Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Investigation of the effects of LED lights on *in-vitro* regeneration and growth of yellow flag (*Iris pseudacorus*)

Mahsa Ahadzadeh[1], Younes Pourbeyrami Hir[*2], Esmaeil Chamani[3], Hassan Maleki Lajayer[4], Ali Shahi Gharalar[5], Mohammad Hasanzadeh[6]

1. M.Sc. Graduate in Ornamental Plants, Dept. of Horticultural, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: mahsa.ahadzadeh720@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticultural, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: younes_ph62@uma.ac.ir
3. Professor, Dept. of Horticultural, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: echamani@uma.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. of Horticultural, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: malekih@uma.ac.ir
5. Assistant Prof., Dept. of Horticultural, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: a.shahi@uma.ac.ir
6. Assistant Prof., Dept. of Horticultural, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: m.hasanzadeh@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 05.09.2022
Revised: 06.21.2022
Accepted: 08.06.2022

Keywords:
Blue Light,
Iris Pseudacorus,
Morphological Traits,
Red Light,
Survival Rate

ABSTRACT

Background and Objectives: *Iris Pseudacorus* is a perennial herbaceous plant with yellow flowers belonging to the *Iridaceae* family, which is used as an ornamental plant. The light changes led to different morphogenetic and photosynthetic responses in some ornamental plants. LED lights could improve the growth and physiological development of plantlets and affects the morphogenesis and secondary metabolite production of plants. The goal of the present study was to investigate the effects of the LED lights on the growth, development, physiological and morphological indices of the *Iris Pseudacorus.*

Materials and Methods: This experiment was conducted with a factorial arrangement based on a completely randomized design with two factors of light intensity (1500 and 3000 lux) and light quality 100% white (control), 100% red light, 100% blue light, 20% red + 80% blue, 40% red + 60% blue, 60% red + 40% blue and 80% red + 20% Blue} by using 4 replications The measured morphological and physiological traits were leaf number and length, leaf area, fresh weight, percentage of regeneration, Survival rate, root number and length, total phenol and flavonoid, chlorophyll a, b and total and carotenoid.

Results: Analysis of variance results showed that the interaction of different light intensities and qualities on the evaluated indices was not significant. It also indicated that the light intensity treatment had a significant effect on leaf length, leaf area, total phenol content and total flavonoids content ($P<0.01$) and fresh weight, survival percentage, regeneration percentage, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids ($P<0.05$). Also, light quality treatment significantly affected total phenols ($P<0.05$) and light quality treatment and the interaction of different light intensities and qualities of flavonoid content, total chlorophyll, and carotenoid ($P<0.01$). A comparison of the mean for the effect of different light intensities indicated that the highest leaf length, leaf area, survival percentage, regeneration percentage, and also the highest fresh weight, total phenol, total flavonoids, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoid was observed in 3000 lux light intensity. Also, a comparison of the mean data obtained from the effect of different

light qualities showed that the highest amount of total phenol (mg GAE / g FW 3.303), total flavonoids (mg GAE / g FW 9.779), and carotenoid was (mg GAE / g FW 282.984) observed in 40% red + 60% blue light treatment.

Conclusion: According to the findings of the present study, it can be concluded that light intensity compared to different light qualities has a more significant influence on morphological and physiological parameters of in vitro plantlets of the Yellow Flag. The results also indicated that with increasing light intensity from 1500 to 3000 lux, morphological and physiological indices of Yellow Flag plantlets were significantly enhanced. It indicates that increasing light intensity in mass and commercial production of this plant under in vitro conditions would be effective.

Cite this article: Ahadzadeh, Mahsa, Pourbeyrami Hir, Younes, Chamani, Esmaeil, Maleki Lajayer, Hassan, Shahi Gharalar, Ali, Hasanzadeh, Mohammad. 2024. Investigation of the effects of LED lights on *in-vitro* regeneration and growth of yellow flag (*Iris pseudacorus*). *Journal of Plant Production Research*, 30 (4), 1-20.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2022.20164.2929
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

بررسی تأثیر شدت و کیفیت نورهای LED بر باززایی و رشد درون‌شیشه‌ای گیاه زنبق مردابی (*Iris pseudacorus*)

مهسا احدزاده[۱]، یونس پوربیرامی هیر*[۲]، اسماعیل چمنی[۳]، حسن ملکی لجایر[٤]، علی شاهی قره‌لر[٥]، محمد حسن‌زاده[٦]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: mahsa.ahadzadeh720@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: younes_ph62@uma.ac.ir
۳. استاد گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: echamani@uma.ac.ir
٤. استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: malekih@uma.ac.ir
٥. استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: a.shahi@uma.ac.ir
٦. استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: m.hasanzadeh@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۲/۱۹
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۰۳/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰٥/۱٥

واژه‌های کلیدی:
درصد زنده‌مانی،
زنبق مردابی،
شدت نور،
صفات فیزیولوژیکی،
نور آبی،
نور قرمز،
نورهای LED

چکیده

سابقه و هدف: زنبق مردابی گیاهی چندساله، علفی با گل‌های زرد و متعلق به خانواده *Iridaceae* است که به عنوان گیاه زینتی استفاده می‌شود. از آن‌جایی‌که تغییرات نوری پاسخ‌های مختلف مورفوژنتیکی و فتوسنتزی را در برخی از گیاهان زینتی ایجاد می‌کند و نورهای LED رشد و نمو فیزیولوژیکی گیاهچه‌ها را بهبود داده و در باززایی اندام‌های گیاه و تولید متابولیت‌های ثانویه تأثیر می‌گذارد. هدف از این آزمایش بررسی تأثیر نورهای LED بر رشد و نمو و شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه زنبق مردابی بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با ۲ شدت نوری (۱٥۰۰ و ۳۰۰۰ لوکس) و تیمارهای کیفیت نور با ۱۰۰ درصد قرمز، ۱۰۰ درصد آبی، ۱۰۰ درصد سفید، ۸۰ درصد قرمز ۲۰ درصد آبی، ٦۰ درصد قرمز ٤۰ درصد آبی، ٤۰ درصد قرمز ٦۰ درصد آبی، ۲۰ درصد قرمز ۸۰ درصد آبی در ٤ تکرار اجرا شد. شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل طول برگ، سطح برگ، وزن تر شاخساره و ریشه، درصد باززایی و زنده‌مانی، فنل کل، فلاونوئید کل، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید بود.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هر چند اثر متقابل شدت و کیفیت‌های مختلف نور بر شاخص‌های مورفولوژیکی ارزیابی شده معنی‌دار نبود، اما تیمار شدت نور به‌طور

معنی‌داری شاخص‌های طول برگ، سطح برگ، فنل کل و فلاونوئید کل (سطح احتمال ۱ درصد) و وزن تر، درصد زنده‌مانی، درصد باززایی، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید (سطح احتمال ۵ درصد) و هم‌چنین تیمار کیفیت نور شاخص فنل کل (سطح احتمال ۵ درصد) و تیمار کیفیت نور و اثر متقابل شدت و کیفیت نور، شاخص‌های، فلاونوئید کل، کلروفیل کل و کارتنوئید (سطح احتمال ۱ درصد) را تحت‌تأثیر قرار داد. مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تأثیر شدت نورهای مختلف نشان داد که بیش‌ترین طول و سطح برگ، درصد زنده‌مانی، درصد باززایی و هم‌چنین بیش‌ترین میزان وزن تر، فنل کل، فلاونوئید کل، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس مشاهده شد. هم‌چنین مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تأثیر کیفیت‌های مختلف نور نشان داد که بیش‌ترین میزان فنل کل (۳/۳۰۳ mg GAE/g FW)، فلاونوئید کل (۹/۷۷۹ mg GAE/g FW) و کارتنوئید (۲۸۲/۹۸٤ mg GAE/g FW) در تیمار نوری ٤٠ درصد قرمز + ٦٠ درصد آبی مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که شدت نور در مقایسه با کیفیت‌های مختلف نوری تأثیر بیش‌تری بر شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهچه‌های درون‌شیشه‌ای زنبق مردابی دارد. هم‌چنین نتایج نشان داد که با افزایش شدت نور از ۱۵۰۰ به ۳۰۰۰ لوکس، افزایش معنی‌داری در شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهچه‌های درون‌شیشه‌ای زنبق مردابی مشاهده شد که نشان می‌دهد افزایش شدت نور در تولید انبوه و تجاری این گیاه تحت شرایط درون‌شیشه‌ای مؤثر خواهد بود.

استناد: احدزاده، مهسا، پوربیرامی هیر، یونس، چمنی، اسماعیل، ملکی لجایر، حسن، شاهی قره‌لر، علی، حسن‌زاده، محمد (۱۴۰۲). بررسی تأثیر شدت و کیفیت نورهای LED بر باززایی و رشد درون‌شیشه‌ای گیاه زنبق مردابی (*Iris pseudacorus*). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰ (۴)، ۲۰-۱.
DOI: 10.22069/JOPP.2022.20164.2929

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

زنبق مردابی با نام علمی *Iris pseudacorus* یک گیاه علفی چندساله از خانواده *Iridaceae* است این گیاه به راحتی توسط گل‌هایش قابل تشخیص است چون تنها گونه زنبق با گل‌های زرد است. زنبق مردابی بومی اروپا، شمال آفریقا، شرق آسیا و مناطق معتدل است (۱)؛ گونه‌های اهلی آن کاربرد زیادی به عنوان گل شاخه بریده، استفاده در حاشیه آب‌نماها، مرداب‌ها و حوضچه‌ها دارند (۲). از پرورش بوته‌های زنبق مردابی برای تصفیه منابع آب سطحی آلوده از جمله فاضلاب‌ها بهره می‌گیرند، زیرا قادر به جذب فلزات سنگین مانند مس و کادمیوم در ریشه‌هایش است. فلزات مزبور پس از مرگ گیاه مجدداً در محیط آزاد می‌گردند. هم‌چنین برای کنترل فرسایش خاک در شیب‌ها و سواحل نیز استفاده می‌شود (۳). این گیاه معمولاً در آب یا نزدیک زمین‌های خیس مانند مرداب‌ها یا باتلاق‌ها رشد می‌کند و به شرایط غرقابی مقاوم است. زنبق مردابی می‌تواند در طیفی از شرایط محیطی زنده بماند و نسبت به pH پایین و خاک‌هایی با اکسیژن کم مقاوم است و زیستگاه‌هایی را اشغال می‌کند که مشخصه آن‌ها کمبود اکسیژن می‌باشد (٤). گونه‌های زنبق از طریق رویشی توسط پیاز یا ریزوم افزونش می‌یابند. بیش‌تر زنبق‌های پیازدار در هر سال بیش‌تر از ۵ پیاز دختری تولید نمی‌کنند و برای به‌دست آوردن گیاهچه به تعداد کافی از گیاه مادری ٤ تا ۵ سال زمان لازم است (۵). ریزوم، مهم‌ترین عامل گسترش این گیاه است اما جوانه‌زنی بذر نیز یکی از روش‌های بقای این گیاه محسوب می‌شود؛ البته افزونش گیاه از طریق بذر دشوار است (۲). الگو جوانه‌زنی بذر زنبق مردابی مشابه سایر گونه‌های زنبق است که خواب بذر در آن‌ها به‌مدت چند ماه از جوانه‌زنی آن جلوگیری می‌کند. هم‌چنین جنین‌ها پتانسیل رشد کمی دارند و توانایی غلبه بر مقاومت مکانیکی پوشش‌های احاطه‌کننده خود را ندارند (٦). از روش کشت بافت و سلول به میزان زیادی برای تولید زنبق استفاده شده و به مقدار قابل‌توجهی باعث افزایش تولید و بهبود کیفیت آن شده است. از طرفی افزونش درون‌شیشه‌ای تک‌لپه‌ای‌ها به علت ظرفیت باززایی پایین آن‌ها در مقایسه با دولپه‌ای‌ها پیچیده‌تر است. آنالیزهای ظرفیت باززایی در بعضی تک‌لپه‌ای‌های زینتی نشان داده که باززایی در تیره *Iridaceae* نسبت به *Amaryllidaceae*، *Araceae* و *Liliaceae* کم‌تر است، همین علت انتخاب اندام یا بافت مناسب به‌عنوان ریزنمونه در تکثیر انبوه گیاه از طریق کشت بافت ضروری می‌باشد (۵). بیش‌ترین کاربرد عملی فنون کشت بافت در تکثیر گیاهان زینتی می‌باشد که شامل ۳ هدف: تولید گیاهان عاری از بیماری، تولید گیاهان یکسان از نظر ژنتیکی و تولید ژنوتیپ‌های جدید است (۸).

نور مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر رشد و نمو گیاهان است که از طریق فتوسنتز، انرژی لازم برای رشد گیاهان را تامین می‌کند و هم‌چنین بر سایر جنبه‌های نمو گیاه تأثیر دارد. نور از طریق سه عامل شدت، کیفیت و مدت زمان بر رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد (۹). کیفیت نور از نظر رنگ و طول موج می‌تواند ساختار مورفولوژیکی و متابولیسم اولیه و ثانویه گیاهان را نیز تحت‌تأثیر قرار دهد؛ بنابراین تغییر کیفیت نور به‌ویژه از طریق استفاده از منابع نور مصنوعی در محیط‌های کنترل شده جهت تغییر کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی امکان‌پذیر است (۱۰). دیودهای ساطع‌کننده نور (LED) منابع نوری هستند که نور را به‌صورت تک‌رنگ و با طول موج مشخص در اختیار گیاهان قرار می‌دهند و ازاین‌رو با کاربرد آن‌ها در کشاورزی، می‌توان کیفیت‌های مختلف نور را در اختیار گیاهان قرار داد (۱۱). استفاده از لامپ‌های LED به‌دلیل کاهش هزینه الکتریسیته به‌ازای هر

فوتون، طول عمر بیش‌تر، بازدهی بهتر در زمینه مصرف انرژی و تأثیر بر فرایندهای رشدی گیاهان، نسبت به لامپ‌های فلورسنت و فشار بخار سدیمی رو به افزایش است (۱۲). در پژوهشی، فرخزاد و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد لامپ‌های LED در ریز ازدیادی ارکید فالانوپسیس[1] از طریق تغییر در میزان هورمون‌های درونی، سبب افزایش پراوری در مقایسه با نور فلورسنت شده است (۱۳). در مطالعه دیگری، لی و همکاران (۲۰۲۱) دریافتند که ترکیب نوری قرمز و آبی در مقایسه با نور سفید سبب افزایش معنی‌دار میزان رشد، وزن تر، رنگدانه‌های فتوسنتزی و هم‌چنین مقدار آلکالوئیدها در گیاه *Lycoris longituba* شده است (١٤). بهبود شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در اثر کاربرد لامپ‌های LED در سایر گیاهان از جمله زرین گیاه[2] (۱۵)، ریحان[3] (۱۱)، مریم گلی[4] (١٦) و کشت کالوس کامالیا[5] (۱۷) گزارش شده است.

رشد، عملکرد و میزان ماده خشک گیاه به میزان زیادی تحت‌تأثیر شدت نور قرار می‌گیرد. به‌طورکلی افزایش شدت نور با افزایش فتوسنتز خالص مرتبط است که می‌تواند وزن تر و عملکرد گیاه را افزایش دهد. علاوه‌بر این، افزایش شدت نور می‌تواند قندهای محلول را که بخشی از ماده خشک هستند افزایش دهد (۱۸). هم‌چنین شدت نور در کشت‌های درون‌شیشه‌ای تأثیر زیادی بر القا، استقرار و باززایی گیاهان دارد، اما با این وجود مطالعات کمی در این زمینه صورت گرفته است (۱۹). آلوارنگا و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که افزایش شدت نور از ۱۳ به ۲۷ میکرومول بر مترمربع ثانیه در کشت درون‌شیشه‌ای بومادران، سبب افزایش بیش از دو برابری در شاخص‌های وزن خشک شاخساره و ریشه، ماده خشک، طول شاخه و ریشه و هم‌چنین درصد زنده‌مانی شده است (۲۰). در پژوهش دیگری، فرهادی و همکاران (۲۰۱۷) افزایش معنی‌دار درصد باززایی و تعداد شاخه باززایی شده از کالوس موسیر را با افزایش شدت نور از ۲۰ تا ٦٠ میکرومول بر مترمربع ثانیه گزارش کردند (۱۹). با توجه به اهمیت بررسی برهم‌کنش کیفیت و شدت نور بر رشد گیاهان در شرایط درون‌شیشه‌ای، پژوهش حاضر با هدف بررسی ترکیب‌های مختلف نور آبی و قرمز و شدت نور بر شاخص‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی زنبق مردابی انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر یک در آزمایشگاه کشت بافت دانشگاه محقق اردبیلی واقع در استان اردبیل انجام پذیرفت که از آزمایش اول نتایج درستی به‌دست نیامد و حذف گردید. آزمایش دوم در تابستان سال ١٤٠٠ در همان آزمایشگاه انجام شد. این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل با ۷ تیمار (۱۰۰ درصد قرمز، ۱۰۰ درصد آبی، ۱۰۰ درصد سفید، ۸۰ درصد قرمز ۲۰ درصد آبی، ٦٠ درصد قرمز ٤٠ درصد آبی، ٤٠ درصد قرمز ٦٠ درصد آبی، ۲۰ درصد قرمز ۸۰ درصد آبی) در ۲ شدت نوری (۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ لوکس) و با ٤ تکرار انجام شد. نمونه‌های درون‌شیشه‌ای گیاه زنبق مردابی در درون یاکس‌هایی که در آن‌ها به تعداد مشخص لامپ‌های LED آبی و قرمز تعبیه شده بود قرار گرفتند و با استفاده از دستگاه لوکس متر میزان شدت نور هر باکس اندازه‌گیری شد.

1- *Phalaenopsis amabilis*
2- *Dracocephalum kotschyi boisis*
3- *Ocimum basilicum*
4- *Salvia officinalis*
5- *Camelina sativa*

جدول ۱- علامت‌های اختصاری مورد استفاده در تیمارهای نوری.

Table 1. Abbreviations used in Light treatments.

تیمار نوری	علامت اختصاری
100% سفید	White 100%
100% قرمز	Red 100%
100% آبی	Blue 100%
80% قرمز+ 20% آبی	R80%+ B20%
60% قرمز+ 40% آبی	R60%+ B40%
40% قرمز+ 60% آبی	R40%+ B60%
20% قرمز+ 80% آبی	R20%+ B80%

برای انجام این پژوهش از نمونه‌های درون‌شیشه‌ای گیاه زنبق مردابی موجود در آزمایشگاه کشت بافت و بیوتکنولوژی گروه باغبانی و فضای سبز دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی استفاده شد (شکل ۱).

شکل ۱- گیاهچه‌های درون‌شیشه‌ای گیاه زنبق مردابی مورد استفاده به عنوان منبع ریزنمونه.

Fig. 1. *In vitro* Water Flag plantlets used as a source of explant.

ریزوم‌ها به داخل شیشه مرباها با محیط کشت MS حاوی ۳۰ گرم ساکارز و ۸ گرم آگار کشت شد؛ به‌طوری‌که در هر شیشه مربا، ۳ عدد ریزوم زنبق مردابی به عنوان ریز نمونه کشت گردید. پس از اتمام کشت ریزنمونه‌ها، تمامی کشت‌ها به اتاقک رشد با دمای ۲± ۲۲ درجه سانتی‌گراد با ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی منتقل شدند. رشد و نمو کشت‌ها به‌طور مداوم بررسی شد و در صورت مشاهده آلودگی، نمونه آلوده حذف گردید. بعد از ۶۰ روز داده‌برداری از ریزنمونه‌ها شروع شد.

طول برگ: بعد از خارج کردن گیاهچه‌ها از محیط کشت و تمیز نمودن ژل اطراف آن‌ها با استفاده از خط‌کش اندازه گیری شد.

اندازه‌گیری سطح برگ: برای اندازه‌گیری سطح برگ از نرم‌افزار Image J استفاده شد.

وزن تر شاخساره و ریشه: پس از اتمام آزمایش، بخش هوایی و ریشه گیاهان برداشت شده جدا شد و پس از تمیز نمودن ژل اطراف آن، وزن تر این اندام‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ده هزارم گرم تعیین شد.

درصد باززایی و زنده‌مانی: سالم بودن و رشد نمونه کشت شده شمارش گردید و درصد آن حساب شد.

سنجش کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید: برای اندازه‌گیری کلروفیل مقدار ۰/۱ گرم از نمونه گیاهی با ۱ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد درون هاون چینی مخلوط شد. مخلوط به‌دست آمده به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ٦۰۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید و در نهایت عصاره استونی شفاف جدا شده و با استفاده از روش اسپکتروفتومتری در طول موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧۰ نانومتر قرائت شد. برای تعیین مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید از رابطه‌های زیر استفاده شد و مقادیر به‌دست آمده بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد (۲۱).

کلروفیل a = $(19.3^* A_{663} - 0.86^* A_{645})$ V/100W

کلروفیل b = $(19.3^* A_{645} - 0.86^* A_{663})$ V/100W

کلروفیل کل = کلروفیل a + کلروفیل b

کارتنوئید = $1000(_{A470}) - 3.27(\text{Chl a}) - 104(\text{Chl b})/2$

در روابط بالا، A طول موج (نانومتر) و V و W به‌ترتیب حجم استون (میلی‌لیتر) و وزن تر نمونه بر حسب گرم است.

سنجش میزان فنل: میزان ترکیبات فنلی موجود در عصاره گیاه براساس روش حیدری و همکاران (۲۰۲۰)، با کمی تغییر و با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی سانتریفیوژ شده را درون میکروتیوپ ریخته و سپس ۱/۵ میلی‌لیتر فولین سیوکالتیو ۱۰ برابر رقیق شده به عصاره فوق اضافه شد. بعد از گذشت ۵ دقیقه در دمای اتاق، ۱/٤ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷ درصد به آن اضافه گردید. محلول حاصل بعد از همزدن، به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد. سپس میزان جذب رنگ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷٦۵ نانومتر قرائت شد. نمونه شاهد نیز با جایگزین کردن ۰/۱ میلی‌لیتر آب مقطر به جای عصاره گیاهی تهیه گردید (۲۲).

سنجش میزان فلاونوئید: اندازه‌گیری فلاونوئید به روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلرید و بر اساس روش حیدری و همکاران (۲۰۲۰)، انجام شد. بدین منظور ۱ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی از قبل تهیه شده را درون میکروتیوپ ریخته سپس ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد و ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم یک مولار و ۱/۸ میلی‌لیتر آب مقطر به ترکیب فوق اضافه شد. بعد از نگهداری نمونه‌ها در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه جذب ترکیب به‌دست آمده در طول موج ٤۱۵ نانومتر دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. نمونه شاهد با متانول ۸۰ درصد تهیه گردید و مقادیر به‌دست آمده بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد (۲۳).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: به‌منظور نرمال‌سازی داده‌ها از روش تبدیل جذری، استفاده شد. داده‌های به‌دست آمده مربوط به آزمایش با نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت و با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم گردید.

نتایج و بحث

بررسی تأثیر نورهای LED بر صفات مورفولوژیکی گیاه زنبق مردابی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر شدت نور بر طول برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود اما کیفیت نور و تأثیر متقابل شدت نور در کیفیت نور تفاوت معنی‌داری

باهم نداشت (جدول ۲). بر اساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها بیش‌ترین طول برگ در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس مشاهده شد (۱/۳ سانتی‌متر) (شکل ۲A). با این حال کیفت نور تأثیر مثبتی بر این شاخص داشت به‌طوری‌که بیش‌ترین طول برگ در تیمار نوری ۱۰۰ درصد آبی (۱/۳٤۱ سانتی‌متر) و کم‌ترین طول برگ در تیمار نوری ۸۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد آبی بود (۰/۳٤۵ سانتی‌متر) (جدول ۳). در پژوهشی بر روی گیاه به‌لیمو[1]، اثرات نور، شدت و کیفیت آن روی رشد درون‌شیشه‌ای صورت گرفته بود، نتایج قابل بحثی به‌دست آمد. آزمایش با شدت‌های نوری مختلفی از لامپ‌های فلوروسنت و لامپ‌های LED در طول موج‌های مختلف سفید، قرمز، آبی و ترکیب نور قرمز و آبی در نسبت‌های ۱:۲:۵ و ۲:۵:۱ و با دو نوع ریزنمونه یکی از بخش جانبی و دیگری از بخش انتهایی شاخه، در محیط کشت نیم مقدار MS انجام گرفت. نتایج نشان داد که کیفیت و شدت نور بر روی رشد درون‌شیشه‌ای مؤثر هستند (۲٤). تعدادی از بخش‌های گیاهچه‌ها مثل طول ریشه، برگ، شاخه، ریشه و وزن کلی، با افزایش شدت نور بیش‌تر شدند که با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد، به‌خصوص این افزایش در شدت نور ۹٤ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه برای هر دو نوع ریزنمونه بیش‌تر بود (۲۵). در پژوهش دیگر اثرات طول موج‌های مختلف در شش تیمار نوری LED گوناگون روی خواص بیومتریک و رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه ژربرا[2] رشد یافته در شرایط درون‌شیشه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. تیمار LED شامل، ۱۰۰ درصد آبی (B)، ۷۰ درصد قرمز، ۳۰ درصد آبی (RB1)، ٤۰ درصد قرمز، ٤۰ درصد آبی، ۲۰ درصد سفید (RBW)، ٤۹ درصد قرمز، ٤۹ درصد آبی، ۲ درصد قرمز دور (RBfR)، ۱۰۰ درصد قرمز (R) بودند. نتایج نشان داد که کیفیت نور اثر معنی‌داری روی رشد و نمو گیاه دارد. گیاهچه‌های رشد یافته تحت تیمار نور قرمز بیش‌ترین طویل شدن شاخه را نشان دادند و دمبرگ‌ها ۳ برابر بزرگ‌تر از آن‌هایی بودند که تحت تیمار نور آبی قرار گرفته بودند (۲٦).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر نورهای LED بر شاخص‌های مورفولوژیکی گیاهچه زنبق مردابی.

Table 2. Analysis of variance of the effect of LED lights on morphological parameters of yellow flag plantlets.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square				
		طول برگ Length of Leaves (cm)	سطح برگ Leaf area (cm^2)	وزن تر Fresh Weight (g)	زنده‌مانی Viability (%)	باززایی Regeneration (%)
شدت نور Light Intensity (Lux)	1	0.785**	1.551**	0.221*	27.832*	2.562*
کیفیت نور Light Quality (%)	6	0.174^{ns}	0.501**	0.048*	4.470^{ns}	0.237^{ns}
شدت نور×کیفیت نور Light Intensity × Light Quality	6	0.070^{ns}	0.162^{ns}	0.014^{ns}	4.104^{ns}	0.277^{ns}
خطا Errors	42	0.078	0.133	0.036	5.230	0.542
ضریب تغییرات (درصد) CV%	-	23.26	27.82	19.75	27.18	27.45

^{ns} غیرمعنی‌دار، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد

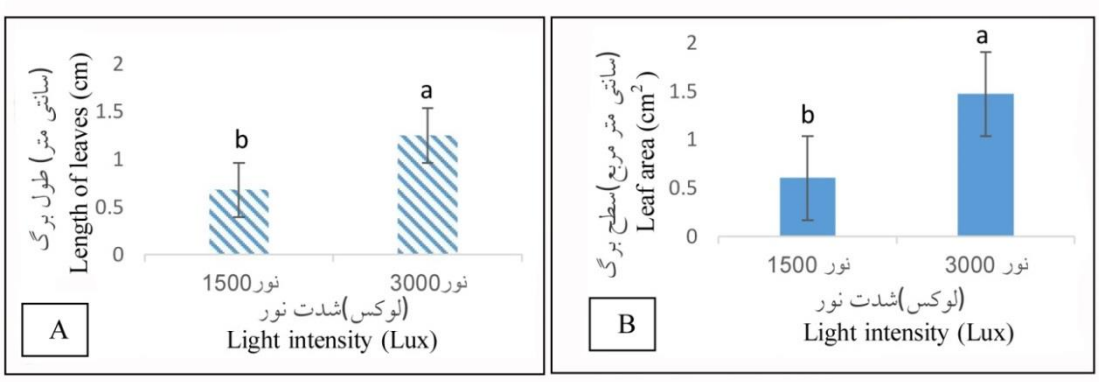
^{ns} Non Significant, *Significant at P≤0.05, **Significant at P≤0.01

1- *Lippia gracilis*
2- *Gerbera*

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر کیفیت نورهای LED بر شاخص‌های مورفولوژیکی فیزیولوژیکی گیاهچه زنبق مردابی.

Table 3. Means comparison of the effect of LED lights quality on morphological and physiological parameters of yellow flag plantlets.

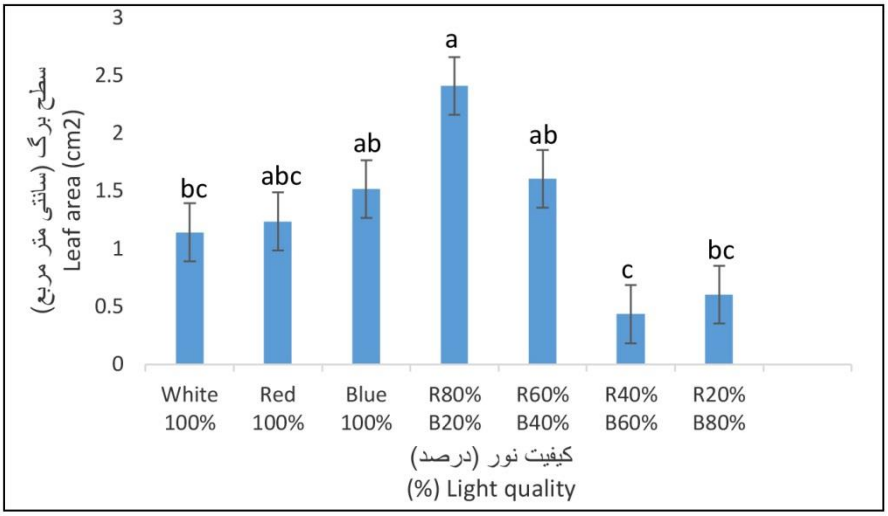
کارتنوئید Carotenoids (mg/g/fw)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg/g/fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g/fw)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g/fw)	فلاونوئید کل Total Flavonoids (mg/g/fw)	فنل کل Total phenol (mg/g/fw)	زنده مانی Viability (%)	یاززایی Regeneration (%)	سطح برگ Leaf area (cm^2)	طول برگ Length of Leaves (cm)	تیمار
256.108^{a}	3.677^{a}	0.668^{a}	2.377^{a}	9.189^{ab}	2.398^{abc}	8.403^{a}	6.378^{a}	1.141^{bc}	0.966^{ab}	100% سفید White 100%
203.932^{ab}	2.684^{ab}	0.490^{ab}	1.762^{ab}	7.684^{bc}	1.862^{abc}	8.218^{a}	7.114^{a}	1.235^{abc}	1.240^{a}	100% قرمز Red 100%
149.954^{b}	2.391^{b}	0.621^{ab}	1.749^{ab}	8.796^{ab}	3.038^{a}	8.516^{a}	6.730^{a}	1.517^{ab}	1.341^{a}	100% آبی Blue 100%
175.539^{b}	2.495^{b}	0.301^{b}	1.122^{ab}	7.162^{c}	1.294^{bc}	9.270^{a}	7.136^{a}	2.409^{a}	0.908^{ab}	80% قرمز+ 20% آبی R80%+ B20%
281.786^{a}	3.620^{a}	0.638^{ab}	2.250^{a}	9.082^{ab}	2.611^{a}	9.339^{a}	8.253^{a}	1.606^{ab}	1.182^{a}	60% قرمز+ 40% آبی R60%+ B40%
282.984^{a}	3.314^{ab}	0.616^{ab}	2.102^{a}	9.779^{a}	3.303^{a}	7.946^{a}	6.113^{a}	0.432^{c}	0.799^{ab}	40% قرمز+ 60% آبی R40%+ B60%
68.905^{c}	1.259^{c}	0.223^{b}	0.703^{b}	3.155^{d}	0.990^{c}	7.192^{a}	5.314^{a}	0.602^{bc}	0.345^{b}	20% قرمز+ 80% آبی R20%+ B80%



شکل ۲- تأثیر شدت‌های مختلف نورهای LED بر طول برگ (A) و سطح برگ (B) گیاهچه زنبق مردابی.

Fig. 2. The effect of various LED light intensity on length of leaves (A) and leaf area (B) in yellow flag plantlets.

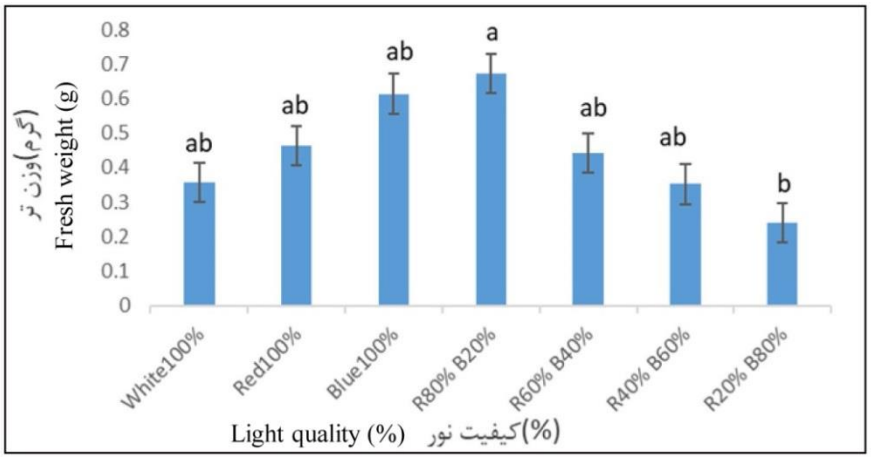
نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر شدت نور و کیفیت نور بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲) مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین سطح برگ در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس (۱/٤۷ سانتی‌مترمربع) و کم‌ترین سطح برگ در شدت نور ۱۵۰۰ (۰/٦ سانتی‌مترمربع) لوکس بود (شکل 2B). کیفیت نور تأثیر مثبتی بر این شاخص داشت و بیش‌ترین میزان سطح برگ در تیمار نوری ۸۰ درصد قرمز+ ۲۰ درصد آبی (۲/٤ سانتی‌مترمربع) و کم‌ترین میزان سطح برگ در نور ٤۰ درصد قرمز+ ٦۰ درصد آبی بود (۰/٤۳۲ سانتی‌مترمربع) (شکل ۳). با افزایش نور، زیست‌توده گیاه افزایش یافته و به‌دلیل انجام فتوسنتز مناسب، گیاه قادر به تولید کربوهیدرات مورد نیاز خود برای ادامه رشد خواهد بود، در نتیجه گسترش سطح برگ ادامه می‌یابد. حداکثر رشد گیاه در شدت نور متوسط حاصل می‌شود (۱۰). در پژوهشی که بر روی گیاه ژربرا رشد یافته در شرایط درون‌شیشه‌ای انجام گرفت، سطح برگ هم در تیمار نوری آبی هم نور قرمز کاهش یافته بود (۲٦).



شکل ۳- تأثیر کیفیت‌های مختلف نورهای LED بر سطح برگ گیاهچه زنبق مردابی.

Fig. 3. The effect of various LED light qualities on leaf area of yellow flag plantlets.

نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر شدت نور و کیفیت نور بر وزن تر گیاهچه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲) بیش‌ترین وزن تر گیاهچه در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس (۰/۵٦ گرم) و کم‌ترین وزن تر گیاهچه در شدت نور ۱۵۰۰ لوکس (۰/۳۲ گرم) بود (شکل ۵A). با توجه به جدول مقایسه میانگین کیفیت نور تأثیر مثبتی بر این شاخص داشت و بیش‌ترین وزن تر گیاهچه در تیمار نوری ۸۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد آبی (۰/٦۸ گرم) و کم‌ترین وزن تر در نور ۲۰ درصد قرمز + ۸۰ درصد آبی بود (۰/۲ گرم) (شکل ٤). لیان و همکاران (۲۰۰۲) پژوهشی بر روی سوسن انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که تیمارهای نوری قرمز و آبی موجب افزایش وزن تر گیاه شده است و هم‌چنین شاخه‌زایی و تولید کالوس بهتری نیز داشتند (۲۷). نتایج حاصل با پژوهش حاضر همخوانی داشت. آزمایش احمدی و همکاران (۲۰۱۵)، نشان داد که بیش‌ترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه بادرنجبویه به‌ترتیب در نور قرمز و نور ترکیبی قرمز + آبی مشاهده گردیده است و در سایر نورها این میزان در مقایسه با گیاهچه‌های واقع در گلخانه کاهش یافته است (۲۸). در مطالعات انجام‌گرفته توسط حیدری‌زاده و همکاران (۲۰۱۳)، بر روی گیاه نعناع[1]، مشخص شد کیفیت نور تأثیر معنی‌داری بر وزن تر گیاه داشته به‌طوری‌که وزن تر این گیاه تحت تیمار نوری قرمز و آبی بیش‌تر از تیمار با نور فلورسنت می‌باشد؛ با این‌حال، عملکرد گیاه نعناع در ترکیب نور قرمز و آبی بیش‌تر از نور قرمز به تنهایی بود که احتمالاً نشان‌دهنده تأثیر تکمیلی نور آبی بر بهبود رشد گیاه نعناع است (۲۹). ووژیکووسکا و همکاران (۲۰۱۵)، دریافتند در گیاه کاهو وزن تر در ترکیب نورهای قرمز و آبی بیش‌تر از سایر تیمارها بوده است (۳۰). طی پژوهشی که بر روی گیاه مورد[2] انجام گرفت بیش‌ترین وزن تر در LEDs حاوی نور آبی و ترکیب قرمز و آبی بود (۳۱). در پژوهشی که بر روی گیاه اطلسی[3] انجام گرفت، بیش‌ترین وزن‌های تر و خشک برگساره و ریشه، سطح برگ، قطر ساقه با کاربرد نسبت‌های نوری ۱۵ درصد آبی و ۸۵ درصد نور قرمز با شدت ٦۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه نشان داد. وزن تر گیاهچه هم در شدت‌های نوری اختلاف معنی‌داری نشان داد (۳۲). که با آزمایش بالا مطابقت دارد.

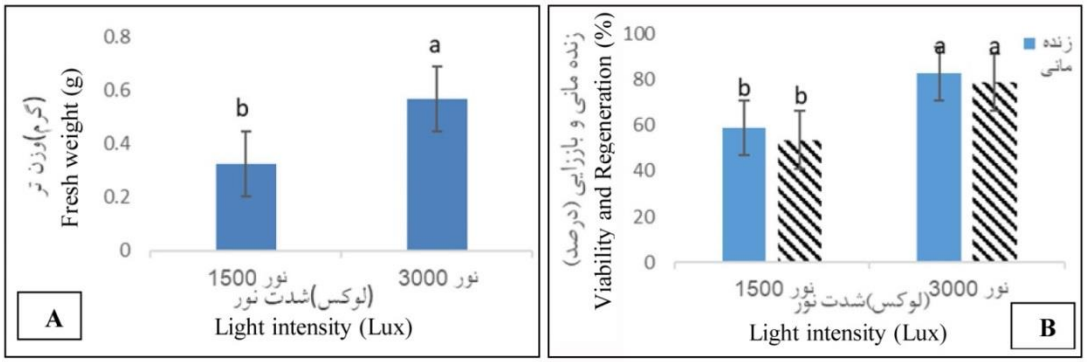


شکل ٤- تأثیر کیفیت‌های مختلف نورهای LED بر وزن تر گیاهچه زنبق مردابی.

Fig. 4. The effect of various LED light qualities on fresh weight of yellow flag plantlets.

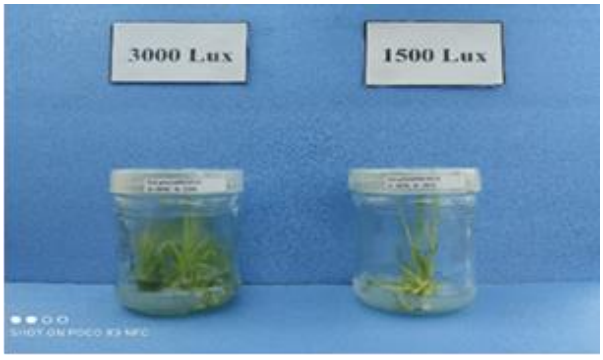
1- *Mentha piperita*
2- *Myrtus*
3- *Petunia*

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر شدت نور بر درصد زنده‌مانی و باززایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که بیش‌ترین درصد زنده‌مانی (۸۵ درصد) و باززایی (۸۰ درصد) در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس و کم‌ترین درصد زنده‌مانی (٦٠ درصد) و باززایی (٥٦ درصد) در شدت نور ۱۵۰۰ لوکس بود (جدول ۳) و (شکل 5B). با توجه به جدول مقایسه میانگین علی‌رغم عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین کیفیت‌های مختلف نور، تأثیر مثبتی بر این شاخص‌ها داشتند به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد زنده‌مانی (۹ درصد) و باززایی (۸ درصد) در تیمار نوری ٦٠ درصد قرمز + ٤٠ درصد آبی و کم‌ترین درصد زنده‌مانی (۷ درصد) و باززایی (۵ درصد) در تیمار نوری ۲۰ درصد قرمز + ۸۰ درصد آبی مشاهده شد. در آزمایشی که بر روی گیاه مورد انجام گرفت، میزان باززایی شاخه‌ها در ترکیب نوری قرمز و آبی در مقایسه با نور سفید اختلاف معنی‌داری داشت (۳۱). پژوهشی که بر روی گیاهان اکالیپتوس[1]، موز[2] و گیاه قاشقی[3] انجام گرفت نشان داد که گیاهچه‌های رشد یافته تحت نسبت نوری ٤:١، آبی/ قرمز LED، رشد بیش‌تری نسبت به گیاهان رشد یافته در نور سفید دارند و بر شاخص‌های مورفولوژیک مانند وزن تر و میزان باززایی، ترکیب نور قرمز و آبی اثر مثبت دارند (۳۳) که نتایج حاصل از پژوهش ما با این پژوهش هم‌خوانی داشت.



شکل ۵- تأثیر شدت‌های مختلف نورهای LED بر وزن تر (A) و درصد زنده‌مانی و باززایی (B) گیاهچه زنبق مردابی.

Fig. 5. The effect of various LED light intensities on fresh weight (A) and regeneration and viability percentage (B) of yellow flag plantlets.



شکل ٦- مقایسه رشد و باززایی گیاهچه زنبق مردابی در دو شدت نوری ۱۵۰۰ لوکس و ۳۰۰۰ لوکس.

Fig. 6. Comparison of growth and regeneration of Water Flag plantlets in 1500 and 3000 lux light intensity.

1- *Eucalyptus*
2- *Musa sapientum*
3- *Spathiphyllum wallisii*

بررسی تأثیر نورهای LED بر صفات فیزیولوژیکی گیاه زنبق مردابی: براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اثر شدت و اثر کیفیت نور بر فنل به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). بر اساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها بیش‌ترین میزان فنل کل در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس (۲/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان فنل کل در شدت نور ۱۵۰۰ لوکس (۱/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود که این دو تیمار شدت نوری با هم اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۷A). بیش‌ترین میزان فنل کل در تیمار نوری ٤۰ درصد قرمز + ٦۰ درصد آبی (۳/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان فنل کل در تیمار نوری ۲۰ درصد قرمز + ۸۰ درصد آبی بود (۰/۹۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) که این تیمار با نورهای ۱۰۰ درصد آبی، ٦۰ درصد قرمز + ٤۰ درصد آبی و ٤۰ درصد قرمز +٦۰ درصد آبی اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳).

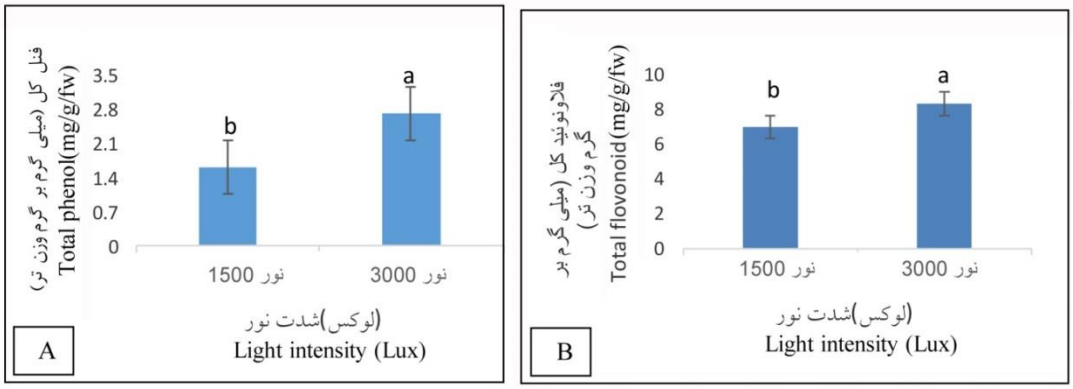
جدول ٤- تجزیه واریانس تأثیر نورهای LED بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهچه زنبق مردابی.

Table 4. Analysis of variance of the effect of LED lights on physiological parameters of yellow flag plantlets.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		فنل کل Total phenol (mg/g/fw)	فلاونوئید کل Total Flavonoids content (mg/g/fw)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g/fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g/fw)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg/g/fw)	کارتنوئید Carotenoids (mg/g/fw)
شدت نور Light Intensity (Lux)	1	1.564**	0.776**	0.990*	0.157*	0.353*	28.093*
کیفیت نور Light Quality (%)	6	0.598*	1.575**	0.381^{ns}	0.068^{n}s	0.499**	75.697**
شدت نور×کیفیت نور Light Intensity × Light Quality	6	0.253^{ns}	1.880**	0.151^{ns}	0.026^{ns}	0.610**	84.952**
خطا Errors	42	0.194	0.067	0.194	0.036	0.068	6.140
ضریب تغییرات (درصد) CV%	-	27.07	9.10	29.81	19.16	14.61	17.70

^{ns} غیرمعنی‌دار، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد

^{ns} Non Significant, *Significant at P≤0.05, **Significant at P≤0.01



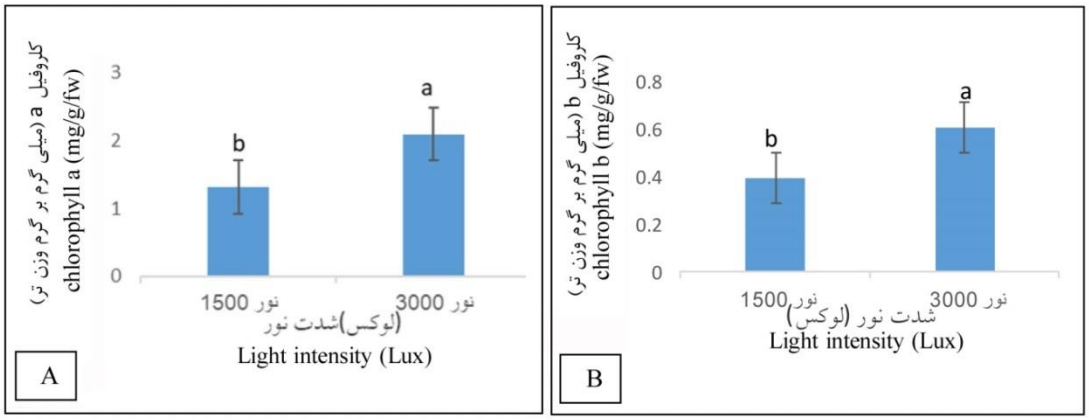
شکل ۷- تأثیر شدت‌های مختلف نورهای LED برمیزان فنل کل (A) و فلاونوئید کل (B) گیاهچه زنبق مردابی.

Fig. 7. The effect of various LED light intensities on total phenol (A) and total flavonoid (B) content of yellow flag plantlets.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر شدت نور و کیفیت نور و اثر متقابل آن‌ها بر فلاونوئید کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). براساس جدول مقایسه میانگین بیش‌ترین میزان فلاونوئید در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس (۸/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان فلاونوئید در شدت نور ۱۵۰۰ لوکس بود (۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) که این دو تیمار شدت نوری با هم اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۷B). با توجه به جدول مقایسه میانگین بیش‌ترین میزان فلاونوئید در تیمار نوری ٤۰ درصد قرمز + ٦۰ درصد آبی (۹/۷۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان فلاونوئید در تیمار نوری ۲۰ درصد قرمز + ۸۰ درصد آبی (۳/۱۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود که این تیمار با سایر تیمارهای نوری اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). شدت نور بالا باعث افزایش ترکیباتی در گیاهان می‌شود که نشان می‌دهد شدت‌های بالای نور به‌صورت تنش عمل کرده و باعث انباشت جاذب‌های نوری شامل فنل‌ها و فلاونوئیدها در سلول‌های اپیدرم برگ می‌گردد (۱۲). نظیر و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که نور آبی سبب تجمع بیش‌ترین میزان فنل کل و فلاونوئید کل و هم‌چنین رزمارینیک اسید در کشت کالوس ریحان بنفش[1] در مقایسه با تیمارهای نوری زرد، سبز، آبی و شاهد شد (۳٤). در پژوهش دیگری بر روی کلزا[2] مشخص شد که تیمار نور آبی سبب افزایش ۱/۳ برابری میزان فنل کل در مقایسه با نور قرمز و هم‌چنین تیمارهای ترکیبی نور قرمز و آبی شده است (۳۵). ترکیبات فنلی گروه عمده‌ای از ترکیبات شیمیایی گیاهی حاصل از مسیر فنیل پروپانوئید و دارای ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و حذف رادیکال‌های آزاد هستند، در قسمت‌های مختلف سلول گیاهی و در مراحل مختلف رشد گیاه تشکیل می‌شوند (۲۳). علت افزایش میزان ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در اثر کاربرد نورهای LED و به‌ویژه نور آبی که باعث افزایش رشد اندام‌های هوایی می‌گردد و با افزایش رشد گیاه، میزان بیان ژن‌های دخیل در مسیر فنیل پروپانوئید از جمله فنیل آمونیا لیاز و چالکون سنتاز بیش‌تر می‌شود و ارتباط مهمی بین میزان فعالیت این آنزیم و تجمع محتوای فنلی و فلاونوئیدی گیاهان وجود دارد (۳٦). طی پژوهشی مشخص شد، نور آبی و قرمز با افزایش ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی، گیاه اطلسی را برای مقابله با تنش آماده می‌سازد. گیاهان مختلف واکنش‌های متفاوتی به نور قرمز و آبی نشان می‌دهند. برخی از آن‌ها به نور قرمز واکنش مثبت دارند و برخی دیگر ترکیبات نام برده در نور آبی ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. این تفاوت‌ها ممکن است به‌دلیل اختلاف در نوع ترکیبات فنلی در گیاهان مختلف و هم‌چنین نحوه و شرایط نوردهی گیاهان باشد. برای مثال این فرض وجود دارد که نور قرمز باعث افزایش سطح سایتوکینین‌ها می‌شود که ممکن است از این طریق باعث تحریک سنتز فنل شود (۳۲). افزایش ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها در ترکیب نوری آبی و قرمز با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر شدت نور بر کلروفیل a در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود؛ اما اثرات کیفیت نور و تأثیر متقابل شدت نور در کیفیت نور تفاوت معنی‌داری باهم نداشت (جدول ٤). بر اساس جدول مقایسه میانگین بیش‌ترین مقدار کلروفیل a در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس (۲/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل ۸A). با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها بیش‌ترین میزان کلروفیل a در تیمار نوری ۱۰۰ درصد سفید (۲/۲۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان کلروفیل a در تیمار نوری ۲۰ درصد قرمز+ ۸۰ درصد آبی به‌دست آمد که با نورهای ۱۰۰ درصد سفید، ٤۰ درصد قرمز + ٦۰ درصد آبی و ٦۰ درصد قرمز + ٤۰ درصد آبی اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳).

1- *Ocimum basilicum* L. var purpurascens
2- *Brassica napus*



شکل ۸- تأثیر شدت‌های مختلف نورهای LED بر کلروفیل a (A) و کلروفیل b (B) گیاهچه زنبق مردابی.

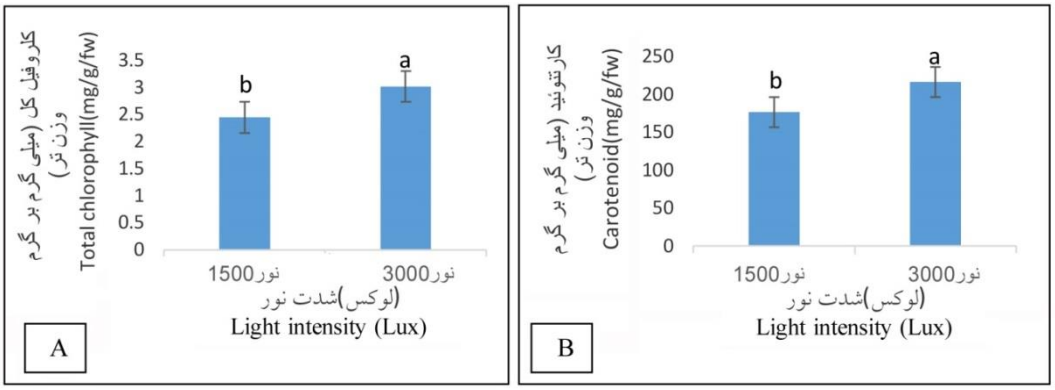
Fig. 8. The effect of various LED light intensities on chlorophyll a (A) and chlorophyll b (B) content of yellow flag plantlets.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر شدت نور بر کلروفیل b در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). با توجه به جدول مقایسه میانگین بیش‌ترین کلروفیل b در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس (۰/٦۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین کلروفیل b در شدت نور ۱۵۰۰ لوکس (۰/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود که این دو تیمار شدت نوری با هم اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۸B). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین میزان کلروفیل b در تیمار نوری ۱۰۰ درصد سفید (۰/٦٦۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان کلروفیل b در تیمار نوری ۲۰ درصد قرمز + ۸۰ درصد آبی به‌دست آمد (۰/۲۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) که این تیمار با نور ۱۰۰ درصد سفید اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر شدت نور بر کلروفیل کل در سطح احتمال ۵ درصد و اثرات کیفیت نور و تأثیر متقابل شدت نور و کیفیت نور بر این شاخص در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل کل در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس بود (۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) (شکل ۹A). هم‌چنین بیش‌ترین میزان کلروفیل کل (۳/٦۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار نوری ۱۰۰ درصد سفید و کم‌ترین میزان کلروفیل کل (۱/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار نوری ۲۰ درصد قرمز ۸۰ درصد آبی بود که این تیمار با سایر تیمارهای نوری اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). لین و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تأثیر نورهای قرمز، آبی و سبز بر روی دو رقم ریحان سبز و بنفش گزارش دادند که تأثیر نورهای مختلف بر میزان رنگدانه‌های گیاه بسته به رقم و گونه متفاوت است به‌طوری‌که در ارقام بنفش نسبت ۱:۱:۱ نورهای قرمز، آبی و سبز سبب دستیابی بیش‌ترین میزان کلروفیل a، b و کل شده و با افزایش نسبت میزان نور قرمز، مقادیر کلروفیل کاهش می‌یابد (۱۱). هم‌چنین جانگ و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که افزایش نسبت نور قرمز در ترکیب نوری قرمز و آبی، سبب کاهش میزان کلروفیل و فتوسنتز خالص در گیاه جنسینگ[1] می‌شود (۳۷). پژوهشی روی تأثیر طیف‌های مختلف نور LED بر محتوای اسید رزمارینیک گیاه بادرنجبویه[2] انجام گرفت، این گیاه در اتاقک‌های حاوی لامپ‌های LED با طیف نوری قرمز (۱۰۰ درصد) آبی (۱۰۰ درصد)

1- *Panax ginseng*
2- *Dracocephalum*

(قرمز ۷۰ درصد + آبی ۳۰ درصد) آبی و سفید (۱۰۰ درصد) با شدت نوری ۳۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه و در شرایط گلخانه‌ای به عنوان نمونه کنترل قرار داده شد. در نورهای LED میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید افزایش یافت اما نسبت کلروفیل a/b تنها در اتاقک دارای LEDهای قرمز بیش‌ترین مقدار بود و در سایر نورها این شاخص‌ها با نور گلخانه اختلاف معنی‌داری نداشتند؛ هم‌چنین در بین کیفیت‌های مختلف نوری، نور قرمز سبب افزایش معنی‌داری در میزان کارتنوئید شد (۲۸).



شکل ۹- تأثیر شدت‌های مختلف نورهای LED بر کلروفیل کل (A) و کاروتنوئید (B) گیاهچه زنبق مردابی.

Fig. 9. The effect of various LED light intensities on total chlorophyll (A) and carotenoid (B) content of yellow flag plantlets.

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اثر شدت نور بر کارتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد و اثرات کیفیت نور و تأثیر متقابل شدت نور و کیفیت نور بر این شاخص در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). بر اساس جدول مقایسه میانگین بیش‌ترین میزان کارتنوئید در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس (۲۱۵/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان کارتنوئید در شدت نور ۱۵۰۰ لوکس (۱۷٦/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود که این دو تیمار شدت نوری با هم اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل 9B). با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها، بیش‌ترین میزان کارتنوئید در تیمار نوری ٤۰ درصد قرمز ٦۰ درصد آبی و ٦۰ درصد قرمز + ٤۰ درصد آبی (۲۸۲/۹۸٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان کارتنوئید در تیمار نوری ۲۰ درصد قرمز + ۸۰ درصد آبی بود (٦۸/۹۰۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) (جدول ۳). بر اساس مطالعه عباس‌نژاد و همکاران (۲۰۱۷)، مشخص شد میزان کلروفیل گیاه شب‌بو[1] در واحد سطح در شدت نور مطلوب افزایش یافته و در شدت نور کم‌تر، به‌دلیل سنتز کم کلروفیل، برگ‌ها رنگ سبز مایل به زرد به خود گرفتند. البته در شدت نورهای خیلی زیاد نیز به‌دلیل تخریب کلروپلاست‌ها مقدار کلروفیل، کاهش یافت. در این پژوهش روند افزایشی در مقدار کاروتنوئیدها نیز، با افزایش شدت نور دیده شد. این افزایش معنی‌دار در تیمارهای ۳۰۰ و ۲۲۵ میکرومول بر مترمربع نسبت به شاهد به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار کارتنوئیدها در شدت نور ۳۰۰ میکرومول بر مترمربع بود. سنتز کارتنوئیدها اگرچه ارتباط مستقیمی با تابش نور خورشید ندارد اما برای تأمین انرژی لازم جهت سنتز آن‌ها به طور غیرمستقیم، به نور نیاز می‌باشد (۲٤). آزاد و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که بالاترین میزان کلروفیل و کارتنوئید در گیاه کاهو تحت تیمار نوری قرمز + آبی بوده است (۷). طی پژوهشی که بر روی گل داوودی[2] و گیاه

1- *Matthiola incana*
2- *Chrysanthemum*

گیلاس زمستانی[1] صورت گرفت، بعد از اعمال تیمارهای نوری، میزان کلروفیل بیش‌تر و سرعت فتوسنتزی بالاتری تحت نور آبی + نور قرمز LED نشان دادند؛ اما وقتی این گیاهان با نور فلوروسنت یا نور LED منحصراً آبی یا قرمز، یا طول موج آبی دور و قرمز دور تیمار شدند، این افزایش را نشان ندادند (۲۵ و ۳۸). در یک مطالعه دیگر بر روی گیاه کلزا، با تیمار ترکیبات نوری، نتایج حاصل بیانگر غلظت بیش‌تری از قند محلول و کلروفیل تحت نسبت نوری ۳:۱ قرمز/ آبی در مقایسه با لامپ‌های فلوروسنت و یا LED قرمز بود (۳۵).

نتیجه‌گیری کلی

طبق بررسی‌هایی که در این پژوهش انجام گرفت مشاهده شد تأثیر شدت نور بر صفات طول برگ، سطح برگ در سطح احتمال ۱ درصد و بر صفات وزن تر، درصد زنده‌مانی و درصد باززایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. شدت نور ۳۰۰۰ لوکس بیش‌ترین اثر را بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه زنبق مردابی داشت. نور قرمز و نورهای ترکیبی با درصد بالای نور قرمز بر وزن تر و درصد باززایی و درصد زنده‌مانی اثر مثبت داشتند، اندام‌های هوایی گیاه زنبق مردابی در تیمار نوری آبی بیش‌ترین میزان رشد را داشتند و بیش‌ترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، فنل کل و فلاونوئید گیاه زنبق مردابی در تیمارهای نوری ٤۰ درصد قرمز + ٦۰ درصد آبی و ۱۰۰ درصد سفید مشاهده شد. کم‌ترین میزان تأثیر بر رشد، باززایی صفات مورفولوژیکی و صفات فیزیولوژیکی گیاه زنبق مردابی مربوط به تیمار نوری ۸۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد آبی بود.

منابع

1. Sutherland, W. J. (1990). *Iris Pseudacorus* L. *Journal of Ecology*, 78 (3), 833-848.
2. Jaca, T. (2013). *Iris pseudacorus* L.: An ornamental aquatic with invasive potential in South Africa. *South African Journal of Botany*, 86, 174.
3. Huang, J., Cao, C., Yan, C., Guan, W. & Liu, J. (2018). Comparison of *Iris pseudacorus* wetland systems with unplanted systems on pollutant removal and microbial community under nanosilver exposure. *Science of the Total Environment*, 624, 1336-1347.
4. Chen, T., Wu, Y., Xing, D., & Duan, R. (2022). Effects of $NaHSO_3$ on Cellular Metabolic Energy, Photosynthesis and Growth of *Iris pseudacorus* L. *Horticulturae*, 8 (2), 185.
5. Ascough, G. D., Erwin, J. E. & Staden, J. (2009). Micropropagation of iridaceaea review. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 97 (1), 1-19.
6. Chamani, E. & Taheri, M. (2015). Investigation on the Hormone Effects on in vitro culture of *Iris pseudacorus*. *Journal of Horticultural Sciences*, 29 (1), 68-78. [In Persian]
7. Kim, T. D., Ahn, C. H., Bae, K. H. & Choi, Y. E. (2009). The embryogenic competency and morphological changes during somatic embryogenesis in *Iris pseudacorus*. P*lant Biotechnology Reports*, 3 (3), 251-257.
8. Rout, G. R., Mohapatra, A. & Jain, S. M. (2006). Tissue culture of ornamental pot plant: A critical review on present scenario and future prospects. *Biotechnology Advances*, 24 (6), 531-560.
9. Zakurin, A. O., Shchennikova, A. V. & Kamionskaya, A. M. (2020). Artificial-Light Culture in Protected Ground Plant Growing: Photosynthesis, Photomorphogenesis, and Prospects of LED Application. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67 (3), 413-424.
10. Sipos, L., Boros, I. F., Csambalik, L., Székely, G., Jung, A. & Balázs, L. (2020). Horticultural lighting system optimalization: A review. *Scientia Horticulturae*, 273.

1- *Withania somnifera*

11. Lin, K. H., Huang, M. Y. & Hsu, M. H. (2021). Morphological and physiological response in green and purple basil plants (*Ocimum basilicum*) under different proportions of red, green, and blue LED lightings. *Scientia Horticulturae*, 275.
12. Paucek, I., Appolloni, E., Pennisi, G., Quaini, S., Gianquinto, G. & Orsini, F. (2020). LED Lighting Systems for Horticulture: Business Growth and Global Distribution. *Sustainability*, 12, 18.
13. Farrokhzad, Y., Babaei, A., Yadollahi, A., Kashkooli, A. B., Mokhtassi-Bidgoli, A. & Hesami, S. (2022). *In vitro* photomorphogenesis, plant growth regulators, melatonin content, and DNA methylation under various wavelengths of light in *Phalaenopsis amabilis*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 149, 535-548.
14. Li, Q., Xu, J., Yang, L., Sun, Y., Zhou, X., Zheng, Y., Zhang, Y. & Cai ,Y. (2021). LED Light Quality Affect Growth, Alkaloids Contents, and Expressions of Amaryllidaceae Alkaloids Biosynthetic Pathway Genes in *Lycoris longituba*. J*ournal of Plant Growth Regulation*, 41, 257-270.
15. Chamani, E., Shahbazi yajlou, R., Azarmi, R. & Pourbeyrami hir, Y. (2022). Response of *Dracocephalum kotschyi* to different light Intensities and combinations under *In-Vitro* Conditions. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 23 (1), 145-156. [In Persian]
16. Zhang, S., Ma, J., Zou, H., Zhang, L., Li, S. & 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.
17. Jang, E. B., Ho, T. T. & Park, S. Y. (2020). Effect of light quality and tissue origin on phenolic compound accumulation and antioxidant activity in *Camellia japonica* calli. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 56, 567-577.
18. Larsen, D. H., Woltering, E. J., Nicole, C. C. S. & Marcelis, L. F. M. (2020). Response of Basil Growth and Morphology to Light Intensity and Spectrum in a Vertical Farm. *Frontiers in Plant Science*, 11.
19. Farhadi, N., Panahandeh, J., Azar, A. M. & Salte, S. A. (2017). Effects of explant type, growth regulators and light intensity on callus induction and plant regeneration in four ecotypes of Persian shallot (*Allium hirtifolium*). *Scientia Horticulturae*, 21, 80-86.
20. Alvarenga, I. C. A., Pacheco, F. V., Silva, S. T., Bertolucci, S. K. V. & Pinto, J. E. B. P. (2015). *In vitro* culture of *Achillea millefolium* L.: quality and intensity of light on growth and production of volatiles. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 122 (2), 299-308.
21. Chamani, E., Narimaniyan, F., Pourbairami Hir, Y. & Heydari, H. R. (2021). Effects of various nitrogen sources on some morpho-physiological characteristics of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under *in vitro* conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(4), 549-562. [In Persian]
22. Heydari, H. R., Chamani, E. & Esmaeilpour, B. (2020). Effect of total nitrogen content and NH_4^+/NO_3- ratio on biomass accumulation and secondary metabolite production in cell culture of *S. nemorosa*. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 9(1), 17-27.
23. Heydari, H. R., Chamani, E. & Esmaielpour, B. (2020). Cell line selection through gamma irradiation combined with multi-walled carbon nanotubes elicitation enhanced phenolic compounds accumulation in *Salvia nemorosa* cell culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 142 (2), 353-367.
24. Abbasnejad, R., Jabbarzadeh, Z. & Razavi, M. (2017). Effect of different light intensities on some morphologycal and physiological characteristics of *Matthiola incana* L. J*ournal of Pediatrics Review*, 30 (2), 408-419. [In Persian]

25. Wang, Y., Guo, Q. & Jin, M. (2009). Effects of light intensity on growth and photosynthetic characteristics of *Chrysanthemum morifolium*. *China journal of Chinese materia medica*, 34 (13), 1632-1635.
26. Pawłowska, B., Żupnik, M., Szewczyk-Taranek, B. & Cioć, M. (2018). Impact of LED light sources on morphogenesis and levels of photosynthetic pigments in *Gerbera jamesonii* grown in vitro. *Horticulture, Environment, and Biotechnolog*, 59 (1), 115-123.
27. Lian, M. L., Murthy, H. N. & Paek, K. Y. (2002). Effects of light emitting diodes (LEDs) on the in vitro induction and growth of bulblets of *Lilium oriental* hybrid 'Pesaro'. *Scientia Horticulturae*, 94 (3) (4), 365-370.
28. Ahmadi, T., Shabani, L. & Sabzalian, M. (2017). Effects of LED light spectrum on growth and rosmarinic acid content in *Melissa officinalis* L. *Journal of Plant Process and Function*, 6 (21), 213-222. [In Persian]
29. Heydarizadeh, P., Zahedi, M. & Sabzalian, M. R. (2014). The effect of LED light on growth, essential oil content and activity of antioxidant enzymes in pepper mint (*Mentha piperita* L.) *Journal of Plant Process and Function*, 3 (8), 13-24. [In Persian]
30. Wojciechowska, R., Długosz-Grochowska, O., Kołton, A. & Żupnik, M. (2015). Effects of LED supplemental lighting on yield and some quality parameters of lamb's lettuce grown in two winter cycles. *Scientia Horticulturae*, 187, 80-86.
31. Cioć, M., Szewczyk, A., Żupnik, M., Kalisz, A. & Pawłowska, B. (2017). LED lighting affects plant growth, morphogenesis and phytochemical contents of *Myrtus communis* L. *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 13 (3), 433-447.
32. Fukuda, N., Ishii, Y., Ezura, H. & Olsen, J. (2009). Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of FBP28 in petunia, VI International Symposium on Light in Horticulture 907, pp. 361-366.
33. Nhut, D. T. & Nam, N. B. (2010). Light-Emitting Diodes (LEDs): An Artificial Lighting Source for Biological Studies, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 134-139.
34. Nazir, M., Ullah, M. A., Younas, M., Siddiquah, A., Shah, M., Giglioli-Guivarc'h, N., Hano, C. & Abbasi, B. H. (2020). Light-mediated biosynthesis of phenylpropanoid metabolites and antioxidant potential in callus cultures of purple basil (*Ocimum basilicum* L. var purpurascens). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 142 (1), 107-120.
35. Li, H., Tang, C. & Xu, Z. (2013). The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. *Scientia Horticulturae*, 150, 117-124.
36. Azad, M. O. K., Kjaer, K. H., Adnan, M., Naznin, M. T., Lim, J. D., Sung, I. J., Park, C. H. & Lim, Y. S. (2020). The Evaluation of Growth Performance, Photosynthetic Capacity, and Primary and Secondary Metabolite Content of Leaf Lettuce Grown under Limited Irradiation of Blue and Red LED Light. *Urban Plant Factory Agriculture*, 10 (2).
37. Jang, I., Do, G., Suh, S., Yu, J., Jang, I., Moon, J. & Chun, C. (2020). Physiological responses and ginsenoside production of Panax ginseng seedlings grown under various ratios of red to blue light-emitting diodes. *Horticulture, Environment, and Biotechnolog*, 61 (4), 663-672.
38. Lee, S. H., Tewari, R. K., Hahn, E. J. & Paek, K. Y. (2007). Photon flux density and light quality induce changes in growth, stomatal development, photosynthesis and transpiration of *Withania Somnifera* (L.) Dunal. plantlets. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 90 (2), 141-151.