The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

Optimizing the Growth and Quality of Cucumber Scion Seedlings for Grafting under Different LED Light Spectra

Mostafa Abedini[1], Ali Baybordi[2], Ali Esmaeili Abdar[3], Mahdi Moharrami[4], Reza Salehi[5]✉, Mahdieh Mahmoodi[6], Amir Mohammad Jafari[7]

1. Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: m.abedini1374@ut.ac.ir
2. Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: alibaybordi2021@ut.ac.ir
3. Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: ali.esmaeili79@ut.ac.ir
4. Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mahdi.moharrami@ut.ac.ir
5. Corresponding Author, Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: salehir@ut.ac.ir
6. Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: Mahdie.mahmody@ut.ac.ir
7. Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: Jafari.amirmoham@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 5 January 2024

Received in revised form: 10 March 2025

Accepted: 31 March 2025

Published online: Autumn 2025

Keywords:

shade avoidance response;
phytochrome;
cryptochrome;
combined blue-red light;
green light.

ABSTRACT

This study evaluated the effects of different LED light spectra on the growth and quality of 'OREKA' cucumber scion seedlings for grafting. The treatments included monochromatic green light (100% green) and three combinations of red and blue light: 40% red + 60% blue (R40:B60), 80% red + 20% blue (R80:B20), and 90% red + 10% blue (R90:B10). All treatments were applied for 14 days at a constant light intensity of 100 ± 5 µmol m^{-2} s^{-1}.

Green light significantly promoted seedling elongation, producing the tallest seedlings (9.07 cm), whereas the shortest seedlings were obtained under the R40:B60 (2.92 cm) and R80:B20 (3.32 cm) treatments. In contrast, the R90:B10 treatment produced the greatest stem diameter (2.36 mm), longest roots (8.19 cm), largest leaf area (27.41 cm^2), and highest leaf dry mass (0.3138 g). The lowest values for these traits were generally observed under green light or the R40:B60 treatment. Root dry mass was highest under the R80:B20 (0.0825 g) and R90:B10 (0.0852 g) treatments, while green light resulted in the lowest value (0.0319 g). The Dickson Quality Index (DQI) was also markedly higher under R80:B20 (0.078), R40:B60 (0.073), and R90:B10 (0.072) than under green light (0.023).

Compared with the best-performing combined-spectrum treatment, seedlings grown under green light were 36% taller. Increasing the proportion of red light from 40% to 90% enhanced stem diameter by 13.5%, whereas increasing the proportion of blue light from 10% to 60% reduced leaf area and leaf dry mass by 55% and 38%, respectively. Higher proportions of red light also promoted root growth, resulting in greater root length, root dry mass, and overall root development. In contrast, monochromatic green light adversely affected root growth, leading to reduced leaf area and lower leaf dry weight.

Overall, the R80:B20 light spectrum produced seedlings with the highest overall quality and is recommended as the most suitable LED light treatment for producing cucumber scions intended for grafting.

Cite this article: Abedini, M., Baybordi, A., Esmaeili Abdar, A., Moharrami, M., Salehi, R., Mohmoodi, M. & Jafari, A. M. (2025). Optimizing the Growth and Quality of Cucumber Scion Seedlings for Grafting under Different LED Light Spectra. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (3), 703-723. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.387983.2240

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.387983.2240

Extended Abstract

Introduction

Grafting has become a widely adopted technique in vegetable production because of its ability to improve plant vigor, stress tolerance, and productivity. The success of grafting, however, largely depends on the quality of the scion seedlings. Among environmental factors, light quality plays a pivotal role in regulating seedling morphology, biomass accumulation, and overall transplant quality. Previous studies have demonstrated that red and blue light are the primary wavelengths controlling plant growth and development, whereas the addition of green light (480–560 nm) may further influence plant morphology and canopy architecture. Therefore, the present study investigated the effects of monochromatic green light and three red–blue LED light combinations (R40, R80, and R90) on the growth and quality of cucumber scion seedlings to identify the most suitable light spectrum for grafting.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a completely randomized design (CRD) with four treatments and five replications in the growth chamber of the College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Seeds of cucumber (*Cucumis sativus* L.) 'OREKA F1' were sown in 128-cell plug trays filled with a cocopeat–perlite substrate and covered with a thin layer of vermiculite. Seed germination was carried out in a germination chamber at 25°C and 95% relative humidity. After germination, the seedlings were transferred to a plant factory maintained at day/night temperatures of 25 ± 1°C and 18 ± 1°C, respectively, with a 16-h photoperiod and 75% relative humidity.

Four LED light treatments were applied: monochromatic green light (100% green) and three red-to-blue light combinations (R40, R80, and R90), all at a photosynthetic photon flux density (PPFD) of 100 ± 5 μmol m^{-2} s^{-1}. Seedlings were irrigated every other day with Hoagland nutrient solution adjusted to pH 5.5 and an electrical conductivity (EC) of 1.4 dS m^{-1}. Seedling growth and quality traits were evaluated two weeks after the initiation of the light treatments.

Results and Discussion

Green light significantly promoted seedling elongation, producing the tallest seedlings (9.07 cm), whereas the shortest seedlings were obtained under the R40 (2.92 cm) and R80 (3.32 cm) treatments. In contrast, the R90 treatment produced the greatest stem diameter (2.36 mm), longest root length (8.19 cm), largest leaf area (27.41 cm^2), and highest leaf dry mass (0.3138 g). The lowest values for these traits were generally observed under green light or the R40 treatment. Root dry mass was greatest under the R80 (0.0825 g) and R90 (0.0852 g) treatments, whereas green light resulted in the lowest value (0.0319 g).

The highest Leaf Area Index (LAI) was recorded under the R90 treatment (4.32), followed by R80 (3.38), while green light (1.92) and R40 (1.89) produced the lowest LAI values. Likewise, the Compactness Index was highest in the R80treatment (0.172 g cm^{-1}), followed by R40 (0.128 g cm^{-1}), R90 (0.104 g cm^{-1}), and green light (0.030 g cm^{-1}). The Dickson Quality Index (DQI) showed a similar trend, with values of 0.078, 0.073, 0.072, and 0.023 for the R80, R40, R90, and green light treatments, respectively.

Blue light is known to suppress excessive stem elongation through cryptochrome-mediated signaling, resulting in compact seedlings with improved structural quality. However, excessive blue light may reduce leaf expansion and root development because of increased photoprotective responses. Conversely, red light stimulates phytochrome activity, enhancing cell division, biomass accumulation, root growth, and leaf expansion, thereby improving photosynthetic capacity. Exposure to monochromatic green light induces shade-avoidance responses, promoting stem and petiole elongation while reducing biomass allocation to leaves and roots. Although this response increases plant height, it generally produces weaker seedlings that are less suitable for grafting.

Previous studies have shown that an LAI between 3.0 and 3.5 provides an optimal balance between light interception, photosynthetic efficiency, and canopy ventilation. Moreover, higher Compactness Index and DQI values are reliable indicators of superior seedling quality. Seedlings with a high leaf area ratio (LAR) and elongated hypocotyls are generally considered unsuitable for grafting because of their reduced mechanical strength and lower post-grafting survival. Based on these criteria, the green light and R40 treatments failed to produce seedlings of acceptable quality, whereas both R80 and R90 generated vigorous seedlings. Nevertheless, the R80 treatment produced the highest overall seedling quality.

Conclusion

Seedlings grown under monochromatic green light were 36% taller than those produced under the best combined-spectrum treatment. Increasing the proportion of red light from 40% to 90% enhanced stem diameter by 13.5%, whereas increasing the proportion of blue light from 10% to 60% reduced leaf area and leaf dry mass by 55% and 38%, respectively. Higher proportions of red light also promoted root growth, resulting in greater root length, root dry mass, and overall root development. In contrast, monochromatic green light negatively affected root growth, leading to reduced leaf area and lower leaf dry weight. The highest light-use efficiency was observed under treatments with higher proportions of red light. Overall, the R80 light spectrum produced seedlings with the best morphological characteristics and quality indices and is therefore recommended as the most suitable LED light treatment for producing cucumber scion seedlings intended for grafting.

Author Contributions

R. Salehi conceived and designed the experiments. AM. Jafari and M. Abedini prepared materials and conducted the experiments. M. Abedini, A. Baybordi, A. Esmaeili, and M. Moharrami collected the data. M. Abedini analyzed the data. A. Esmaeili, M. Abedini, A. Baybordi, M. Moharrami, and M. Mahmoodi wrote the first draft of the manuscript. M. Abedini, A. Esmaeili and R. Salehi contributed to the interpretation of the results. All authors provided critical feedback and contributed to the development of the research, data

analysis, and manuscript.

Data Availability Statement
The data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgements
The authors gratefully acknowledge the financial support provided by the Research Council of the University of Tehran, Iran. The authors also sincerely thank Mr. Ilkhani and Mr. Panahi for their valuable assistance with greenhouse and growth chamber management.

Ethical considerations
This article does not contain any studies involving human and animal subjects.

Conflict of interest
The authors declare that they have no conflicts of interest, financial or otherwise, that could have influenced the research presented in this manuscript.

انتشارات دانشگاه تهران

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۶، شماره ۳

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

بهینه‌سازی رشد و کیفیت نشای پیوندک خیار برای پیوند تحت‌تأثیر طیف‌های مختلف نور LED

مصطفی عابدینی[۱]| علی بایبوردی[۲]|علی اسماعیلی آبدر[۳]| مهدی محرمی[۴]| رضا صالحی[۵]✉| مهدیه محمودی[۶]| امیرمحمد جعفری[۷]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: m.abedini1374@ut.ac.ir

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج،، ایران. رایانامه: alibaybordi2021@ut.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران رایانامه: ali.esmaeili79@ut.ac.ir

۴. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mahdi.moharrami@ut.ac.ir

۵. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: salehir@ut.ac.ir

۶. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Mahdie.mahmody@ut.ac.ir

۷. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Jafari.amirmoham@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۱

تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

پاسخ اجتناب از سایه، فیتوکروم، کریپتوکروم، نور ترکیبی آبی قرمز، نور سبز.

چکیده

در این مطالعه، تأثیر طیف‌های مختلف نور LED شامل، صد درصد نور سبز (تک‌طیف)، چهل درصد نور قرمز + شصت درصد نور آبی (R40:B60)، هشتاد درصد نور قرمز + بیست درصد نور آبی (R80:B20)، نود درصد نور قرمز + ده درصد نور آبی (R90:B10)، با شدت ثابت ۱۰۰±۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، به‌مدت چهارده روز، روی نشای خیار رقم اُرِکا با هدف بهینه‌سازی برای پیوند موردارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع نشا در تیمار سبز با مقدار ۹/۰۷ سانتی‌متر و کمترین آن در تیمارهای (R40:B60) و (R80:B20) به‌ترتیب ۲/۹۲ و ۳/۳۲ سانتی‌متر رخ داد. بیشترین قطر ساقه در تیمار (R90:B10) با مقدار ۲/۳۶ میلی‌متر و کمترین آن در تیمارهای سبز و تیمار (R40:B60) به‌ترتیب ۱/۹۶ و ۲/۰۴ میلی‌متر اتفاق افتاد. طول ریشه در تیمار (R90:B10) ۸/۱۹ سانتی‌متر بیشترین و در سبز با ۵/۶۹ سانتی‌متر کمترین مقدار بود. وزن خشک ریشه در تیمارهای (R80:B20) و (R90:B10) به‌ترتیب با مقادیر ۰/۰۸۲۵ و ۰/۰۸۵۲ گرم بیشترین و در سبز با ۰/۰۳۱۹ گرم کمترین مقدار بود. سطح برگ در تیمار (R90:B10) با مقدار ۲۷/۴۱ سانتی‌متر مربع بیشترین شد و کمترین مقدار آن در تیمارهای (R40:B60) و سبز به‌ترتیب ۱۲/۱۸ و ۱۲/۱۹ سانتی‌متر مربع حاصل گشت. وزن خشک برگ در تیمار (R90:B10) با مقدار ۰/۳۱۳۸ گرم بیشترین مقدار و در تیمار سبز با مقدار ۰/۱۱۲۴ گرم کمترین مقدار بود و شاخص کیفیت نشا (DQI) به‌ترتیب مقدار، در تیمارهای (R80:B20، R40:B60، R90:B10) و سبز، با مقدار ۰/۰۷۸، ۰/۰۷۳، ۰/۰۷۲ و ۰/۰۲۳ رخ داد. بنابر نتایج به‌دست آمده ارتفاع نشا در تیمار نور سبز ۳۶ درصد بیشتر از بیشترین مقدار ارتفاع نشا در نورهای ترکیبی بود. افزایش درصد نور قرمز از چهل به نود درصد باعث افزایش ۱۳/۵ درصدی قطر ساقه شد. افزایش نور آبی سطح برگ و وزن خشک برگ را کاهش داد به‌طوری‌که با افزایش درصد نور آبی از ده به شصت درصد، به‌ترتیب حدود ۵۵ و ۳۸ درصد کاهش یافت. افزایش نور قرمز باعث افزایش طول و وزن خشک ریشه و سایر صفات ریشه شد؛ اما نور سبز باعث کاهش صفات ریشه گشت که به‌موجب‌آن، کاهش مقدار سطح برگ و وزن خشک برگ نیز در این تیمار اتفاق افتاد. درمجموع، ارزیابی می‌شود که تیمار نوری با نسبت هشتاد درصد نور قرمز و بیست درصد نور آبی می‌تواند برای تولید پیوندک خیار مناسب باشد.

استناد: *عابدینی، مصطفی؛ بایبوردی، علی؛ اسماعیلی آبدر، علی؛ محرمی، مهدی؛ صالحی، رضا؛ محمودی، مهدیه و جعفری، امیرمحمد* (۱۴۰۴). بهینه‌سازی رشد و کیفیت نشای پیوندک خیار برای پیوند تحت‌تأثیر طیف‌های مختلف نور LED. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۶ (۳)، ۷۲۳-۷۰۳. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.387983.2240

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.387983.2240

مقدمه

استفاده از نشای پیوندی در سبزی‌ها برای بهبود مقاومت گیاهان به بیماری‌های ناشی از خاک‌های آلوده، تحمل شرایط محیطی نامطلوب و افزایش کیفیت و عملکرد میوه در سراسر جهان درحال‌افزایش است (Bie *et al.*, 2017; Lee JungMyung *et al.*, 2010; Rouphael *et al.*, 2010). تولید نشاهای پیوندی در مقایسه با نشاهای غیرپیوندی دارای پیچیدگی بیشتری است؛ علاوه‌بر آن تغییرات آب و هوایی، تولیدکنندگان تجاری نشای پیوندی را برای تولید نشای باکیفیت با محدودیت‌های اساسی مواجه ساخته است (Leonardi & Romano, 2002). در محیط‌های غیرکنترل‌شده، تولید پایه و پیوندک با اندازه، یکنواختی و کیفیت مناسب، که ازجمله عوامل اصلیِ گیرایی پیوند و افزایش راندمان پیوند محسوب می‌شود، دشوار است و افزون‌برآن، تولید پایه و پیوندک باید در یک بازه زمانی مشخص و در تمام فصول سال امکان‌پذیر باشد. درنتیجه، برای حصول پایه و پیوندک با کیفیت‌تر در زمان مناسب و درنهایت، بهبود کیفیت و عملکرد محصول، کنترل تغییرات آب‌وهوایی ضروری است (Bisbis et al., 2019).

کارخانه‌های گیاهی مجهز به نور مصنوعی جایگزین بسیار مناسبی برای تولید محصولات باغی در شرایط تغییرات اقلیمی هستند (Kozai *et al.*, 2019) که با ایجاد شرایط کاملاً کنترل‌شده محیطی اعم از نور، دما، رطوبت، آبیاری، تغذیه و کربن‌دی‌اکسید ، به تولیدکنندگان این امکان را[1] می‌دهند که فارغ از شرایط آب‌وهوایی بیرون، بتوانند در هر زمان گیاهان با کیفیت تولید کنند. همچنین، در این ساختار امکان تولید دامنه متنوعی از گیاهان شامل سبزی‌های برگی، نشاها، گیاهان دارویی و گیاهان زینتی گلدانی وجود دارد (Kozai & Niu, 2016). با توجه به این‌که رشدونمو گیاهان عموماً تحت‌تأثیر عوامل محیطی ازجمله دما، کیفیت و شدت نور، دوره نوری، رطوبت نسبی و غلظت دی‌اکسید کربن است، به‌منظور به‌حداکثر رساندن بهره‌وری، تعیین محدوده بهینه شرایط محیطی با توجه به نوع محصول کشت‌شده و با درنظر گرفتن استفاده صیانتی از انرژی در کارخانه‌های گیاهی، بسیار مهم و ضروری است (Gruda, 2005).

تحقیقات درمورد PFALها در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی گسترش پیدا کرد و عمدتاً به بررسی شرایط محیطی مناسب جهت تولید نشاء در کارخانه‌های گیاهی معطوف شد؛ در کارخانه‌های گیاهی، مطالعات گسترده‌ای در سال‌های اخیر پیرامون استفاده از دیودهای ساطع‌کننده نور به‌عنوان منبع نوری انجام شدهٔ است که نشان از آن دارد که نورهای LED نسبت به سیستم روشنایی سنتی نظیر لامپ‌های فلئورسنت و متال‌هالیدی، دمای کمتری تولید می‌کنند؛ همچنین اندازه کوچک‌تر، طول عمر بیشتر و قابلیت تولید طول‌موج‌های مشخصی از نور، سبب افزایش قابل‌توجه کاربرد آن‌ها در PFALها شده است (Bourget, 2008). در این لامپ‌ها، به‌دلیل آنکه پیک‌های جذب نور توسط رنگیزه‌های گیاهی در طول‌موج‌های ۴۳۰ و ۶۶۳ نانومتر رخ می‌دهد (Massa *et al.*, 2008)، از طول‌موج آبی (چهارصد–پانصد نانومتر) و طول‌موج قرمز (شش‌صد–هفت‌صد) در لامپ‌های LED استفاده گردیده است (Chory, 2010). استفاده آگاهانه از طول‌موج‌های مخصوص در LEDها برای کنترل رفتار گیاه جهت دستیابی به اهداف خاص امکان‌پذیر است (Massa *et al.*, 2008).

در کارخانه‌های گیاهی نیز به‌کاربردن نورهای LED برای کنترل و مدیریت رشد گیاهان انجام شده به‌گونه‌ای‌که با تغییرات در نور، می‌توان به مدیریت طول محور زیرلپه، قطر ساقه، ماده خشک و کوتولگی نشا برای افزایش کیفیت و موفقیت پیوند دست یافت (Park *et al.*, 2020). با این حال، تحقیقات بیشتری برای یافتن طیف بهینه نور برای رشد و توسعه محصولات باغی در نورهای مصنوعی مانند LEDها، به‌عنوان تنها منبع روشنایی در نبود نور خورشید مورد نیاز است (Hernández & Kubota, 2016) و با توجه به اهمیت یافتن تولید سبزی‌های پیوندی ازجمله نشای خیار برای گلخانه‌ها، پژوهش روی نور به‌عنوان یک عامل کلیدی جهت تولید یک پیوندک مناسب ضروری است.

---

1. Plant Factory with Artificial Lighting (PFAL)
2. CO2
3. Light emitting diode

در این مطالعه به‌منظور تعیین شرایط بهینه نور (کیفیت نور) جهت تولید پیوندک باکیفیت خیار، اثر چهار تیمار نوری شامل نور سبز و سه ترکیب نوری قرمز و آبی، بر صفات مختلف نشا در یک کارخانه گیاهی مجهز به نورمصنوعی مورد بررسی قرارگرفت.

پیشینه پژوهش

با مشخص شدن اینکه مورفولوژی گیاهان در کارخانه‌های گیاهی تحت‌تأثیر نورهای تک‌طیف مختلف و نورهای ترکیبی قرمز–آبی قرار دارد، پژوهش‌های بسیاری با هدف شناسایی اثرات طیف‌های نوری روی گیاهان به‌منظور یافتن ترکیب رنگی (طیف) مناسب برای رشد گیاه، زیر نور مصنوعی انجام شد (Bantis *et al.*, 2018). مطالعاتی که به‌منظور مشخص نمودن مناسب‌ترین طیف ترکیبی نور LED، قرمز–آبی برای تولید پایه کدو و پیوندک هندوانه توسط بانتیس و همکاران (۲۰۱۹)، انجام شد، نشان داد که ترکیب‌های نوری حاوی نسبت بالای نور قرمز به آبی و همچنین ترکیبات نوری دارای نسبت بالای نور قرمز به قرمز دور (حدود سه واحد) برای تولید نشا با کیفیت پایه کدو و پیوندک هندوانه بسیار ایده‌آل می‌باشد. در تحقیقی دیگر که برای تعیین مناسب‌ترین طیف ترکیبی قرمز–آبی (نور LED)، روی نشای خیار گلخانه‌ای توسط کوبوتا و همکاران (۲۰۱۶)، انجام شد، مشخص گردید که با افزایش میزان نور آبی در ترکیب نوری آبی–قرمز، کاهش در صفات، سرعت رشد، وزن خشک و سطح برگ نشای خیار گلخانه‌ای اتفاق افتاد؛ از طرفی، نور تک‌رنگ آبی (صد درصد آبی) به‌شکل غیرمنتظره‌ای قد گیاه، وزن تر و خشک و سطح برگ را افزایش داد و کمترین میزان وزن خشک و تر نشا در استفاده از نور تک‌رنگ قرمز (صد درصد قرمز) بود. استفاده از نور سبز (۴۸۰–۵۶۰ نانومتر) باوجوداینکه میزان جذب بسیار کمی دارد، دارای اثرات مثبت بر مورفولوژی گیاهان است (Liu *et al.*, 2017)، نور سبز می‌تواند به سازگاری گیاه به شدت‌های مختلف نور کمک کند، همچنین به‌دلیل جذب کمتر نسبت به نورهای دیگر، می‌تواند در بافت‌ها و لایه‌های برگی، نفوذ عمیق‌تر نموده و باعث برانگیخته شدن فتوسیستم‌ها در سلول برگ‌های پایینی شود (Liu & Van Iersel, 2021). ازآنجایی‌که مطالعات کافی و جامع جهت مشخص نمودن کیفیت نوری مناسب برای تولید پیوندک خیار و مقایسه نور تک‌طیف سبز و نورهای ترکیبی قرمز–آبی برای مشخص نمودن اثرات آن بر مورفولوژی پیوندک خیار گزارش نشده، مطالعه حاضر با هدف تعیین مناسب‌ترین طیف نور برای تولید پیوندک با کیفیت خیار انجام پذیرفت.

روش شناسی پژوهش

مواد گیاهی و شرایط رشد

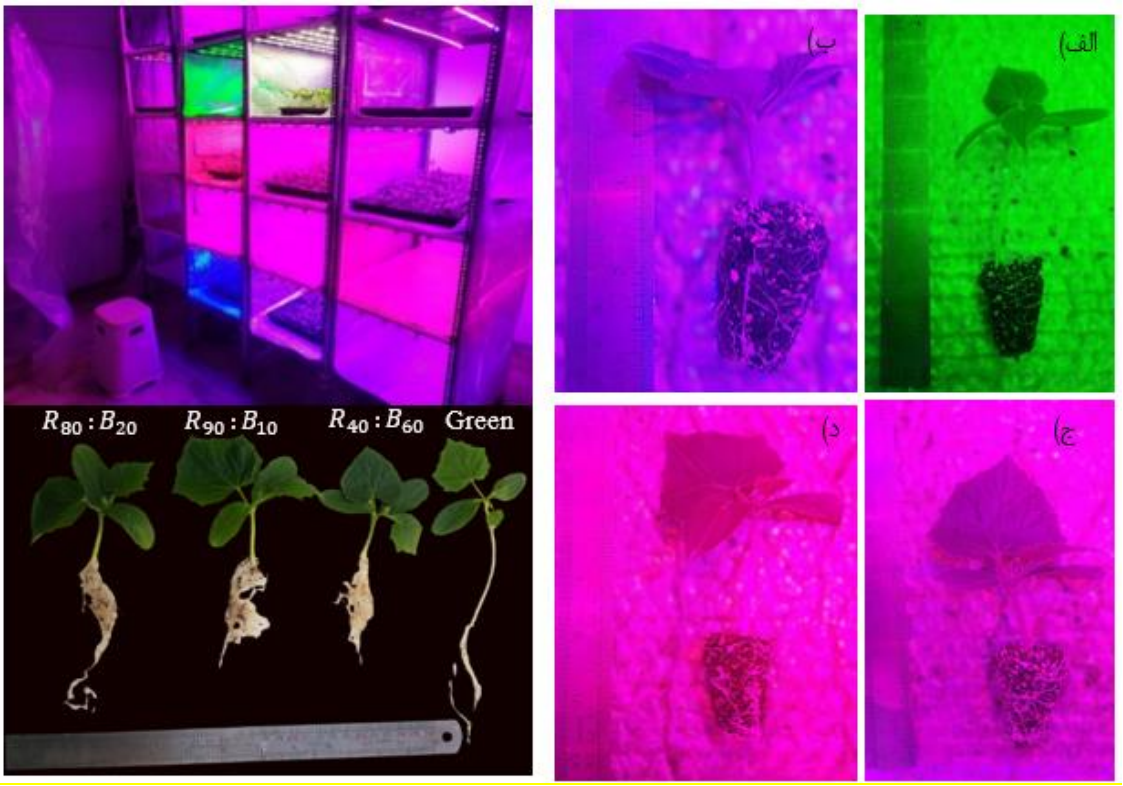
این آزمایش درقالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و پنج تکرار در اتاقک رشد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج انجام شد. بذور خیار رقم اورِکا شرکت کلوز فرانسه، در تاریخ ۱۹ فروردین۱۴۰۳، در سینی‌های ۱۲۸ حفره‌ای (۲۸ × ۵۸ سانتی‌متر) با حجم حفره شانزده سانتی‌متر مکعب و در بستر ترکیبی کوکوپیت– پرلایت با نسبت حجمی ۸۰:۲۰ و پوشش سطح بذر ورمی‌کولایت، کشت شدند. به‌منظور آب‌گیری بهتر بذور و یکنواختی جوانه‌زنی، سینی‌های کشت‌شده پس از آبیاری کامل، به اتاقک جوانه‌زنی با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی نود درصد و شرایط نوری تاریکی منتقل شد و پس از گذشت سه روز در تاریخ ۲۲ فروردین، خروج از اتاق جوانه‌زنی و انتقال به کارخانه گیاهی انجام شد.

در شرایط محیطی کنترل‌شده کارخانه گیاهی که به‌صورت دمای روز ۱±۲۵ درجه سلسیوس و دمای شب ۱±۱۸ درجه سلسیوس و شدت تابش صد میکرومول بر مترمربع در ثانیه و طول دوره روشنایی شانزده ساعت و رطوبت نسبی ۷۵ درصد بود رشد پیدا کردند (شکل ۱). در طول دوره رشد، تمام تیمارها با محلول غذایی هوگلند دو با اسیدیتی (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) به‌ترتیب معادل ۵/۵ و ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌صورت یک روز در میان از کف آبیاری شدند.

تیمارهای نوری

سینی‌های پیوندک خیار در یک کارخانه گیاهی شامل چهار قفسه، که هر قفسه دارای چهار طبقه با ابعاد طول، عرض و ارتفاع به‌ترتیب ۹۰، ۶۳ و ۴۰ سانتی‌متر (ابعاد هر طبقه) بود، قرار گرفتند (شکل ۱). در هر قفسه از سه نوار رشته‌ای نور LED (شرکت ایران گرولایت) با طیف متفاوت و شدت ثابت ۵±۱۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه استفاده شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار کیفیت نور شامل نور سبز (صد درصد) و سه ترکیب نوری آبی و قرمز با نسبت‌های ۴۰:۶۰، ۸۰:۲۰، ۹۰:۱۰ (R40:B60-R80:B20-R90:B10) بودند (شکل ۱).

پس از هفده روز از کشت بذور، در ۵ اردیبهشت ۱۴۰۳ ارزیابی نشاهای خیار برای استفاده به‌عنوان پیوندک انجام شد و ویژگی‌های رشدی نشا با اندازه‌گیری پنج نمونه تصادفی از هر تکرار انجام گرفت. صفات وزن تر ریشه، دمبرگ، محور زیرلپه، محور رولپه، برگ‌های حقیقی و برگ‌های لپه‌ای و وزن تر کل نشا با استفاده از ترازو دیجیتال (شرکت Dongguan Ming Heng Electronic Technology Co., Ltd مدل YP-MH-0.01-100GR) با دقت ۰/۰۱گرم و صفات وزن خشک کل نشا، ریشه، دمبرگ، محور زیرلپه، محور رولپه، برگ‌های حقیقی و لپه‌ای پس از خشک شدن کامل در آون با دمای ۱۰۴ درجه سانتیگراد به‌مدت ۴۸ ساعت با ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، مورد ارزیابی قرار گرفت. ارتفاع نشا با استفاده از خط‌کش با دقت ۰/۱ سانتی‌متر از یقه ریشه تا نوک جوانه اندازه‌گیری شد. ارتفاع محور رولپه، طول دمبرگ، قطر دمبرگ و قطر ساقه پیوندک با استفاده از کولیس دیجیتال (DNC 0-150 mm STAINLESS HARDENED) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. حجم ریشه به‌روش وزنی با استفاده از پنجاه میلی‌لیتر آب و ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.



شکل ۱. اتاقک رشد (بالا سمت چپ) و تیمارهای نوری مختلف (بالا سمت راست) استفاده‌شده در آزمایش بر روی نشای خیار به‌ترتیب الف) نور سبز (Green)، ب) ترکیب نوری چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (R40:B60)، ج) ترکیب نوری هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (R80:B20) و د) ترکیب نوری نود درصد قرمز و ده درصد آبی (R90:B10) و تصویر کلی نشا پیوندک خیار (رقم اورِکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول موج‌های مختلف نور (پایین سمت چپ)

اندازه‌گیری سطح برگ، طول، عرض و شاخص سبزینگی برگ‌های حقیقی و لپه‌ای (DGCI) با برنامه petiole pro انجام شد. برای اندازه‌گیری طول و عرض برگ، معیار اندازه‌گیری بیشترین فاصله بین لبه‌های برگ بود. پس از اسکن برگ و ریشه‌ها با استفاده از اسکنر شرکت Canon با نرم افزار Digimizer version 6.4.0 اندازه طول و قطر ریشه اندازه‌گیری شد.

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم Ⅱ (Fm/Fv) با دستگاه فلورسنس‌متر مدل Hansatech Instruments Ltd Handy PEA Data اندازه‌گیری و با نرم‌افزار PEA Plus Version: 1.02 آنالیز گردید (Fm : حداقل فلورسنس و Fv: حداکثر فلورسنس در شرایط سازگاری با تاریکی) (Baker & Rosenqvist, 2004).

همچنین جهت ارزیابی کیفیت نشاهای رشدیافته زیر طیف‌های مورد مطالعه، شاخص فشردگی یا کوتولگی (Compactness)، شاخص سطح برگ (Leaf Area Index)، نسبت سطح برگ (Leaf Area Ratio) و سطح ویژه برگ (Specific leaf area)، شاخص کیفیت نشای دیکسون ((Dickson's quality index (DQI) و کارایی مصرف نور (Light use efficiency) با استفاده از روابط زیر (An *et al.*, 2021; Dickson *et al.*, 1960; Lin *et al.*, 2013) مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفت (رابطه ۱-۶):

$$\text{Compactness(g/cm)} = \frac{\text{Shoot dry weight (g)}}{\text{Plant height (cm)}}$$ رابطه ۱)

$$\text{LAI} = \frac{\text{Leaf area(cm}^2\text{)}}{\text{Tray area(cm}^2\text{)}}$$ رابطه ۲)

$$\text{LAR} = \frac{\text{Leaf area(cm}^2\text{)}}{\text{Shoot dry weight (g)}}$$ رابطه ۳)

$$\text{SLA} = \frac{\text{Leaf area(cm}^2\text{)}}{\text{Leaf dry weight (g)}}$$ رابطه ۴)

$$\text{LUE} = \frac{\text{Total dry weight (g)}}{\text{Light integral(mol/m}^2\text{)}}$$ رابطه ۵)

$$\text{Dickson quality index} = \frac{\text{Total dry weight (g)}}{\frac{\text{Height (cm)}}{\text{Stem diameter(mm)}} + \frac{\text{Shoot dry weight(g)}}{\text{Root dry weight(g)}}}$$ رابطه ۶)

- **Compactness**: میزان کوتولگی برحسب گرم بر سانتی‌متر؛
- **Shoot dry weight**: ماده خشک شاخساره براساس گرم؛
- **Plant height**: ارتفاع نشا برحسب سانتی‌متر؛
- **LAI**: شاخص سطح برگ؛
- **Leaf area**: سطح برگ برحسب سانتی‌متر مربع؛
- **Tray area**: سطح سینی برحسب سانتی‌متر مربع؛
- **LAR**: نسبت سطح برگ برحسب سانتی‌متر مربع بر گرم ماده خشک؛
- **SLA**: سطح ویژه برگ برحسب سانتی‌متر مربع بر گرم ماده خشک برگ؛
- **Leaf dry weight**: وزن خشک برگ نشا برحسب گرم؛
- **LUE**: کارایی مصرف نور برحسب گرم متر مربع بر مول انرژی؛
- **Total dry weight**: ماده خشک کل نشا برحسب گرم؛
- **Light integral**: نور تجمعی برحسب مول بر متر مربع؛
- **Dickson quality index**: شاخص کیفیت نشای دیکسون؛

- **Stem diameter**: قطر نشا برحسب میلی‌متر؛
- **Root dry weight**: وزن خشک ریشه برحسب گرم.

تحلیل آماری

این مطالعه درقالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و پنج تکرار انجام شد و در هر تکرار پنج نمونه اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزارSAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ انجام گردید. ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

یافته‌های پژوهشی

تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات مختلف کیفیت نور را بر روی صفات مختلف نشای خیار نشان داد (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای نور سبز و سه ترکیب نوری قرمز و آبی (R40:B60-R80:B20-R90:B10) به‌مدت چهارده روز بر صفات مورد مطالعه در نشا پیوندک خیار رقم اورِکا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		ارتفاع نشا	قطر ساقه	وزن تر کل نشا	وزن خشک کل نشا	قطر ریشه	میانگین طول توده ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	وزن تر دمبرگ
تیمار	۳	۳۹/۹۶**	۰/۱۵۱۰**	۳۶/۲۷**	۰/۱۱۴۱**	۰/۰۰۰۱۴۵۴**	۶/۱۰۶۴**	۳/۳۵۷۱**	۰/۰۰۳۱۵**	۴/۴۲۷۸۲**	۰/۰۵۳۶۲**
خطا	۱۶	۰/۶۰۰۷	۰/۰۰۲۲۳	۰/۰۹۶۱	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۰۵۸	۰/۰۴۸۸	۰/۰۰۶۲۶	۰/۰۰۰۰۰۳۴	۰/۰۵۰۰۷	۰/۰۰۰۲۱
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۴/۷۱	۲/۱۳	۳/۳۰	۲/۶۸	۳/۴۷	۶/۰۳	۴/۰۰	۲/۶۷	۵/۴۵	۵/۸۷

ادامه جدول ۱.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		وزن خشک دمبرگ	طول دمبرگ کوچک	طول دمبرگ بزرگ	قطر دمبرگ	طول محور زیرلپه	طول محور رولپه	وزن تر محور زیرلپه	وزن خشک محور زیرلپه	وزن تر محور رولپه	وزن خشک محور رولپه
تیمار	۳	۰/۰۰۰۱۸**	۲۳/۳۴۵۷**	۱۲/۸۰۳۸**	۰/۶۲۲۹۸**	۳۴۴۹/۲۴**	۲۲/۲۵۸۱**	۱/۳۲۰۱**	۰/۰۰۰۹۵**	۰/۰۳۰۴**	۰/۰۰۰۰۷۵**
خطا	۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۲۵	۰/۰۸۸۴۱	۰/۱۱۵۱۹	۰/۰۰۳۲۳	۰/۲۵۶۶۴	۰/۰۵۵۵۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱۶۵	۰/۰۰۰۰۰۰۰۴
ضریب تغییرات (درصد)	–	۳/۹۵	۴/۹۶	۲/۵۴	۳/۵۷	۱/۱۳	۵/۲۷	۵/۳۲	۵/۲۸	۵/۸۴	۱/۶۹

ادامه جدول ۱.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		وزن تر برگ‌های حقیقی	وزن خشک برگ‌های حقیقی	طول برگ حقیقی	عرض برگ حقیقی	سطح برگ برگ حقیقی	وزن تر برگ‌های لپه‌ای	وزن خشک برگ‌های لپه‌ای	طول برگ لپه‌ای	عرض برگ لپه‌ای	سطح برگ برگ‌های لپه‌ای
تیمار	۳	۳/۹۷۳۲**	۰/۰۳۷۴۵**	۳/۵۵۹۷**	۴/۷۵۴۹**	۲۷۹/۴۷۹**	۰/۸۰۰۷**	۰/۰۰۸۷**	۰/۵۶۴۴۲**	۰/۱۹۹۲**	۷/۸۸۲۸**
خطا	۱۶	۰/۰۰۱۷۶	۰/۰۰۰۰۴۰۷۶	۰/۰۰۱۵۳	۰/۰۰۱۷۲	۰/۸۸۲۱	۰/۰۰۰۷۹	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۱۷۳	۰/۰۰۰۷۳	۰/۱۴۴۵۶
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲/۱۳	۲/۹۲	۰/۹۷	۰/۸۵	۵/۱۳	۱/۱۳	۳/۳۴	۳/۰۷	۱/۲۵	۴/۹۲

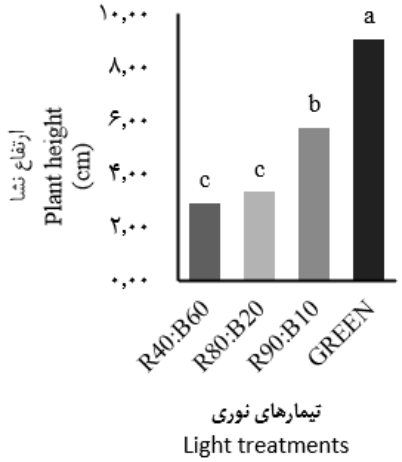
ادامه جدول ۱.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		سبزینگی برگ حقیقی (DGCI)	سبزینگی برگ لپه‌ای (DGCI)	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fm/Fv)	شاخص کوتولگی نشا (Compactness)	شاخص سطح برگ (LAI)	شاخص نسبت سطح برگ (LAR)	شاخص کیفیت نشا (DQI)	سطح ویژه برگ (SLA)	کارایی مصرف نور (LUE)
تیمار	۳	۴/۶۳۳۵**	۶۹/۵۱۷۶**	۰/۰۰۰۶۱**	۰/۰۱۴۱۹**	۷/۰۳۹۸**	۱۳۷۶/۰۹**	۰/۰۰۳۲۹۷**	۲۱۵۲/۴۵**	۰/۰۰۳۴۶**
خطا	۱۶	۰/۰۰۴۹	۱/۰۹۱۶	۰/۰۰۰۰۵۴	۰/۰۰۰۰۳۹	۰/۰۱۷۷	۲۱/۰۶۱۲	۰/۰۰۰۰۰۹۴۹	۹/۷۹۸۴	۰/۰۰۰۰۰۳۵۸
ضریب تغییرات (درصد)	–	۰/۱۸	۲/۷۰	۰/۹۰	۵/۷۰	۴/۶۲	۵/۴۱	۴/۹۹	۳/۵۹	۲/۲۰

در جدول علامت‌های ** معنادار در سطح احتمال یک درصد، * معناداری در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد، ns عدم‌معناداری است.

ارتفاع نشا

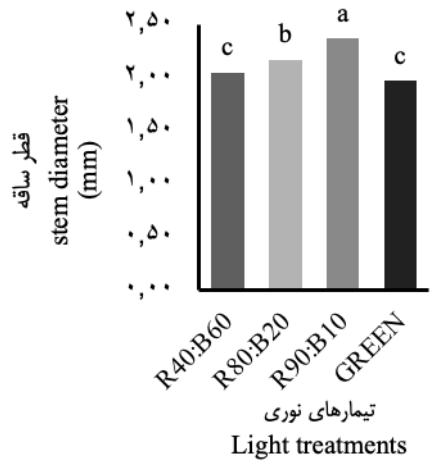
با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر تیمار های نوری روی ارتفاع نشا معنادار شد و در تیمار نور سبز بیشترین مقدار (۹/۰۷ سانتی متر) بود؛ درحالی‌که در تیمارهای R40:B60 و R80:B20 به‌ترتیب با ۲/۹۲ و ۳/۳۲ سانتی‌متر، کمترین مقدار را داشت. درکل، با افزایش نور قرمز، ارتفاع افزایش یافت؛ بااین‌حال، بیشترین افزایش در نور سبز رخ داد (نمودار ۱).



نمودار ۱. مقایسه میانگین ارتفاع نشا پیوندک خیار (رقم اورِکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول‌موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور نود درصد قرمز و ده درصد آبی (R90:B10). در هر ستون، حروف مشابه نشان‌دهنده عدم‌وجود تفاوت معنادار به‌لحاظ آماری در سطح ۰/۰۱ درصد بین تیمارهای مربوطه است.

قطر ساقه

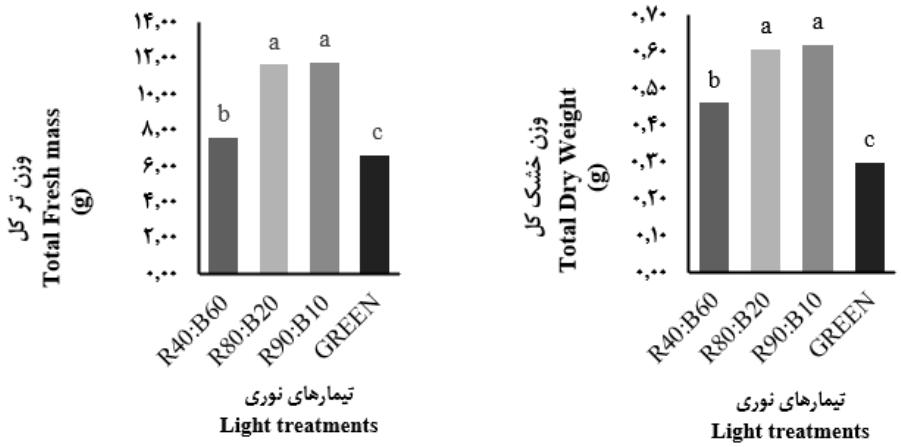
بیشترین قطر ساقه در تیمار R90:B10 (۲/۳۶ میلی‌متر) اتفاق افتاد. همچنین قطر ساقه با افزایش درصد نور قرمز افزایش پیدا کرد به‌طوری‌که در تیمار R90:B10 (۲/۳۶ میلی‌متر) به‌ترتیب ۸/۴۷ و ۱۳/۵ درصد از تیمارهای R80:B20 (۲/۱۶ میلی متر) و R40:B60 (۲/۰۴ میلی‌متر) بیشتر بود. کمترین قطر ساقه در تیمارهای سبز (۱/۹۶ میلی‌متر) و تیمار R40:B60 (۲/۰۴ میلی متر) اتفاق افتاد ولی بین این دو تیمار به‌لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود نداشت.



نمودار ۲. مقایسه میانگین قطر ساقه نشا پیوندک خیار (رقم اورکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول‌موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور نود درصد قرمز و ده درصد آبی (R90:B10). در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده عدم‌وجود تفاوت معنادار به‌لحاظ آماری در سطح ۰/۰۱ درصد بین تیمارهای مربوطه است.

وزن تر و خشک نشا

وزن تر و خشک کل نشا در تیمار R90:B10 با مقادیر ۱۱/۷۹ و ۰/۶۲ گرم بیشترین و در تیمار سبز با مقادیر ۶/۶۰۲ و ۰/۲۹۸ گرم کمترین مقدار بود با این حال در جفت تیمارهای R80:B20 و R90:B10 تفاوت معنادار نشد. با افزایش نور قرمز افزایش در وزن تر و خشک کل اتفاق افتاد (نمودار ۳).



نمودار ۳. مقایسه میانگین وزن تر و خشک نشا پیوندک خیار (رقم اورِکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول‌موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور نود درصد قرمز و ده درصد آبی (R90:B10). در هر ستون حروف مشابه نشان‌دهنده عدم‌وجود تفاوت معنادار به‌لحاظ آماری در سطح ۰/۰۱ درصد بین تیمارهای مربوطه است.

ریشه

میانگین طول، قطر، حجم، وزن خشک و تر ریشه در تیمار سبز کمترین مقدار بود. وزن تر و خشک و حجم ریشه دو تیمار R80:B20 و R90:B10 بیشترین مقدار بود. با افزایش نور قرمز وزن تر، وزن خشک، حجم و طول ریشه روندی افزایشی داشت (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مربوط به ریشه‌های نشا پیوندک خیار (رقم اورِکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول‌موج‌های مختلف نور سبز (**Green**) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (**R40:B60**)، ترکیب نور هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (**R80:B20**) و ترکیب نور نود درصد قرمز و ده درصد آبی (**R90:B10**)

تیمارهای نوری	وزن تر ریشه (g)	حجم ریشه (cc)	وزن خشک ریشه (g)	میانگین طول توده ریشه (cm)	میانگین قطر ریشه (cm)
R40:B60	۱/۸۴ b	۴/۰۲ b	۰/۰۷۷۴ b	۷/۵۵ b	۰/۰۷۰ b
R80:B20	۲/۵۵ a	۴/۶۹ a	۰/۰۸۲۵ a	۷/۷۶ b	۰/۰۷۶ a
R90:B10	۲/۶۶ a	۴/۸۳ a	۰/۰۸۵۲ a	۸/۱۹ a	۰/۰۷۰ b
green	۰/۸۸ c	۲/۸۱ c	۰/۰۳۱۹ c	۵/۶۹ c	۰/۰۶۳ c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند.

دمبرگ

طول دمبرگ بزرگ (اولین برگ حقیقی) و دمبرگ کوچک (جوان‌ترین برگ) در تیمار R40:B60 کمترین مقدار را داشت. بیشترین طول، قطر دمبرگ و وزن خشک را در تیمار R90:B10 و کمترین آن در تیمار سبز رخ داد. وزن تر دمبرگ روند مشابهی را ثبت کرد؛ بااین‌حال، در تیمارهای R90:B10 و R80:B20 تفاوت معناداری دیده نشد و به‌طورکلی، افزایش نور قرمز و استفاده از نور تک‌رنگ سبز باعث افزایش طول دمبرگ‌ها شد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مربوط به دمبرگ نشا پیوندک خیار (رقم اورِکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول‌موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور نود درصد قرمز و ده درصد آبی (R90:B10)

تیمارهای نوری	طول دمبرگ کوچک (mm)	طول دمبرگ بزرگ (mm)	قطر دمبرگ (mm)	وزن تر دمبرگ (g)	وزن خشک دمبرگ (g)
R40:B60	۳/۲۲ d	۱۱/۲۸ c	۱/۵۷ b	۰/۱۷ b	۰/۰۰۷۶ c
R80:B20	۵/۵۱ c	۱۲/۹۱ b	۱/۶۷ b	۰/۳۳ a	۰/۰۱۶۹ b
R90:B10	۸/۲۲ a	۱۴/۸۱ a	۱/۹۹ a	۰/۳۵ a	۰/۰۱۸۶ a
Green	۷/۰۴ b	۱۴/۴۰ a	۱/۱۴ c	۰/۱۵ b	۰/۰۰۷۵ c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند.

محور رولپه و زیرلپه

مقدار طول محور رولپه به ترتیب در سبز، R90:B10، R80:B20 و R40:B60 بیشترین بود. طول محور زیرلپه نیز روندی مشابه محور رو لپه داشت با این حال بین R40:B60 و R80:B20 معنادار نشد. وزن تر و خشک محور زیرلپه سبز بیشترین و R40:B60 کمترین مقدار را داشت. وزن تر و خشک محور رولپه در تیمار R90:B10 بیشترین مقدار را داشت (جدول ۴).

جدول ٤. مقایسه میانگین صفات مربوط به محور زیرلپه و رولپه نشا پیوندک خیار (رقم اورِکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول‌موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور نود درصد قرمز و ده درصد آبی (R90:B10)

تیمارهای نوری	وزن تر محور زیرلپه (g)	ورن تر محور رولپه (g)	طول محور زیرلپه (cm)	طول محور رولپه (mm)	وزن خشک محور زیرلپه (g)	وزن خشک محور رولپه (g)
R40:B60	۰/۵۱ d	۰/۱۳ d	۲۵/۵۵ c	۲/۳۹ d	۰/۰۲۲۶ d	۰/۰۰۸۳ d
R80:B20	۰/۷۸ c	۰/۲۷ b	۲۶/۴۲ c	۳/۵۹ c	۰/۰۳۲۵ c	۰/۰۱۲۵ b
R90:B10	۱/۱۴ b	۰/۳۰ a	۴۵/۱۳ b	۴/۵۸ b	۰/۰۴۲۲ b	۰/۰۱۶۷ a
Green	۱/۷۰ a	۰/۱۸ c	۸۱/۶۹ a	۷/۳۴ a	۰/۰۵۴۳ a	۰/۰۰۸۹ c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند.

ویژگی‌های برگ‌ها

طول، عرض، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ‌های حقیقی و لپه‌ای در تیمارهای R90:B10 بیشترین مقدار شد و به‌جز سطح برگ حقیقی، در بقیه صفات برگ‌ها، تیمار سبز کمترین مقدار را داشت. نتایج نشان داد افزایش نور قرمز باعث افزایش اندازه برگ‌ها و افزایش نور آبی به شصت درصد، باعث کاهش در اندازه برگ‌ها شد. در سطح برگ‌های حقیقی طول و عرض برگ‌های لپه‌ای بین تیمار R40:B60 و سبز تفاوت معناداری وجود نداشت و در مقایسه با سایر تیمارها کمترین مقدار را داشت و به‌طورکلی، با افزایش اندازه برگ‌ها وزن برگ‌ها نیز افزایش پیدا کرد (جدول ۵ و ۶).

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مربوط به برگ‌های حقیقی نشا پیوندک خیار (رقم اورِکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول‌موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور نود درصد قرمز و ده درصد آبی (R90:B10)

تیمارهای نوری	وزن تر برگ حقیقی (g)	وزن خشک برگ‌های حقیقی (g)	طول برگ حقیقی(cm)	عرض برگ حقیقی(cm)	سطح برگ حقیقی(cm^2)
R40:B60	۱/۶۳ c	۰/۱۹۱۵ c	۳/۴۲ c	۴/۲۵ c	۱۲/۱۸ c
R80:B20	۲/۴۲ b	۰/۲۵۵۹ b	۴/۶۵ b	۵/۵۴ b	۲۱/۴۶ b
R90:B10	۲/۹۳ a	۰/۳۱۳۸ a	۴/۸۱ a	۵/۸۲ a	۲۷/۴۱ a
Green	۰/۹۰ d	۰/۱۱۲۴ d	۳/۱۶ d	۳/۸۱ d	۱۲/۱۹ c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند.

جدول ٦. مقایسه میانگین صفات مربوط به برگ‌های لپه‌ای نشا پیوندک خیار (رقم اورِکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول‌موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور نود درصد قرمز و ده درصد آبی (R90:B10)

تیمارهای نوری	وزن تر برگ‌های لپه‌ای(g)	وزن خشک برگ‌های لپه‌ای(g)	طول برگ لپه‌ای(cm)	عرض برگ لپه‌ای(cm)	سطح برگ لپه‌ای(cm^2)
R40:B60	۲/۵۲ c	۰/۱۷۶۵ b	۴/۰۷ b	۱/۹۸ c	۷/۲۷ b
R80:B20	۲/۷۳ b	۰/۱۸۲۵ b	۴/۵۲ a	۲/۲۷ b	۸/۶۴ a
R90:B10	۲/۸۰ a	۰/۱۹۴۴ a	۴/۶۳ a	۲/۳۹ a	۸/۸۴ a
green	۱/۹۲ d	۰/۱۰۲۰ c	۳/۹۴ b	۲/۰۱ c	۶/۱۶ c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند.

شاخص‌های کارکردی برگ‌ها

شاخص سبزینگی برگ‌های حقیقی و لپه‌ای در تیمار نور تک‌رنگ سبز کمترین مقدار و در تیمار R40:B60 بیشترین مقدار را داشت. آنالیز حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم Ⅱ پس از نرمال کردن داده‌ها نشان داد که حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم Ⅱ در تمام تیمارها تقریبا ۰/۸ است و فقط در بین تیمارهای سبز و R40:B60 در سطح ۰/۰۱ درصد تفاوت معنادار وجود دارد (جدول ۷).

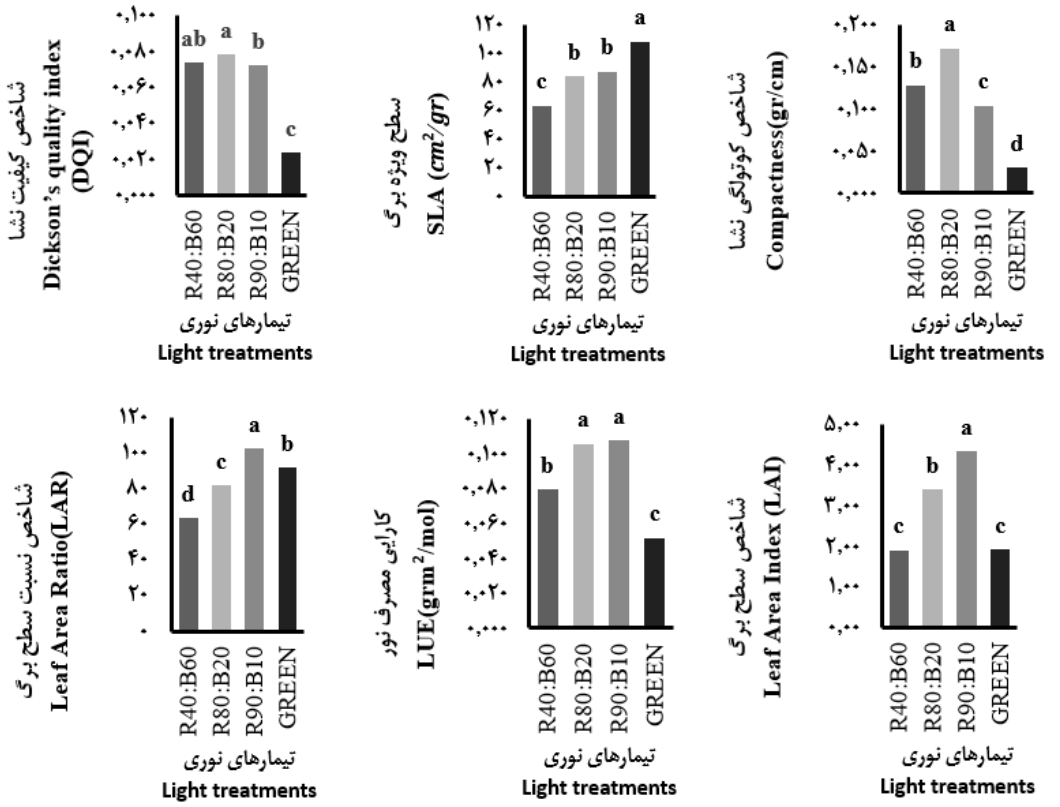
جدول ۷. مقایسه میانگین شاخص‌های کارکردی برگ‌های نشا پیوندک خیار (رقم اورِکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول‌موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور نود درصد قرمز و ده درصد آبی (R90:B10)

تیمارهای نوری	شاخص سبزینگی برگ‌های حقیقی	شاخص سبزینگی برگ‌های لپه‌ای	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم Ⅱ (Fv/Fm)
R40:B60	۴۰/۷۷ a	۴۲/۵۶ a	۰/۷۹۳ b
R80:B20	۳۹/۹۳ b	۳۹/۹۶ b	۰/۸۱۰ ab
R90:B10	۳۹/۹۱ b	۳۸/۳۶ b	۰/۸۱۱ ab
Green	۳۸/۴۶ c	۳۳/۶۹ c	۰/۸۲۸ a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند.

شاخص‌های کیفیت نشا

آنالیز شاخص کوتولگی نشا پس از نرمال کردن داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار برای تیمار R80:B20، R40:B60، R90:B10 و سبز به‌ترتیب با مقدار ۰/۱۷۲، ۰/۱۲۸، ۰/۱۰۴، ۰/۰۳۰ گرم بر سانتی‌متر معنادار شد. شاخص سطح برگ (LAI) نیز تیمار R90:B10 بیشترین (۴/۳۲) و تیمارهای سبز و R40:B60 کمترین مقدار را داشتند (۱/۹۲ و ۱/۸۹). شاخص نسبت سطح برگ (LAR) در تیمار R90:B10 با مقدار ۱۰۲/۵۶ و در R40:B60 با مقدار ۶۳/۴۹ به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بودند و همچنین تیمار سبز بیشترین سطح ویژه برگ را با مقدار ۱۰۸/۴۶ سانتی‌متر مربع بر گرم ثبت نمود. در مصرف نور، تیمارهای R90:B10 و R80:B20 بیشترین کارایی را (۰/۱۰ گرم در مترمربع بر مول) داشتند. شاخص کیفیت نشا، تیمارهای R80:B20، R40:B60، R90:B10 و سبز به‌ترتیب مقدار ۰/۰۷۸، ۰/۰۷۳، ۰/۰۷۲ و ۰/۰۲۳ ثبت نمود (نمودار ۴).



نمودار ٤. مقایسه میانگین شاخص‌های کیفیت نشا پیوندک خیار (رقم اورِکا) پرورش‌یافته به‌مدت چهارده روز تحت طول‌موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور چهل درصد قرمز و شصت درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور هشتاد درصد قرمز و بیست درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور نود درصد قرمز و ده درصد آبی (R90:B10). در هر ستون، حروف مشابه نشان دهنده عدم‌وجود تفاوت معناداری از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۱ درصد بین تیمارها است.

بحث

در این تحقیق، ارتفاع نشا در تیمار نور سبز (۹/۰۷ سانتی‌متر) ۳۶ درصد بیشتر از تیمار R90:B10 (۵/۷۴ سانتی‌متر) بود و کمترین مقدار، در تیمارهایی با نور آبی بیشتر رخ داد. یافته‌های قبلی در تأیید نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش حاکی‌ازآن است که با افزایش میزان نور سبز در شدت‌های نوری مختلف، میزان ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد. در یک مقایسه در تعدادی گیاه تک‌لپه و دولپه‌ای ازجمله خیار، بیشترین ارتفاع گیاه در تیمارهای رخ داد که میزان بالایی نور سبز داشتند (Snowden *et al.*, 2016). در تحقیقات دیگر مشخص گردید افزایش میزان نور قرمز در ترکیب‌های نوری باعث افزایش ارتفاع گیاه شده و گیاهانی که در معرض نور قرمز قرار داشتند، باریک و بلند بودند درحالی‌که گیاهانی که در معرض نور آبی قرار گرفته بودند گیاهان کوتاه و قوی تولید کرده بودند (Gao *et al.*, 2022).

نتایج این تحقیق نشان داد که قطر ساقه با افزایش درصد نور قرمز افزایش پیدا کرد به‌طوری‌که در تیمار R90:B10 (۲/۳۶ میلی‌متر) به‌ترتیب ۸/۴۷ و ۱۳/۵ درصد از تیمارهای R80:B20 (۲/۱۶ میلی‌متر) و R40:B60 (۲/۰۴ میلی‌متر) بیشتر بود. کمترین قطر ساقه برای تیمارهای سبز (۱/۹۶ میلی‌متر) و تیمار R40:B60 (۲/۰۴ میلی‌متر) اتفاق افتاد. مطالعات دیگری نشان داده‌اند که در کارخانه‌های تولید گیاه، هنگام استفاده از ترکیب‌های نوری قرمز–آبی با افزایش میزان نور آبی، قطر ساقه گیاه کاهش پیدا می‌کند (Jin *et al.*, 2023) و آزمایشی دیگر بیان داشت که تغییرات قطر ساقه در خیار، زیر نورهای مختلف، الگوی مشخصی نداشت اما قرارگیری در معرض نوری‌ها تک‌رنگ سبز و قرمز نسبت به نور تک‌رنگ آبی منجر به تولید گیاهانی با قطر ساقه کمتر شد (Claypool & Lieth, 2021).

بر اساس نتایج این آزمایش، افزایش نور قرمز باعث افزایش اندازه برگ‌ها و به‌دنبال آن ، افزایش وزن تر و خشک برگ گردید و روندی مشابه در برگ‌های لپه نیز رخ داد. در برگ‌های حقیقی در تیمار R90:B10، سطح برگ و وزن خشک برگ (۲۷/۴۱ و ۰/۳۱۳۸) بیشترین مقدار را داشت که نسبت به تیمار R40:B60 (۱۲/۱۸ و ۰/۱۹۱۵) به‌ترتیب حدود ۵۵ و ۳۸ درصد بیشتر بود. نور سبز نیز باعث کاهش مقدار سطح برگ و وزن خشک برگ گردید. در مطالعات دیگر درخصوص شدت نور بالا در خیار، افزایش نسبت نور آبی به قرمز باعث کاهش معنادار سطح برگ شد؛ همچنین مشخص گردید که کاهش سطح برگ در تیمارهایی با میزان بالای نور آبی یا نور سبز در گیاهان دو لپه‌ای می‌تواند منجر به کاهش معنادار در وزن تر و خشک برگ‌ها شود (Snowden *et al*., 2016). مشابه آنچه در این پژوهش رخ داد، افزایش میزان نور آبی در گیاه خیار تا ۷۵ درصد باعث کاهش سطح برگ و وزن خشک گیاه شد (Hernández & Kubota, 2016). بااین‌حال، نتایج این آزمایش با اثر اجتناب از سایه در نور سبز که باعث افزایش طول برگ می‌شود مطابقت نداشت (Meng *et al*., 2019; Snowden *et al*., 2016).

نکته قابل‌توجه آن است که در این آزمایش، طول و وزن خشک ریشه با افزایش نور قرمز افزایش یافته و در نور سبز کمترین مقدار را داشت چنان‌که مطالعه‌ای روی گیاه گشنیز نیز مشخص نمود که افزایش نور آبی در ترکیب‌های نوری آبی و قرمز، باعث کاهش وزن خشک و تر ریشه شد (Gao *et al*., 2022). ازآنجاکه کیفیت نور در القای تولید ریشه‌ها نقش دارد (Lin *et al*., 2013) و ریشه‌های قوی با فراهم نمودن آب و مواد غذایی، رشد شاخساره‌ها را پشتیبانی می‌کنند، متقابلاً گیاهانی که به‌علت آبیاری زیاد یا کمبود نور دارای ساقه‌های درازترند، ریشه‌های کوچکی خواهند داشت که نمی‌توانند به‌اندازه کافی آب و مواد غذایی مورد نیاز را جذب کنند و درنهایت، باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (Johkan *et al*., 2012). می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که کاهش صفات مختلف در ریشه در تیمار سبز به‌همین‌علت بوده باشد.

در این پژوهش، مقدار طول محور روپه به‌ترتیب در سبز، R90:B10، R80:B20 و R40:B60 بیشترین بود. طول محور زیرلپه نیز روندی مشابه محور روپه داشت بااین‌حال اختلاف بین تیمارهای R40:B60 و R80:B20 معنادار نشد. در برخی تحقیقات دیگر روی خیار، افزایش نور آبی در ترکیب‌های نوری قرمز و آبی باعث کاهش طول محور زیرلپه شد؛ بااین‌حال به‌طورغیرمنتظره‌ای در نور تک‌رنگ آبی ارتفاع گیاه، طول محور زیرلپه و محور روپه و سطح برگ افزایش یافت؛ همچنین طول محور روپه با افزایش نور آبی روندی نزولی داشت ولیکن ازلحاظ آماری معنادار نشد (Hernández & Kubota, 2014; Hernández & Kubota, 2016).

مطالعات نشان داده که نور آبی با طول‌موج ۴۵۰ نانومتر دارای حداکثر فعالیت کریپتوکرومی است و با تحریک گیرنده‌های کریپتوکروم می‌تواند باعث کوتولگی نشا شود (Jinxiu *et al*., 2017; Liu & Van Iersel, 2021). تحریک فیتوکروم در طیف نوری آبی منجر به عدم‌تعادل بین کریپتوکروم و فیتوکروم گردیده و از سوی دیگر، انرژی بالاتر نور آبی نسبت به نور قرمز می‌تواند باعث تولید بیش‌ازحد انرژی و ایجاد پاسخ‌های محافظت از نور (photoprotective) در گیاه شود و درنتیجه، موجب تولید گیاهانی با ریشه کوچک و تعداد برگ و سطح برگ کمتر شود. به‌همین‌سبب، وجود درصد مناسبی از نور آبی در ترکیب‌های نوری آبی و قرمز توصیه شده است (Yanagi *et al*., 1996; Zheng *et al*., 2018). کاهش ارتفاع گیاهان در معرض نور آبی می‌تواند به‌علت کاهش رشد گیاه به‌سبب کاهش سطح برگ و کاهش ظرفیت گیاه برای دریافت نور و فتوسنتز باشد (Hogewoning *et al*., 2010; Poorter *et al*., 2009; Poorter *et al*., 2010) و بدین‌جهت، نور آبی با کاهش سطح برگ در میزان بیوماس تأثیرگذار بوده است (Li *et al*., 2017).

نور قرمز به‌دلیل توانایی در تحریک فیتوکروم‌ها، افزایش تقسیم و رشد سلولی و همچنین تحریک رشد محور زیرلپه و افزایش سطح برگ و به‌تبع‌آن، افزایش فرصت فتوسنتز، می‌تواند منجر به ایجاد تفاوت معناداری در بیوماس و ارتفاع گیاه گردد (Anuchai & Hsieh, 2017; Li *et al*., 2017) درحالی‌که مشخص شده که نور آبی امکان اثرگذاری بر کاهش اندازه سلول و تقسیم سلولی را دارد (Dougher & Bugbee, 2004; Gao *et al*., 2022). شاید بتوان دلیل تغییرات در توسعه برگ‌ها با افزایش نور آبی را کاهش تقسیم و توسعه سلول‌ها و در نور قرمز، افزایش تقسیم و توسعه سلولی دانست.

پاسخ گیاه به قرارگیری در معرض میزان بالای نور سبز مشابه به پاسخ در قرارگیری زیر سایه یا نور کم است که به فعال شدن مکانیزم دوری از سایه منجر می‌شود که باعث القای کشیدگی ساقه، طویل شدن دمبرگ‌ها، کشیدگی برگ و تغییر در برخی متابولیسم‌های ثانویه گیاه گشته است تا گیاه بتواند نور بیشتری دریافت کند (Meng *et al.*, 2019; Snowden *et al.*, 2016). از سوی دیگر، افزایش نور سبز با ایجاد پاسخ اجتناب از سایه باعث طویل شدن محور زیرلپه شد که می‌تواند به‌علت فعالیت مسیر واسطه‌ای کریپتوکروم به‌جای فیتوکروم اتفاق بیافتد (Dou *et al.*, 2020; Sellaro *et al.*, 2010).

در این آزمایش، شاخص سبزینگی برگ‌های حقیقی و لپه‌ای در تیمار نور تک‌رنگ سبز کمترین و در تیمار R40:B60 بیشترین مقدار را داشت. SPAD برگ نمایان‌گر میزان درجه سبزرنگی برگ‌هاست که برای تخمین میزان کلروفیل به‌کار می‌رود. این مقدار تابع میزان نیتروژن، فرآیندهای فتومورفوژنز و دسترسی گیاه به نور است (Jin *et al.*, 2023). مطالعات دیگری مشخص نموده‌اند که نور سبز به‌تنهایی غلظت کلروفیل برگ خیار را کاهش داده است؛ بااین‌حال، پاسخ گیاه به طیف نور به شدت نور بستگی داشت و در بین گونه‌ها متفاوت است (Paradiso & Proietti, 2022).

در این مطالعه بر نشای خیار، مشخص شد تفاوت در مقدار حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم Ⅱ در تیمار سبز با مقدار ۰/۸۲ و در تیمار R40:B60 با مقدار ۰/۷۹ معنادار بود و در دو تیمار دیگر ۰/۸۱ بود که با تیمار سبز و R40:B60 تفاوت معناداری نداشت. نتایج تحقیقات دیگر روی نشای خیار، نشان داد که میزان کلروفیل در تیمار نور سبز و نور آبی کاهش پیدا نمود اما ازلحاظ آماری معنادار نبود؛ همچنین میزان SPAD در نور قرمز بیشتر از نورهای آبی و سبز بود. نسبت Fv/Fm در تیمار نور سبز نسبت به نور زرد بیشتر شد ولیکن تیمار نور آبی بالاترین نسبت Fv/Fm را داشت که مخالف نتایج به‌دست آمده در این آزمایش است (Su *et al.*, 2014). شاید بتوان افزایش کارایی فتوسیستم Ⅱ در نور سبز را به قابلیت نفوذ بیشتر این نور به عمق برگ نسبت به نورهای آبی و قرمز نسبت داد. به‌طورکلی، Fv/Fm در برگ‌های سالم حدود ۰/۸ است و درصورتی‌که فتوسیستم Ⅱ خاموش یا صدمه دیده باشد، مقدار آن کمتر می‌شود (Ashraf & Harris, 2013). ازآنجایی‌که نور آبی با طول‌موج کم، دارای انرژی زیادی است، شاید بتوان گفت به‌علت آسیب وارد کردن به فتوسیستم Ⅱ، باعث کاهش کمی در مقدار Fv/Fm شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار R90:B10 در شاخص سطح برگ (LAI) نسبت به تیمار R80:B20 (۳/۳۸) بیشترین مقدار (۴/۳۲) را داشت؛ بااین‌حال، تیمار سبز و R40:B60 کمترین مقدار را داشتند (۱/۹۲ و ۱/۸۹). در تحقیقی روی خیار گلخانه مشخص گردید که شاخص سطح برگ (LAI) بین ۳–۳/۵ برای بهینه‌سازی ظرفیت فتوسنتزی در واحد سطح، نفوذ نور و گردش هوا مناسب است. در LAI کمتر از ۳، افزایش ظرفیت فتوسنتزی جواب‌گوی نیاز گیاه نیست که نتیجه آن، کاهش عملکرد در گیاه است و در LAI بیشتر از ۳/۵، سایه برگ‌ها بر روی هم می‌تواند باعث کاهش شدت فتوسنتز شود (Xiaolei & Zhifeng, 2002).

در این آزمایش بیشترین مقدار شاخص‌های کوتولگی نشا برای تیمار R80:B20، R40:B60، R90:B10 و سبز به‌ترتیب با مقدار ۰/۱۷۲، ۰/۱۲۸، ۰/۱۰۴، ۰/۰۳۰ گرم بر سانتی‌متر معنادار شد. شاخص کیفیت نشا (DQI) به‌ترتیب مقدار در تیمارهای R80:B20، R40:B60، R90:B10 و سبز، ۰/۰۷۸، ۰/۰۷۳، ۰/۰۷۲ و ۰/۰۲۳ رخ داد؛ به‌طورکلی، هرچه شاخص کوتولگی و شاخص کیفیت نشا بیشتر باشد کیفیت بهتر است چنان‌که در هندوانه پیوندی نیز مشخص شد که هرچه شاخص DQI بیشتر باشد نشا کیفیت بیشتری دارد (Bantis *et al.*, 2019). طبق مطالعات قبلی گیاهانی با شاخص نسبت سطح برگ (LAR) پایین و محور زیرلپه طویل، به‌عنوان گیاهان نامناسب برای انجام پیوند تلقی شده‌اند (An *et al.*, 2021). بنابراین به‌نظر می‌رسد که تیمارهای R40:B60 و سبز، استانداردهای مورد نیاز یک نشای خوب را برآورده نکرده و از بین تیمارهای R80:B20 و R90:B10 با توجه به شاخص‌های ذکر شده، تیمار R80:B20 نشای باکیفیت‌تری را جهت پیوند به‌عمل آورد.

1. chlorophyll content

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، استفاده از نشاهای پیوندی در سراسر جهان، به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است. برای تولید یک نشای پیوندی با کیفیت، در گام اول باید به تولید نشای پایه و پیوندک با صفات مطلوب پرداخت. یکی از عوامل محیطی مهم در مدیریت مورفولوژی گیاه، نور می‌باشد. امروزه، مطالعات بسیاری به بررسی اثرات طیف‌های مختلف نور بر مورفولوژی و فیزیولوژی نشا انجام شده؛ بااین‌حال، مطالعات محدودی برای بهینه‌سازی تولید نشاهای مناسب پیوند صورت گرفته است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که تیمار نور سبز به‌طور معناداری باعث افزایش ۳۶ درصدی ارتفاع نشا در مقایسه با بیشترین ارتفاع مشاهده‌شده در تیمارهای نور ترکیبی شد؛ ازطرفی، افزایش درصد نور قرمز از چهل به نود درصد، منجر به افزایش ۱۳/۵ درصدی قطر ساقه نشا گشت؛ همچنین تأثیر مثبت و معناداری بر افزایش طول ریشه، وزن خشک ریشه و سایر صفات مرتبط با ریشه داشت. بیشترین کارایی مصرف انرژی نور نیز در تیمارهایی با درصد بالای نور قرمز مشاهده شد؛ این درحالی‌بود که استفاده از نور سبز موجب کاهش این صفات شد و به‌دنبال آن، منجر به کاهش سطح برگ و وزن خشک برگ در این تیمار گردید. در مقابل، افزایش درصد نور آبی از ده به شصت درصد، موجب کاهش معناداری در صفات سطح برگ (حدود ۵۵ درصد) و وزن خشک برگ (حدود ۳۸ درصد) شد. درنهایت، با توجه به شاخص‌های رشد و توسعه نشا، استفاده از نور سبز به‌تنهایی برای تولید نشای خیار توصیه نمی‌شود زیرا گیاهان در این تیمار، ساختاری شل و دراز داشتند که عملیات پیوند را دشوار می‌نمود و از بین تیمارهای نورهای ترکیبی، تیمار نوری با نسبت هشتاد درصد نور قرمز و بیست درصد نور آبی به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار برای تولید پیوندک خیار شناسایی گردید؛ این یافته‌ها می‌تواند به‌عنوان راهنمایی مؤثر در بهینه‌سازی شرایط نوری برای تولید نشای باکیفیت پیوندک خیار در سیستم کشت کارخانه گیاهی مورد استفاده قرار گیرد.

REFERENCES

An, S., Hwang, H., Chun, C., Jang, Y., Lee, H. J., Wi, S. H., Yeo, K.-H., Yu, I.-h., & Kwack, Y. (2021). Evaluation of air temperature, photoperiod and light intensity conditions to produce cucumber scions and rootstocks in a plant factory with artificial lighting. *Horticulturae*, *7*(5), 102. https://doi.org/10.3390/horticulturae7050102

An, S., Park, S. W., & Kwack, Y. (2020). Growth of cucumber scions, rootstocks, and grafted seedlings as affected by different irrigation regimes during cultivation of 'Joenbaekdadagi'and 'Heukjong'seedlings in a plant factory with artificial lighting. *Agronomy*, *10*(12), 1943. https://doi.org/10.3390/agronomy10121943

Anuchai, J., & Hsieh, C.-H. (2017). Effect of change in light quality on physiological transformation of in vitro Phalaenopsis 'Fortune Saltzman'seedlings during the growth period. *The Horticulture Journal*, *86*(3), 395-402. https://doi.org/10.2503/hortj.MI-151

Ashraf, M., & Harris, P. J. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, *51*, 163-190. https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6

Bai, Y., Shi, W., Xing, X., Wang, Y., Jin, Y., Zhang, L., Song, Y., Dong, L., & Liu, H. (2014). Study on tobacco vigorous seedling indexes model. *Agric. Sci. China*, *6*, 1086-1098 .

Baker, N .R., & Rosenqvist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of experimental botany*, *55*(403), 1607-1621. https://doi.org/doi.org/10.1093/jxb/erh196

Bantis, F ,.Koukounaras, A., Siomos, A. S., Radoglou, K., & Dangitsis, C. (2019). Optimal LED wavelength composition for the production of high-quality watermelon and interspecific squash seedlings used for grafting. *Agronomy*, *9*(12), 870. https://doi.org/10.3390/agronomy9120870

Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N., & Radoglou, K. (2018). Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Scientia Horticulturae*, *235*, 43 .۷-۴۵۱ https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058

Bie, Z., Azher Nawa, M., Huang, Y., Lee, J., & Colla, G. (2017). Introduction to vegetable grafting in vegetable grafting: principles and practices. *UK: CAB International Oxfordshire*, 216-244 .

Bisbis ,M. B., Gruda, N. S., & Blanke, M. M. (2019). Securing horticulture in a changing climate—A mini review. *Horticulturae*, *5*(3), 56 .

Bourget, C. M. (2008). An introduction to light-emitting diodes. *HortScience*, *43*(7), 1944-1946. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1944

Chory, J. (2010). Light signal transduction: an infinite spectrum of possibilities. *The Plant Journal*, *61*(6), 982-991 .

Claypool, N. B., & Lieth, J. H. (2021). Green light improves photosystem stoichiometry in cucumber seedlings (Cucumis sativus) compared to monochromatic red light. *Plants*, *10*(5), 824. https://doi.org/10.3390/plants10050824

Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* .۱۰-۱۳ ,(۱)۳۶ ,

Dou, H., Niu, G., Gu, M., & Masabni, J. (2020). Morphological and physiological responses in basil and brassica species to different proportions of red, blue, and green wavelengths in indoor vertical farming. *Journal of the American society for horticultural science*, *145*(4), 267-278. https://doi.org/10.21273/JASHS04927-20

Dougher, T. A., & Bugbee, B. (2004). Long-term blue light effects on the histology of lettuce and soybean leaves and stems. *Journal of the American society for horticultural science*, *129*(4), 467-472. https://doi.org/10.21273/JASHS.129.4.0467

Gao, Q., Liao, Q., Li, Q., Yang, Q., Wang, F., & Li, J. (2022). Effects of LED red and blue light component on growth and photosynthetic characteristics of coriander in plant factory.

Horticulturae, *8*(12), 1165. https://doi.org/10.3390/horticulturae8121165

Gruda, N. (2005). Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. *Critical reviews in plant sciences*, *24*(3), 227-247. https//:doi.org/10.1080/07352680591008628

Hernández, R., & Kubota, C. (2014). Growth and morphological response of cucumber seedlings to supplemental red and blue photon flux ratios under varied solar daily light integrals. *Scientia Horticulturae*, *173*, 92-99. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.035

Hernández, R., & Kubota, C. (2016). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environmental and experimental botany*, *121*, 66-74. https://doi.org/1/۰,۱۰۱۶j.envexpbot.2015.04.001

Hogewoning, S. W., Douwstra, P., Trouwborst, G., Van Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010). An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra. *Journal of experimental botany*, *61*(5), 1267-1276. https://doi.org/10.1093/jxb/erq005

Jin, D., Su, X., Li, Y., Shi, M., Yang, B., Wan, W., Wen, X., Yang, S., Ding, X., & Zou, J. (2023). Effect of red and blue light on cucumber seedlings grown in a plant factory. *Horticulturae*, *9*(2), 124. https://doi.org/10.3390/horticulturae9020124

Jinxiu, S., Qingwu, M., Weifen, D., & Dongxian, H. (2017). Effects of light quality on growth and development of cucumber seedlings in controlled environment. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *10*(3), 312-318. https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.2299

Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, S.-N., & Yoshihara, T. (2012). Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in Lactuca sativa. *Environmental and experimental botany*, *75*, 128-133. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.010

Kozai, T., & Niu, G. (2016). Plant factory as a resource-efficient closed plant production system. In *Plant Factory* (pp. 69-90) .Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801775-3.00004-4

Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2019). *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic press .

Lee JungMyung, L. J., Kubota, C., Tsao, S., Bie, Z., Echevarria, P., Morra, L., & Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques, automation. https://doi.org/doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.003

Leonardi, C., & Romano, D. (2002). Recent issues on vegetable grafting. XXVI International Horticultural Congress: Issues and Advances in Transplant Production and Stand Establishment Research 631 ,

Li, Y., Xin, G., Wei, M., Shi, Q., Yang, F., & Wang, X. (2017). Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities. *Scientia Horticulturae*, *225*, 490-497. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.053

Lin, K.-H., Huang, M.-Y., Huang, W.-D., Hsu, M.-H., Yang, Z.-W., & Yang, C.-M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (Lactuca sativa L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, *150*, 86-91. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002

Liu, H., Fu, Y., Wang, M., & Liu, H. (2017). Green light enhances growth, photosynthetic pigments and CO2 assimilation efficiency of lettuce as revealed by 'knock out'of the 480–560 nm spectral waveband. *Photosynthetica*, *55*(1), 144-152. https://doi.org/10.1007/s110 ۹۹-۰۱۶-۰۲۳۳-۷

Liu, J., & Van Iersel, M. W. (2021). Photosynthetic physiology of blue, green, and red light: Light intensity effects and underlying mechanisms. *Frontiers in plant science*, *12*, 619987. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.619987

Massa, G. D ,.Kim, H.-H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, *43*(7), 1951-1956.

https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951

Meng, Q., Kelly, N., & Runkle, E. S. (2019). Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. *Environmental and experimental botany*, *162*, 383-391. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.03.016

Paradiso, R., & Proietti, S. (2022). Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: The state of the art and the opportunities of modern LED systems. *Journal of Plant Growth Regulation*, *41*(2), 742-780. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y

Park, S.-Y., Bae, J.-H., & Oh, M.-M. (2020). Manipulating light quality to promote shoot growth and bioactive compound biosynthesis of Crepidiastrum denticulatum (Houtt.) Pak & Kawano cultivated in plant factories. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *16*, 100237. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100237

Poorter, H., Niinemets, Ü., Poorter, L., Wright, I. J., & Villar, R. (2009). Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New phytologist*, *182*(3), 565-5 ۸۸. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x

Poorter, H., Niinemets, Ü., Walter, A., Fiorani, F., & Schurr, U. (2010). A method to construct dose–response curves for a wide range of environmental factors and plant traits by means of a meta-analysis of phenotypic data. *Journal of experimental botany*, *61*(8), 2043-2055. https://doi.org/10.1093/jxb/erp358

Rouphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A., & Colla, G. (2010). Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, *12* ۷(۲), ۱۷۲-۱۷۹. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.001

Sellaro, R., Crepy, M., Trupkin, S. A., Karayekov, E., Buchovsky, A. S., Rossi, C., & Casal, J. J. (2010). Cryptochrome as a sensor of the blue/green ratio of natural radiation in Arabidopsis . *Plant physiology*, *154*(1), 401-409. https://doi.org/10.1104/pp.110.160820

Snowden, M. C., Cope, K. R., & Bugbee, B. (2016). Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: Interactions with photon flux. *PloS one*, *11*(10), e0163121. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163121

Su, N., Wu, Q., Shen, Z., Xia, K., & Cui, J. (2014). Effects of light quality on the chloroplastic ultrastructure and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings. *Plant Growth Regulation*, *73*, 227-235. https://doi.org/10.1007/s10725-013-9883-7

Xiaolei, S., & Zhifeng, W. (2002). The optimal leaf area index for cucumber photosynthesis and production in plastic greenhouse. XXVI International Horticultural Congress: Protected Cultivation 2002: In Search of Structures, Systems and Plant Materials for 633 ,

Yanagi, T., Okamoto, K., & Takita, S. (1996). Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems 440 ,

Zheng, Y.-J., Zhang, Y.-T., Liu, H.-c., Li, Y.-m., Liu, Y.-l., Hao, Y.-W., & Lei, B.-f. (2018). Supplemental blue light increases growth and quality of greenhouse pak choi depending on cultivar and supplemental light intensity. *Journal of integrative agriculture*, *17*(10), 2245-2256. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62064-7