue and red LED light improves growth and phenolic acid contents in *salvia miltiorrhiza* Bunge. Industrial Crops and Products, 158: 112959.