Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 53, No 4, Winter 2023 (977-988)
DOI: 10.22059/ijhs.2022.340135.2010

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۱ (ص ۹۸۸-۹۷۷)

نشریه پژوهشی:

تاثیر طیف‌های مختلف نور LED بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و محتوای عناصر معدنی در نشاهای پیوندی و غیرپیوندی گوجه‌فرنگی

سید رضا سلطانی[۱]، حسین آروئی[۲*]، رضا صالحی[۳] و سید حسین نعمتی[٤]
۱، ۲ و ٤. دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳. استادیار، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۱۲/۲۷ - تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/٤/۲۵)

چکیده

در این پژوهش، تاثیر طیف‌های مختلف نور LED شامل ۱۰۰درصد نور قرمز، ۱۰۰درصد نور آبی، ۷۰درصد نور قرمز + ۳۰ درصد نور آبی و همچنین ۱۰۰درصد نور سفید با شدت نور یکسان ۵± ۷۵ ماکرومول بر مترمربع در ثانیه، به مدت ۳۰ روز بر میزان رشد و محتوای عناصر معدنی در نشاهای گوجه‌فرنگی غیرپیوندی و پیوند شده روی پایه Maxifort مورد بررسی قرار گرفت. مدت روشنایی، دما و رطوبت اتاق رشد به ترتیب ۱٦ ساعت، ۲± ۲۵/۲۱ (شب/روز) درجه سلسیوس و ۹۵ درصد تنظیم شدند. نتایج نشان داد بیشترین میزان طول ساقه در نشاهای غیرپیوندی زیر نور ۱۰۰درصد قرمز بدست آمد. بیشترین قطر ساقه نیز در نور آبی و قرمز-آبی بدست آمد. بالاترین وزن تر ریشه در زیر نور سفید و قرمز-آبی و بیشترین وزن خشک ریشه زیر نور قرمز-آبی بدست آمد. بالاترین میزان سطح برگ، وزن خشک شاخساره و کل در نشاهای غیرپیوندی زیر نور قرمز-آبی بدست آمد. بیشترین میزان فسفر در نشاهای غیرپیوندی زیر نور قرمز بود. نشاهای پیوندی زیر نورهای قرمز، آبی و قرمز-آبی و همچنین نشاهای غیرپیوندی زیر نورهای سفید و قرمز-آبی بیشترین میزان پتاسیم را داشتند. نشاهای پیوندی زیر نور آبی بالاترین میزان جذب کلسیم را دارا بودند. همچنین بیشترین میزان جذب منیزیم در نشاهای غیرپیوندی زیر نور سفید بدست آمد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد ۷۰درصد نور قرمز + ۳۰ درصد نور آبی در کنار استفاده از یک پایه قدرتمند مانند مکسی فورت، می‌تواند باعث بهبود رشد و جذب بهتر عناصر معدنی در نشاهای گوجه‌فرنگی شود.

واژه‌های کلیدی: کیفیت نور، نشا پیوندی، نور مصنوعی.

Effects of LED light spectrum on morphological traits and mineral element concentrations of grafted and non-grafted tomato seedlings

Seyed Reza Soltani[1], Hossein Arouiee[2*], Reza Salehi[3] and Seyed Hossein Nemati[4]
1, 2, 4. Ph. D. Candidate, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Assistant Professor, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Mar. 18, 2022 - Accepted: Jul. 16, 2022)

ABSTRACT

In this experiment, we investigated impacts of various LED light qualities, including 100% red, 100% blue, 70% red + 30% blue, and 100% white with the same light intensity 75±5 µmol m^{-2} s^{-1} for 30 days on the growth and mineral element concentrations in grafted onto 'Maxifort' rootstock and non-grafted tomato seedlings. Photoperiod, temperature, and relative humidity of the growth chamber were maintained at 16 h, 25/21±2 °C (day/night), and 95%, respectively. Results showed that the maximum of plant height was obtained in non-grafted seedlings under 100% R light. The maximum of stem diameter was obtained under 100% B and 70% R:30 %B treatments. The maximum of root fresh weight was obtained under 100% W and 70 % R:30 %B treatments, while the maximum of root dry weight was obtained under 70 % R:30 % B light treatment. The maximum of leaf area, shoot and total dry weight were obtained in non-grafted seedlings under 70 % R:30 % B light treatment. In addition, non-grafted seedlings under 100% R treatment had the highest P concentration. The maximum of K was obtained in grafted seedlings under 100% B, 100% R and 70 % R:30 %B light treatments and non-grafted seedlings under 100% W and 70 % R:30 % B light treatments. Grafted seedlings under 100% B had the highest Ca concentration. In addition, the maximum of Mg was obtained in non-grafted seedlings under 100% W treatment. Collectively, our results showed that combination of 70% red and 30% blue light and as well as the use of a powerful rootstock like 'Maxifort' could promotes plant growth and mineral element concentrations for tomato seedlings.

Keywords: Artificial light, grafted seedling, light quality.

* Corresponding author E-mail: aroiee@um.ac.ir

مقدمه

نشاهای پیوندی مقاومت بالایی به تنش‌های زنده و غیر زنده از جمله نماتد، بیماری های خاکزاد و شوری دارند. با استفاده از پیوند می‌توانیم از مزایای یک رقم مقاوم (پایه) برای بهبود عملکرد یک رقم تجاری (پیوندک) که حساسیت بیشتری به عوامل بیماری‌زا دارد استفاده کنیم (Kumar *et al*., 2017). همچنین با استفاده از نشاهای پیوندی می‌توان کارایی مصرف آب و عناصر غذایی را افزایش داد (Rivard & Louws, 2008). کیفیت نشا به صورت مستقیم بر عملکرد و کیفیت محصول پس از انتقال نشاها به زمین اصلی تاثیر می‌گذارد. از این جهت، بالا بودن کیفیت نشاهای تولید شده و توجه ویژه به صنعت تولید نشاهای پیوندی، بیش از گذشته توسط کشاورزان و متخصصین کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است (Javanmardy, 2009; Jang *et al*., 2011; Colla *et al.,* 2017). جهت موفقیت در عمل پیوند و زنده‌مانی نشاهای پیوند شده، فراهم بودن شرایط محیطی بهینه از نظر رطوبت، کیفیت نور، شدت نور و درجه حرارت بسیار ضروری است (Lee *et al*., 2010; Yousef *et al*., 2021).

نور یکی از مهمترین فاکتورهای محیطی است که می‌تواند رشد و نمو را در گیاهان تحت تاثیر قرار بدهد. گیاهان تحت طیف‌های مختلف نوری، واکنش‌های متفاوتی از خود بروز می‌دهند (Bantis *et al*., 2020). تاکنون از منابع نوری مختلفی از جمله لامپ‌های پر فشار سدیم، متال هالید، فلورسنت، رشته‌ای و LED با هدف تامین نور مورد نیاز گیاهان برای رسیدن به حداکثر رشد و فتوسنتز استفاده شده است (Wallace & Both, 2016). امروزه استفاده از نورهای LED در باغبانی گسترش بسیار زیادی پیدا کرده است. از جمله مزایای نورهای LED می‌توان به مصرف کم انرژی، اندازه کوچک، دوام و طول عمر زیاد و عدم ایجاد گرما اشاره کرد. از طرفی با استفاده از نورهای LED می‌توان طول موج‌های مشخصی که بیشترین تاثیر را در فتوسنتز گیاهان دارند تولید کرد. به دلیل وجود همین ویژگی، با استفاده از طیف‌های LED می‌توان واکنش گیاهان به طول موج‌های مختلف نور را بطور دقیق‌تر مورد مطالعه و بررسی قرار داد (Dutta Gupta & Agarwal, 2017; Bantis *et al*., 2020). با استفاده از طول موج‌های مختلف نور می‌توان اثرات ناشی از استرس‌ها را کاهش و کارایی کوآنتومی فتوسنتز را افزایش داد. به دلیل نقش حیاتی طول موج‌های قرمز و آبی در فتوسنتز، در تحقیقات تجاری از این طول موج‌ها به‌صورت ترکیبی استفاده می‌شود (Esmaeilizadeh *et al.,* 2021). در بسیاری از پژوهش‌ها، اثرات هم افزایی طول موج‌های مختلف نور زمانی که طوج موج‌های قرمز و آبی با یکدیگر ترکیب می‌شوند در گیاهان مشاهده شده است (Bantis *et al*., 2020; Fang *et al*., 2021; Yousef *et al*., 2021; Moosavi-Nezhad *et al*., 2021). بنابراین استفاده از منابع نوری با طول موج مناسب، برای رشد و توسعه گیاهان بسیار حائز اهمیت است.

نور از طریق تاثیر بر مسیرهای تولید متابولیت‌های اولیه باعث ایجاد تغییراتی در فعالیت‌های آنزیمی در گیاه می‌شود و بدین ترتیب بر غلظت عناصر داخل گیاه اثرگذار است (Barickman *et al*., 2020). عناصر معدنی در بسیاری از مکانیسم‌های مربوط به فتوسنتز در گیاهان نقش دارند. برخی از عناصر در ساختار دستگاه فتوسنتزی مشارکت دارند در حالی که برخی دیگر در انتقال مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های هدف نقش اساسی ایفا می‌کنند. به این ترتیب، کمبود عناصر باعث کاهش نرخ فتوسنتز و در نتیجه باعث کاهش رشد در گیاهان می‌شود (Engels *et al*., 2012). بنابراین شناخت بهتر مکانیسم های تاثیر نورهای LED بر تحریک سنتز مواد بیوشیمیایی و جذب عناصر معدنی می‌تواند باعث کاربرد بیشتر این نورها برای تولید اقتصادی‌تر و با کیفیت‌تر نشاها در شرایط کنترل شده شود.

به همین منظور، هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر طیف‌های مختلف نور LED بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و غلظت عناصر معدنی در نشاهای گوجه‌فرنگی پیوندی و غیر پیوندی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه‌های تحقیقاتی گروه مهندسی باغبانی و فضای سبز دانشگاه تهران واقع در پردیس کشاورزی شهرستان کرج انجام شد. در این آزمایش از گوجه‌فرنگی هیبرید رقم DRW 7806 محصول شرکت

Seminis به عنوان پیوندک و از گوجه‌فرنگی اصلاح شده رقم(*S. lycopersicum* L.× *S. habrochaites*) Maxifort به عنوان پایه استفاده شد. این پژوهش بر اساس آزمایش فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای هر تکرار نیز ۱۰ مشاهده وجود داشت.

تولید نشاهای پایه و پیوندک و انجام عمل پیوند

تولید نشاهای پایه و پیوندک در فضای گلخانه با پوشش شیشه انجام پذیرفت. بذور پایه و پیوندک در سینی‌های کشت ۷۲ سلولی با بستر کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۷۵:۲۵ (۷۵درصد کوکوپیت) کشت شدند. پس از رشد مناسب گیاهچه‌ها (طول گیاه ۱۰ سانتی‌متر و قطر ساقه ۳ میلی‌متر) عمل پیوند صورت پذیرفت. عمل پیوند به روش نیمانیم انجام شد. برای این منظور، ابتدا هیپوکوتیل پیوندک دو سانتی‌متر زیر برگ‌های لپه‌ای به‌صورت اریب قطع شد. ساقه گیاهچه پایه نیز دو سانتی‌متر زیر برگ‌های لپه‌ای به‌صورت اریب برش داده شد. سپس دو سطح برش خورده روی یکدیگر قرار گرفتند و با استفاده از گیره پیوند، ثابت نگه داشته شدند. پس از انجام عمل پیوند، کلیه نشاهای مورد بررسی به اتاقک رشد با کنترل کامل شرایط محیطی (دمای ۲±۲۵/۲۱ شب/روز درجه سلسیوس و رطوبت ۲± ۹۵ درصد) منتقل شدند. رطوبت داخل اتاقک رشد توسط دستگاه رطوبت ساز التراسونیک ۱۲۰۰ ساخت کشور ایران تامین شد. روشن و خاموش شدن این دستگاه و در نتیجه تنظیم رطوبت اتاقک رشد، توسط حسگر رطوبت سنج دقیق مدل AFTF-SD-U ساخت شرکت S+S Regeltechnik کشور آلمان صورت گرفت. گرم کردن اتاقک رشد نیز توسط سیستم شوفاژ انجام گرفت. جهت تغذیه گیاهچه‌ها از محلول غذایی مخصوص پرورش نشا (Javanmardi, 2008) با هدایت الکتریکی ۱/۸ دسی زیمنس بر متر و pH برابر ۵/۸ استفاده شد (جدول ۱).

اعمال تیمارهای نوری

نشاها در سه روز اول پس از عمل پیوند جهت کالوس‌زایی بهتر، در شرایط تاریکی قرار گرفتند و پس از گذشت سه روز، نورهای LED مورد تحقیق روشن شدند. در این پژوهش، صددرصد نور مورد نیاز نشاها از طریق وال واشرهای LED تامین شد. رطوبت محیط در طی سه روز اول، ۹۵ درصد بود اما از روز چهارم به تدریج کاهش یافت و در نهایت روی ۷۰ درصد ثابت شد. در این آزمایش از وال واشرهای ۱۸ وات نور LED ساخت شرکت پرتو رشد نوین استفاده شد. نشاها به مدت ۳۰ روز تحت چهار تیمار نوری متفاوت شامل ۱۰۰ درصد قرمز، ۱۰۰ درصد آبی، ترکیب نور قرمز-آبی (۷۰درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی) و ۱۰۰درصد سفید پرورش یافتند. دوره روشنایی نیز به صورت ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی تنظیم شد. شدت نور نیز برای تمام تیمارها ۵ ± ۷۵ مایکرومول بر مترمربع در ثانیه در نظر گرفته شد (جدول۲). جهت تنظیم شدت نور به دو روش می‌توان عمل کرد. روش اول، افزایش یا کاهش تعداد لامپ‌های LED در پنل نوری مورد استفاده و روش دوم، از طریق افزایش یا کاهش فاصله محل نصب نورها تا سطح گیاه می‌باشد. در این پژوهش از روش دوم جهت تنظیم شدت نور مورد نیاز استفاده شد. جهت اندازه‌گیری شدت نور نیز از دستگاه قابل حمل طیف سنج SEKONIC مدل SpectroMaster C-7000 ساخت کشور ژاپن استفاده شد.

جدول ۱. غلظت عناصر پرمصرف و کم مصرف در محلول غذایی.
Table 1. Concentration of macro and micro elements in nutrition solution.

Elements	N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
Concentration (ppm)	70	40	120	100	30	3	0.5	0.3	0.3	0.05	0.05

جدول ۲. طیف‌های مختلف نور LED مورد استفاده در این پژوهش.
Table 2. Different spectrums of the LED light used in this study.

Light treatments	Blue % 400-500 nm	Green % 500-600 nm	Red % 600-700 nm	Light intensity ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)
W	35	49	16	75 ± 5
B	100	0	0	75 ± 5
R	0	0	100	75 ± 5
R+B	70	0	30	75 ± 5

طول موج‌های مختلف نور شامل سفید (W)، آبی (B)، قرمز (R) و قرمز+آبی (R+B).
Different light spectrums including; white (W), blue (B), red (R) and red+blue (R+B).

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و میزان عناصر معدنی

صفات مورفولوژیکی شامل طول ساقه، قطر ساقه، تعداد گره، وزن تر و خشک ریشه، شاخساره و کل گیاه و همچنین سطح برگ، سی روز پس از عمل پیوند مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. قطر ساقه برای نشاهای پیوندی یک سانتی‌متر بالای محل پیوند و برای نشاهای غیرپیوندی یک سانتی‌متر پایین برگ‌های لپه‌ای با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ، از دستگاه برگ‌سنج مدل LI-3100 Area Meter استفاده شد. وزن تر ریشه و شاخساره در هر مرحله توسط ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک، ریشه و شاخساره هر گیاه به‌صورت جداگانه در داخل پاکت‌های کاغذی قرار داده شد و سپس در آون در دمای ۷۵درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفتند و مجدداً برای تعیین وزن خشک با همان ترازو توزین شدند. اندازه‌گیری میزان نیتروژن نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کجلدال انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر استفاده شد. اندازه‌گیری میزان فسفر نیز با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۳۰ نانومتر انجام شد (Ryan *et al*., 2007). جهت اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم نیز از روش کمپلکسومتری استفاده شد (Tahmasebi *et al*., 2010).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام پذیرفت. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول۳) که اثر مستقل طیف نور در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل طیف نور و پیوند در سطح احتمال ۵ درصد بر طول ساقه نشاها اثر معنی‌داری داشتند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل طیف نور و پیوند نشان داد که بیشترین و کمترین طول ساقه به ترتیب در نشاهای غیرپیوندی زیر نورهای قرمز و آبی بدست آمد (شکل۱-A). در پژوهشی که بر روی نشاهای گوجه‌فرنگی پیوندی انجام شده بود، نتایج نشان داد که گوجه‌فرنگی‌های پیوندی رشد یافته در شرایط نور قرمز دارای بیشترین میزان طول ساقه بودند (Yousef *et al*., 2021). در گزارشی دیگر نیز ذکر شده است که نشاهای هندوانه پیوندی در زیر نور قرمز بیشترین طول ساقه را دارا بودند در حالی که نشاهای هندوانه زیر نورهای آبی و ترکیب قرمز-آبی (36% B) دارای طول ساقه کمتری بودند (Bantis *et al*., 2020). در پژوهشی دیگر نیز گزارش شده است در گیاه داوودی، بیشترین و کمترین طول ساقه به ترتیب در گیاهان رشد یافته زیر نور قرمز و نور آبی بدست آمده است (Seif *et al*., 2021). گزارش شده است، گیاهان کاهو رشد یافته زیر نور قرمز دارای طول ساقه بیشتری نسبت به کاهوهای رشد یافته زیر نور ترکیبی قرمز و آبی بودند (Naznin *et al*., 2019). Nguyen *et al*. (2020) گزارش کردند که طول ساقه گیاهان گشنیز در زیر نور قرمز بیشتر از گیاهان رشدیافته زیر نورهای قرمز-آبی و آبی بوده است. بسیاری از محققین علت کاهش طول ساقه تحت نور آبی را به گیرنده‌های نوری نسبت داده‌اند. سیگنال‌هایی که توسط گیرنده‌های نوری تولید می‌شوند، تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در مسیرهای مختلف رشدی ایجاد می‌کنند. گیرنده‌های نوری کریپتوکروم و فوتوتروپین به نور آبی حساس هستند. کریپتوکروم‌ها مانع طویل شدن ساقه می‌شوند و بیشترین فعالیت آنها در طیف نور آبی می‌باشد. در حالی که گیرنده نوری فیتوکروم، به نور قرمز حساس می‌باشد. فیتوکروم‌ها باعث افزایش تقسیم و توسعه سلولی می‌شوند. بنابراین، طول ساقه در گیاهان پرورش یافته تحت طیف نور آبی، کاهش و تحت طیف نور قرمز، افزایش می‌یابد (Neff *et al*., 2000; Yu *et al*., 2010; OuYang *et al*., 2015; Dierck *et al*., 2017; Fang *et al*., 2021). همچنین، کاهش طول ساقه تحت نور آبی و افزایش طول ساقه تحت نور قرمز، به تولید جیبرلین نیز نسبت داده شده است. جیبرلین در سرعت بخشیدن به رشد ساقه نقش کلیدی دارد. تحت نور قرمز محتوای جیبرلین افزایش یافته و بدین ترتیب سبب طویل شدن ساقه می‌گردد

Lau & Deng, 2010; KAYAL *et al.,* 2011; Kurepin *et al.,* 2012; Li *et al.,* 2021). از طرفی، بیان ژن‌های مرتبط با اکسین تا حد زیادی توسط نور تنظیم می‌گردد. پژوهش‌های متعدد نشان داده است که تحت نور آبی میزان ایندول استیک اسید (IAA) در ساقه افزایش می‌یابد و بدین ترتیب بر بیان ژن‌هایی که مسیرهای سنتز جیبرلین را کنترل می‌کنند، تاثیر می‌گذارد. بنابراین تحت نور آبی سنتز اکسین افزایش و سنتز جیبرلین کاهش می‌یابد و این فرآیند سبب کاهش طول ساقه تحت نور آبی می‌گردد (Kurepin *et al.,* 2012; OuYang *et al.,* 2015; Li *et al.,* 2021).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر مستقل طیف نور و پیوند و همچنین اثر متقابل طیف نور و پیوند بر تعداد گره تاثیر معنی‌داری نداشتند. در واقع نشاهای رشد یافته زیر نور قرمز بیشترین طول ساقه و نشاهای رشد یافته زیر نور آبی کمترین طول ساقه را نشان دادند، در حالی که تعداد گره در تمام تیمارهای نوری یکسان بود. بنابراین نور قرمز باعث طویل شدن میان گره‌ها و نور آبی باعث کاهش میان گره‌ها در نشاهای گوجه‌فرنگی شده است. در پژوهشی مطرح شده است که گوجه‌فرنگی‌های رشد یافته زیر نور آبی طول ساقه و فاصله میان گره کمتری نسبت به گوجه‌فرنگی‌های رشد یافته زیر نور قرمز دارا بودند (Głowacka, 2004). همچنین گزارش شده است، طول ساقه و فاصله میان گره ها در گیاه گوجه‌فرنگی، با افزودن نور آبی به نور قرمز، کاهش یافته است (Kaiser *et al*., 2019).

نتایج تجزیه واریانس (جدول۳) نشان داد که، اثر مستقل طیف نور بر قطر ساقه نشاهای گوجه‌فرنگی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میانگین قطر ساقه در نشاهای رشد یافته زیر نور آبی بدست آمد، بطوری که قطر نشاهای رشد یافته زیر نور آبی ۷/۹۷ درصد بیشتر از نشاهای رشد یافته زیر نور قرمز بود (شکل ۱-B). گزارش شده است که نشاهای سویا رشد یافته زیر نور آبی و ترکیب نور قرمز و آبی (25B+75R%) دارای قطر ساقه بیشتری نسبت به نشاهای رشد یافته زیر نور قرمز بودند (Fang *et al*., 2021). علت افزایش قطر ساقه تحت نور آبی، احتمالا به دلیل میزان فیتوهورمون‌ها است (Wang *et al.,* 2011).

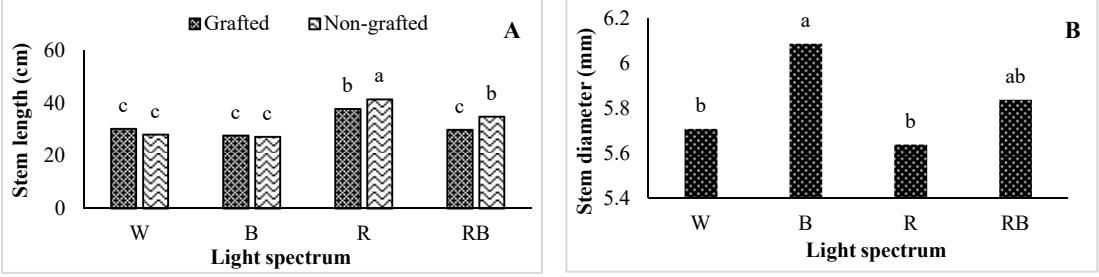
جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر طیف نور و پیوند بر صفات مورفولوژیکی نشاهای گوجه‌فرنگی.

Table 3. Results of variance analysis for the effect of light spectrum and grafting on growth traits in tomato seedlings.

Sources of variance	df	Means of squares			
		Stem length	Node number	Stem diameter	Leaf area
Block	2	19.15^{ns}	2.29^{ns}	0.02^{ns}	333.92^{ns}
Light	3	174.08^{**}	0.04^{ns}	0.23^{*}	65384.14^{**}
Grafting	1	13.35^{ns}	0.21^{ns}	0.07^{ns}	36887.98^{**}
Light × Grafting	3	17.57^{*}	0.04^{ns}	0.08^{ns}	52935.97^{**}
Main Error	14	3.79	0.65	0.05	661.64
CV (%)		6.04	8.26	3.92	4.93

**، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly difference at the 1 and 5% of probability level, and non-significantly difference, respectively.



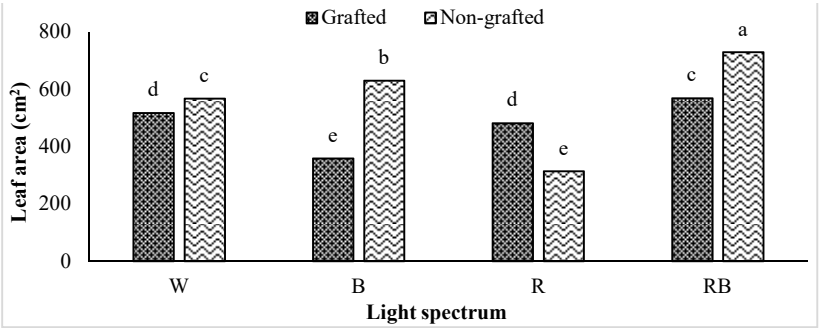
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل طیف نور و پیوند بر طول ساقه (A) و اثر مستقل طیف نور بر قطر ساقه (B) در نشاهای گوجه‌فرنگی. طول موج‌های مختلف نور شامل سفید (W)، آبی (B)، قرمز (R) و قرمز+ آبی (R+B). حروف مشابه نشاندهنده عدم معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 1. Mean comparison interaction effect of light spectrum and grafting on stem length (A) and effect of light spectrum on stem diameter in tomato seedlings. Different light spectrum including; white (W), blue (B), red (R) and red + blue (R+B). Values with the same letters are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول۳)، اثرات مستقل طیف نور و پیوند و همچنین اثر متقابل طیف نور و پیوند بر سطح برگ نشاهای گوجه‌فرنگی معنی‌دار بودند (P<۰/۰۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان سطح برگ در نشاهای غیرپیوندی زیر نور قرمز-آبی بدست آمد (شکل ۲). گزارش شده است که نشاهای گوجه‌فرنگی پیوندی رشد یافته زیر نور ترکیبی قرمز-آبی (R70:B30%) دارای بیشترین میزان سطح برگ بودند (Yousef *et al*., 2021). در گزارشی دیگر مطرح شده است که نشاهای سویا رشد یافته زیر ترکیب‌های متفاوت نور قرمز_آبی سطح برگ بیشتری نسبت به نشاهای رشد یافته زیر نور قرمز دارا بودند (Fang *et al*., 2021). همچنین گزارش شده است که نشاهای هندوانه پیوندی رشد یافته زیر نور ترکیبی قرمز-آبی (R68:B32%) دارای سطح برگ بیشتری نسبت به نشاهای رشد یافته زیر نور قرمز خالص بودند (Moosavi-Nezhad *et al*., 2021). در پژوهشی دیگر عنوان شده است که نشاهای هندوانه پیوندی رشد یافته تحت نور قرمز-آبی (R76:B24%) دارای سطح برگ بیشتری نسبت به نشاهای رشد یافته زیر نور قرمز خالص بودند (Bantis *et al.,* 2020).

نتایج تجزیه واریانس (جدول۴) نشان داد که اثر مستقل طیف نور بر وزن تر و خشک (ریشه، شاخساره، کل) نشاهای گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود (P<۰/۰۱). اثر مستقل پیوند نیز بر وزن خشک ریشه و کل، در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری داشت، اما بر وزن خشک شاخساره و وزن تر (ریشه، شاخساره، کل) تاثیر معنی‌داری نداشت. اثر متقابل طیف نور و پیوند نیز بر وزن تر و خشک شاخساره و کل نشاهای گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود (P<۰/۰۱) اما بر وزن تر و خشک ریشه اثر معنی‌داری نداشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین وزن تر ریشه در نشاهای رشد یافته زیر نورهای سفید و قرمز-آبی بدست آمد (شکل ۳-A). بیشترین و کمترین میزان وزن خشک ریشه نیز به ترتیب در نشاهای رشد یافته زیر نورهای قرمز-آبی و قرمز بدست آمد (شکل ۳-B). همچنین نتایج نشان داد که وزن خشک ریشه در نشاهای غیرپیوندی بیشتر از نشاهای پیوندی بوده است (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین جدول ۵ نشان داد که نشاهای پیوندی زیر نور قرمز-آبی بیشترین میزان وزن تر شاخساره را دارا بودند. بالاترین میزان وزن تر کل نیز در نشاهای پیوندی و غیرپیوندی زیر نور قرمز-آبی بدست آمد. همچنین نشاهای غیرپیوندی رشد یافته زیر نور قرمز-آبی بیشترین میزان وزن خشک شاخساره و کل را دارا بودند.

در پژوهش مشابه گزارش شده است که بیشترین وزن تر ریشه و شاخساره به ترتیب در نشاهای گوجه‌فرنگی پیوندی رشد یافته زیر نورهای سفید و ترکیب قرمز-آبی بدست آمده است. همچنین نشاهای گوجه‌فرنگی پیوندی رشد یافته زیر نور قرمز-آبی (R70:B30%) وزن خشک ریشه بیشتری نسبت به نشاهای رشد یافته زیر نورهای قرمز خالص و آبی خالص داشتند (Yousef *et al*., 2021).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل طیف نور و پیوند بر سطح برگ نشاهای گوجه‌فرنگی.
طول موج‌های مختلف نور شامل سفید (W)، آبی (B)، قرمز (R) و قرمز + آبی (R+B). حروف مشابه نشاندهنده عدم معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 2. Mean comparison of interaction effect of light spectrum and grafting on leaf area in tomato seedlings. Different light spectrum including; white (W), blue (B), red (R) and red + blue (R+B). Values with the same letters are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

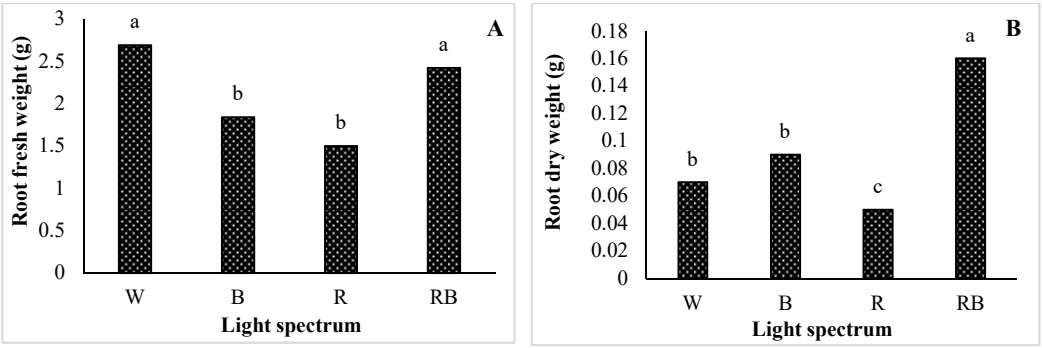
جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر طیف نور و پیوند بر وزن تر و خشک (ریشه، شاخساره و کل) نشاهای گوجه‌فرنگی.

Table 4. Results of variance analysis of the effect of light spectrum and grafting on fresh and dry weight (root, shoot, total) in tomato seedlings.

Sources of variance	df	Means of squares					
		Root fresh weight	Shoot fresh weight	Total fresh weight	Root dry weight	Shoot dry weight	Total dry weight
Block	2	0.21^{ns}	0.25^{ns}	0.93^{ns}	0.00005^{ns}	0.001^{ns}	0.001^{ns}
Light	3	1.76^{**}	17.46^{**}	20.75^{**}	0.015^{**}	0.73^{**}	0.95^{**}
Graft	1	0.17^{ns}	0.42^{ns}	1.14^{ns}	0.002^{**}	0.0004^{ns}	0.004^{**}
Light × Graft	3	0.15^{ns}	9.54^{**}	10.54^{**}	0.003^{ns}	0.05^{**}	0.06^{**}
Main Error	14	0.09	0.50	0.56	0.0002	0.0004	0.0004
CV (%)		14.41	7.52	6.53	15.14	2.05	1.83

**، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly difference at the 1 and 5% of probability levels, and non-significantly difference, respectively.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر مستقل طیف نور بر وزن تر (A) و خشک (B) ریشه در نشاهای گوجه‌فرنگی.

طول موج‌های مختلف نور شامل سفید (W)، آبی (B)، قرمز (R) و قرمز + آبی (R+B). حروف مشابه نشاندهنده عدم معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 3. Mean comparison of the effect of light spectrum on root fresh (A) and dry (B) weight in tomato seedlings. Different light spectrum including; white (W), blue (B), red (R) and red + blue (R+B). Values with the same letters are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل طیف نور و پیوند بر وزن تر و خشک شاخساره و کل نشاهای گوجه‌فرنگی.

Table 5. Mean comparison of interaction effect of light spectrum and grafting on shoot and total fresh and dry weight in tomato seedlings.

Traits		Shoot fresh weight (g)	Total fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Total dry weight (g)
White	Grafted	9.21 c	11.99 b	0.92 d	0.99 d
	Non-grafted	6.90 d	9.51 c	0.77 e	0.85 e
Blue	Grafted	7.59 d	9.17 c	0.90 d	0.97 d
	Non-grafted	9.75 c	11.86 b	1.12 c	1.23 c
Red	Grafted	7.73 d	9.23 c	0.78 e	0.83 e
	Non-grafted	10.41 bc	11.91 b	0.63 f	0.68 f
Red+Blue (70+30%)	Grafted	12.64 a	14.89 a	1.45 b	1.61 b
	Non-grafted	11.17 b	13.76 a	1.56 a	1.74 a

در هر ستون مقادیر با حروف مشابه نشاندهنده عدم معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

In each column, values with the same letters are not signigicantly different at $p \leq 0.05$.

همچنین گزارش شده است که گیاهان فلفل و کلم پیچ رشد یافته زیر ترکیب‌های متفاوت نور قرمز-آبی نسبت به گیاهان رشد یافته زیر نور قرمز خالص، وزن تر و خشک کل بیشتری داشتند (Naznin *et al.*, 2019). نتایج حاصل از پژوهشی که بر روی گیاه گشنیز انجام شده بود نشان داد که میزان وزن تر و خشک برگ و همچنین سطح برگ گیاهانی که در زیر نور قرمز-آبی (R87:B13%) رشد کرده بودند بیشتر از گیاهان رشد یافته زیر نور آبی بود (Nguyen *et al.*, 2020). گزارش شده است که نشاهای سویا رشد یافته زیر ترکیب‌های متفاوت نور قرمز-آبی وزن خشک ریشه و کل بیشتری نسبت به نشاهای رشد یافته زیر

نور قرمز دارا بودند (Fang *et al*., 2021). همچنین در پژوهشی که بر روی گیاهان گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای انجام شده است گفته شده که وزن خشک شاخساره در گیاهان رشد یافته زیر ترکیب‌های متفاوت نور قرمز-آبی (R96:B4%)(R92:B8%) بیشتر از گیاهان گوجه‌فرنگی رشد یافته زیر نور قرمز خالص بودند (Kaiser *et al.,* 2019). نتایج حاصل از پیوند گوجه‌فرنگی روی سه پایه تجاری نشان داده است که بیشترین وزن خشک شاخساره در گوجه‌فرنگی‌های پیوند شده روی پایه های Maxifort و Unifort بدست آمده است (Kumar *et al.,* 2015). در پژوهش مشابه دیگری که بر روی نشاهای گوجه‌فرنگی انجام شده بود اثر چهار تیماری نوری مختلف شامل سفید، آبی خالص، قرمز خالص و ترکیب قرمز-آبی (R75:B25%) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق پس از ۳۰ روز اعمال تیمار نشان داد که وزن خشک ریشه و شاخساره در نشاهای رشد یافته زیر نور ترکیبی قرمز-آبی بیشتر از نشاهای رشد یافته زیر نورهای آبی و سفید بود. کمترین میزان وزن خشک ریشه و شاخساره نیز در نشاهای رشد یافته زیر نور قرمز بدست آمده بود (Li *et al*., 2021). نتایج پژوهش حاضر با نتایج این پژوهش‌ها منطبق می‌باشد.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر مستقل پیوند بر وزن خشک ریشه و محتوای نیتروژن در نشاهای گوجه‌فرنگی.

Table 6. Mean comparison effect of grafting on root dry weight and nitrogen concentration in tomato seedlings.

Traits	N%	Root dry weight (g)
Grafted	4.66 a	0.08 b
Non-grafted	4.42 b	0.10 a

در هر ستون مقادیر با حروف مشابه نشاندهنده عدم معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

In each column, values with the same letters are not signigicantly difference at $p \leq 0.05$.

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول۷)، اثر مستقل طیف نور بر محتوای پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم معنی‌دار بود (P<۰/۰۱). اثر مستقل پیوند نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم و در سطح احتمال ۵ درصد بر محتوای کلسیم اثر معنی‌داری داشت. اثر متقابل طیف نور و پیوند نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم اثر معنی‌دار داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان جذب ازت در نشاهای پیوندی بیشتر از نشاهای غیرپیوندی بوده است (جدول ۶). بر اساس نتایج مقایسه میانگین جدول ۸، بیشترین میزان فسفر در نشاهای غیرپیوندی زیر نور قرمز بدست آمد. بیشترین میزان پتاسیم نیز در نشاهای غیرپیوندی زیر نور قرمز-آبی بدست آمد که البته با نشاهای پیوندی زیر نورهای قرمز-آبی، قرمز و آبی و همچنین نشاهای غیرپیوندی زیر نور سفید تفاوت معنی‌دار آماری نداشت. از نظر میزان جذب کلسیم، نشاهای پیوندی زیر نور آبی بیشترین میزان را نشان دادند که البته با نشاهای غیرپیوندی زیر نور قرمز-آبی تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند. نتایج مقایسه میانگین میزان جذب منیزیم نیز نشان داد که بیشترین میزان منیزیم در نشاهای غیرپیوندی زیر نور سفید بدست آمد که البته با نشاهای پیوندی زیر نور قرمز-آبی اختلاف معنی‌دار آماری نداشتند.

در تحقیقی که بر روی گیاه گشنیز انجام شده بود نتایج نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ به ترتیب در زیر نورهای آبی، قرمز-آبی (R87:B13%) و قرمز بدست آمد. میزان منیزیم و کلسیم نیز در زیر نورهای قرمز، آبی و قرمز-آبی تفاوتی با یکدیگر نداشتند (Nguyen *et al*., 2020).

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر طیف نور و پیوند بر محتوای عناصر معدنی شاخساره در نشاهای گوجه‌فرنگی.

Table 7. Results of variance analysis of the effect of light spectrum and grafting on shoot mineral element concentrations in tomato seedlings.

Sources of variance	Means of squares					
	df	N	P	K	Ca	Mg
Block	2	0.05^{ns}	0.0005^{ns}	0.007^{ns}	0.01^{ns}	0.001^{ns}
Light	3	0.09^{ns}	0.03^{**}	0.45^{**}	0.46^{**}	0.01^{**}
Grafting	1	0.34^{**}	0.004^{**}	0.09^{**}	0.03^{*}	0.004^{ns}
Light × Grafting	3	0.04^{ns}	0.03^{**}	0.75^{**}	0.13^{**}	0.10^{**}
Main Error	14	0.03	0.0003	0.008	0.006	0.001
CV (%)		4.29	3.59	2.93	5.36	3.71

**، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly difference at the 1 and 5% of probability level, and non-significantly difference, respectively.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل طیف نور و پیوند بر محتوای عناصر معدنی شاخساره در نشاهای گوجه‌فرنگی.

Table 8. Mean comparison of interaction effect of light spectrum and grafting on shoot mineral element concentrations in tomato seedlings.

Traits		P%	K%	Ca%	Mg%
White	Grafted	0.44 e	2.74 c	1.49 c	0.80 d
	Non-grafted	0.58 b	3.39 a	1.06 d	1.22 a
Blue	Grafted	0.52 cd	3.39 a	1.86 a	1.09 b
	Non-grafted	0.38 f	3.19 b	1.65 b	0.96 c
Red	Grafted	0.53 c	3.29 ab	1.14 d	1.12 b
	Non-grafted	0.71 a	2.24 d	1.38 c	0.99 c
Red+Blue (70+30%)	Grafted	0.50 d	3.34 ab	1.70 b	1.15 ab
	Non-grafted	0.43 e	3.44 a	1.78 ab	1.10 b

در هر ستون مقادیر با حروف مشابه نشاندهنده عدم معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

In each column, values with the same letters are not signigicantly difference at $p \leq 0.05$.

Dorais *et al.* (2008) گزارش کردند که میزان کلسیم در برگ گوجه‌فرنگی‌های پیوند شده بیشتر از گوجه‌فرنگی‌های غیرپیوندی بوده است. در پژوهش حاضر نیز، بیشترین میزان کلسیم در نشاهای پیوندی زیر نور آبی بوده است. گزارش شده است که میزان تجمع عناصر معدنی در برگ گیاهان پیوندی، بستگی به ترکیب پایه و پیوندک دارد. بنابراین استفاده از پایه مناسب می‌تواند تاثیر مثبتی در محتوای عناصر معدنی در اندام هوایی نشاهای پیوندی و در نتیجه رشد بهتر آن‌ها داشته باشد (Singh *et al.,* 2020). در پژوهشی استفاده از نورهای قرمز و آبی به‌صورت ترکیبی باعث جذب بهتر عناصر معدنی در گیاه خردل شده است (Brazaitytė *et al*., 2018). گزارش شده است که استفاده از نور آبی در کنار نور قرمز می‌تواند سبب بهبود جذب منیزیم شود (Amoozgar *et al.,* 2017). در پژوهش حاضر نیز، بیشترین میزان جذب منیزیم در نشاهای پیوندی زیر نور قرمز-آبی و نشاهای غیرپیوندی زیر نور سفید (شامل ۳۵درصد آبی و ۱۶ درصد قرمز) بوده است. Camejo *et al.* (2020)، نیز گزارش کردند که میزان کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر در زیر نورهای LED سفید و قرمز-آبی تفاوتی با یکدیگر نداشتند. در پژوهشی که بر روی گیاه توت فرنگی انجام شد، نتایج نشان داده است که طول موج‌های نور قرمز و آبی بر میزان جذب عناصر معدنی و همچنین عملکرد دستگاه فتوسنتزی موثر هستند. به طوری که استفاده از نور تکمیلی LED با طول موج‌های قرمز و آبی و به‌ویژه ترکیب قرمز و آبی، از طریق تاثیر مثبت بر جذب عناصر معدنی و بهبود عملکرد دستگاه فتوسنتزی، سبب افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های شوری و آلکالین شد (Malekzadeh Shamsabad *et al.,* 2022). در پژوهشی تاثیر پیوند گوجه‌فرنگی بر روی سه پایه Beaufort، He-Man و Resistar مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان کلسیم در برگ گوجه‌فرنگی‌های پیوندی بوده است. از نظر میزان پتاسیم برگ نیز تفاوتی بین گوجه‌فرنگی‌های پیوندی و غیرپیوندی مشاهده نشده بود (Savvas *et al.,* 2011). گزارش شده است که استفاده از نور LED با طول موج مناسب می‌تواند باعث تحریک ترشح فیتوهورمون‌ها مخصوصا جیبرلین در گیاهان شود و از این طریق سبب مصرف بهتر عناصر معدنی و در نتیجه بهبود رشد و عملکرد در گیاهان گردد (Tamulaitis *et al.,* 2005). نتایج حاصل از بررسی تاثیر طیف‌های مختلف نور LED بر روی میزان محتوای عناصر برگ در گیاه بامیه نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن در زیر نور آبی بدست آمد که با بامیه‌های رشدیافته زیر نور قرمز تفاوتی نداشتند. بیشترین میزان کلسیم، منگنز و فسفر نیز در زیر نور قرمز بدست آمده بود. میزان منیزیم، پتاسیم و روی نیز تحت تاثیر تیمارهای نوری قرار نگرفته بودند (Degni *et al.,* 2021).

نتیجه‌گیری کلی

نور یکی از مهمترین فاکتورهای محیطی است که می‌تواند رشد و نمو را در گیاهان تحت تاثیر قرار دهد. اخیرا استفاده از نورهای LED در باغبانی گسترش بسیار زیادی پیدا کرده است. یکی از مهمترین ویژگی‌های نورهای LED این است که می‌توان طوج

موج‌های مشخصی که بیشترین تاثیر را در رشد و نمو و فتوسنتز گیاهان دارند فراهم کرد. گیاهان در معرض نور تک رنگ قرمز یا آبی، رشد و عملکرد مطلوبی ندارند. تحت نور قرمز خالص، گیاهان اغلب دچار عارضه سندروم نور قرمز می‌شوند که به‌صورت چروکیدگی در برگ‌ها ظاهر می‌شود و ظرفیت فتوسنتزی گیاه را به شدت کاهش می‌دهد. استفاده از نور آبی خالص نیز باعث کاهش فاصله میان گره‌ها و ایجاد سایه اندازی برگ‌ها روی یکدیگر شده و بدین طریق سبب کاهش رشد و نمو در گیاهان می‌گردد. این در حالی است که در بسیاری از تحقیقات، اثرات مثبت هم افزایی طول موج‌های مختلف نور، مخصوصا طول موج‌های قرمز و آبی با یکدیگر، بر فعالیت فتوسنتزی و جذب عناصر معدنی در گیاهان مشاهده شده است. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که ویژگی‌های مورفولوژیکی و غلظت عناصر معدنی در اندام هوایی در نشاهای پیوندی و غیر پیوندی گوجه‌فرنگی تحت تاثیر طیف‌های مختلف نور LED قرار می‌گیرد. به گونه‌ای که استفاده از ترکیب نور قرمز-آبی با نسبت ۷۰ درصد نور قرمز و ۳۰ درصد نور آبی، باعث افزایش رشد و کیفیت نشاها و همچنین جذب بهینه‌تر عناصر معدنی گردید. پیوند نشاهای گوجه‌فرنگی روی پایه قدرتمند Maxifort نیز باعث جذب بهتر عناصر معدنی و در نتیجه افزایش کیفیت نشاها شد. باید به این نکته توجه داشته باشیم که، نشاهای پیوند شده روی پایه مکسی‌فورت با وجود توقف رشدی که در هفته اول پس از عمل پیوند برای ایجاد ارتباطات آوندی در محل پیوند داشتند، توانستند در زمان اندازه‌گیری صفات (۳۰ روز پس از پیوند)، به اندازه نشاهای غیرپیوندی که از همان ابتدا روند رشدی خود را حفظ کرده بودند، رشد یابند. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که، کاربرد نسبت مناسب نورهای قرمز و آبی نسبت به نورهای قرمز و آبی به تنهایی و همچنین استفاده از یک پایه قدرتمند مانند مکسی فورت، می‌تواند باعث بهبود رشد و جذب بهتر عناصر معدنی در نشاهای گوجه‌فرنگی شود.

REFERENCES

1. Ahmad, M., Grancher, N., Heil, M., Black, R. C., Giovani, B., Galland, P., & Lardemer, D. (2002). Action spectrum for cryptochrome-dependent hypocotyl growth inhibition in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, *129*(2), 774-785.
2. Amoozgar, A., Mohammadi, A., & Sabzalian, M.R. (2017). Impact of light-emitting diode irradiation on photosynthesis, phytochemical composition and mineral element content of lettuce cv. Grizzly. *Photosynthetica, 55,* 85-95.
3. Bantis, F., Koukounaras, A., Siomos, A. S., Fotelli, M. N., & Kintzonidis, D. (2020). Bichromatic red and blue LEDs during healing enhance the vegetative growth and quality of grafted watermelon seedlings. *Scientia Horticulturae*, *261*, 109000.
4. Barickman, T. C., Kopsell, D. A., Sams, C. E., & Morrow, R. C. (2020). Sole-source LED lighting and fertility impact shoot and root tissue mineral elements in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*). *Horticulturae*, *6*(3), 40.
5. Brazaitytė, A., Vaštakaitė-Kairien, V., Jankauskienė, J., Viršilė, A., Samuolienė, G., Sakalauskienė, S., ... & Duchovskis, P. (2018). Effect of blue light percentage on mineral elements content in *Brassica microgreens*. *Acta Horticulturae*, *1271*, (119-126).
6. Camejo, D., Frutos, A., Mestre, T. C., del Carmen Piñero, M., Rivero, R. M., & Martínez, V. (2020). Artificial light impacts the physical and nutritional quality of lettuce plants. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *61*(1), 69-82.
7. Colla, G., Pérez-Alfocea, F., & Schwarz, D. (2017). *Vegetable grafting: principles and practices*. CABI.
8. Degni, B. F., Haba, C. T., Dibi, W. G., Soro, D., & Zoueu, J. T. (2021). Effect of light spectrum on growth, development, and mineral contents of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Open Agriculture*, *6*(1), 276-285.
9. Dierck, R., Dhooghe, E., Van Huylenbroeck, J., Van Der Straeten, D., & De Keyser, E. (2017). Light quality regulates plant architecture in different genotypes of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Scientia Horticulturae*, *218*, 177-186.
10. Dorais, M., Ehret, D. L., & Papadopoulos, A. P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, *7*(2), 231-250.

11. Dutta Gupta, S., & Agarwal, A. (2017). Artificial lighting system for plant growth and development: Chronological advancement, working principles, and comparative assessment. In *Light emitting diodes for agriculture: Smart Lighting*, 1-25.
12. Engels, C., Kirkby, E., & White, P. (2012). Mineral nutrition, yield and source–sink relationships. In *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. 85-133.
13. Esmaeilizadeh, M., Malekzadeh Shamsabad, M. R., Roosta, H. R., Dąbrowski, P., Rapacz, M., Zieliński, A., ... & Kalaji, H. M. (2021). Manipulation of light spectrum can improve the performance of photosynthetic apparatus of strawberry plants growing under salt and alkalinity stress. *Plos one*, *16*(12), e0261585.
14. Fang, L., Ma, Z., Wang, Q., Nian, H., Ma, Q., Huang, Q., & Mu, Y. (2021). Plant growth and photosynthetic characteristics of soybean seedlings under different LED lighting quality conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, *40*(2), 668-678.
15. Głowacka, B. (2004). The effect of blue light on the height and habit of the tomato *Lycopersicon esculentum* Mill.) transplant. *Folia Horticulturae*, *16*(2), 3-10.
16. Jang, Y., Goto, E., Ishigami, Y., Mun, B., & Chun, C. (2011). Effects of light intensity and relative humidity on photosynthesis, growth and graft-take of grafted cucumber seedlings during healing and acclimatization. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *52*(4), 331-338.
17. Javanmardi, J. (2009). *Scientific and practical basics for production of vegetable seedlings*. (1st ed.). Jahad Daneshgahi Publication, Mashhad. (In Farsi)
18. Kaiser, E., Ouzounis, T., Giday, H., Schipper, R., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. (2019). Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse-grown tomatoes, but only to an optimum. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 2002.
19. KAYAL, W. E., Allen, C. C., JU, C. J. T., Adams, E. R. I., KING-JONES, S. U. S. A. N. N. E., Zaharia, L. I., ... & Cooke, J. E. (2011). Molecular events of apical bud formation in white spruce, Picea glauca. *Plant, cell & Environment*, *34*(3), 480-500.
20. Kurepin, L. V., Walton, L. J., Hayward, A., Emery, R. N., Pharis, R. P., & Reid, D. M. (2012). Interactions between plant hormones and light quality signaling in regulating the shoot growth of *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Botany*, *90*(3), 237-246.
21. Kumar, P., Rouphael, Y., Cardarelli, M., & Colla, G. (2015). Effect of nickel and grafting combination on yield, fruit quality, antioxidative enzyme activities, lipid peroxidation, and mineral composition of tomato. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *178*(6), 848-860.
22. Kumar, P., Rouphael, Y., Cardarelli, M., & Colla, G. (2017). Vegetable grafting as a tool to improve drought resistance and water use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1130.
23. Lau, O. S., & Deng, X. W. (2010). Plant hormone signaling lightens up: integrators of light and hormones. *Current Opinion in Plant Biology*, *13*(5), 571-577.
24. Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Echevarria, P. H., Morra, L., & Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, *127*(2), 93-105.
25. Li, Y., Liu, Z., Shi, Q., Yang, F., & Wei, M. (2021). Mixed red and blue light promotes tomato seedlings growth by influencing leaf anatomy, photosynthesis, CO_2 assimilation and endogenous hormones. *Scientia Horticulturae*, *290*, 110500.
26. Malekzadeh Shamsabad, M. R., Esmaeilizadeh, M., Roosta, H. R., Dąbrowski, P., Telesiński, A., & Kalaji, H. M. (2022). Supplemental light application can improve the growth and development of strawberry plants under salinity and alkalinity stress conditions. *Scientific Reports*, *12*(1), 1-13.
27. Moosavi-Nezhad, M., Salehi, R., Aliniaeifard, S., Tsaniklidis, G., Woltering, E. J., Fanourakis, D., ... & Kalaji, H. M. (2021). Blue light improves photosynthetic performance during healing and acclimatization of grafted watermelon seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(15), 8043.
28. Naznin, M. T., Lefsrud, M., Gravel, V., & Azad, M. O. K. (2019). Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. *Plants*, *8*(4), 93.
29. Neff, M. M., Fankhauser, C., & Chory, J. (2000). Light: an indicator of time and place. *Genes & development*, *14*(3), 257-271.
30. Nguyen, D. T., Kitayama, M., Lu, N., & Takagaki, M. (2020). Improving secondary metabolite accumulation, mineral content, and growth of coriander (*Coriandrum sativum* L.) by regulating light quality in a plant factory. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *95*(3), 356-363.
31. Rivard CL, Louws FJ. (2008). Grafting to manage soilborne diseases in heirloom tomato production. *Journal of Hortcultural Science*, 43(7), 2104-11.
32. Ryan, J., Estefan, G., & Rashid, A. (2007). *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual*. ICARDA

33. Savvas, D., Savva, A., Ntatsi, G., Ropokis, A., Karapanos, I., Krumbein, A., & Olympios, C. (2011). Effects of three commercial rootstocks on mineral nutrition, fruit yield, and quality of salinized tomato. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *174*(1), 154-162.
34. Seif, M., Aliniaeifard, S., Arab, M., Mehrjerdi, M. Z., Shomali, A., Fanourakis, D., ... & Woltering, E. (2021). Monochromatic red light during plant growth decreases the size and improves the functionality of stomata in *chrysanthemum*. *Functional Plant Biology*, *48*(5), 515-528.
35. Singh, H., Kumar, P., Kumar, A., Kyriacou, M. C., Colla, G., & Rouphael, Y. (2020). Grafting tomato as a tool to improve salt tolerance. *Agronomy*, *10*(2), 263.
36. Tahmasebi, F. (2010). *Physiological investigation of the irrigation effect with salty water from NaCl and CaCl2 sources on three genotype of Canola (Brassica napus L.) in Ahvaz climate*. Master Thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (In Farsi)
37. Tamulaitis, G., Duchovskis, P., Bliznikas, Z., Breivė, K., Ulinskaite, R., Brazaityte, A., ... & Žukauskas, A. (2005). High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation. *Journal of Physics D: Applied Physics*, *38*(17), 3182.
38. Wallace, C., & Both, A. J. (2016). Evaluating operating characteristics of light sources for horticultural applications. *Acta Horticulturae*, *1134*, (435-444).
39. Wang, L., Chen, X., Wang, Q., Hao, J., & Lan, J. (2011). Effect of different light of LED light quality on growth and antioxidant enzyme activities of *Ganoderma lucidum*. *Zhongguo Zhong yao za zhi= Zhongguo Zhongyao Zazhi= China Journal of Chinese Materia Medica*, *36*(18), 2471-2474.
40. Yousef, A. F., Ali, M. M., Rizwan, H. M., Ahmed, M. A., Ali, W. M., Kalaji, H. M., ... & Chen, F. (2021). Effects of light spectrum on morpho-physiological traits of grafted tomato seedlings. *Plos One*, *16*(5), e0250210.
41. Yu, X., Liu, H., Klejnot, J., & Lin, C. (2010). The cryptochrome blue light receptors. *The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists*, *8*.
42. OuYang, F., Mao, J. F., Wang, J., Zhang, S., & Li, Y. (2015). Transcriptome analysis reveals that red and blue light regulate growth and phytohormone metabolism in Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.]. *PLoS One*, *10*(8), e0127896.