

Optimization of Growth and Quality of Cucumber Scion Seedlings for Grafting Operations Under the Influence of Different LED Light Spectra

Abstract

In this research, the effects of different LED light spectra, including 100% green light (single spectrum), 40% red + 60% blue (R40:B60), 80% red + 20% blue (R80:B20), and 90% red + 10% blue light (R90:B10), with a constant intensity of $100 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, for 14 days were evaluated on 'OREKA' cucumber seedlings to optimize them for grafting. The results indicated that the highest seedling height was observed in the green light treatment with a value of 9.07 cm, and the lowest in the R40:B60 and R80:B20 treatments with values of 2.92 cm and 3.32 cm, respectively. The highest stem diameter was in the R90:B10 treatment with a value of 2.36 mm, and the lowest occurred in the green light and R40:B60 treatments with values of 1.96 mm and 2.04 mm, respectively. The root length in the R90:B10 treatment was the highest at 8.19 cm, and the lowest occurred in the green light treatment at 5.69 cm. The root dry mass in the R80:B20 and R90:B10 treatments was the highest with values of 0.0825 g and 0.0852 g, respectively, and the lowest occurred in the green light treatment with a value of 0.0319 g. The leaf area in the R90:B10 treatment was the highest at 27.41 cm², and the lowest happened in the R40:B60 and green light treatments with values of 12.18 cm² and 12.19 cm², respectively. The leaf dry mass in the R90:B10 treatment was the highest at 0.3138 g, and the lowest occurred in the green light treatment with a value of 0.1124 g. The seedling quality index (DQI) in the R80:B20, R40:B60, R90:B10, and green light treatments was 0.078, 0.073, 0.072, and 0.023, respectively. According to the results, the seedling height in the green light treatment was 36% higher than the highest seedling height in the combined light treatments. Increasing the percentage of red light from 40% to 90% led to a 13.5% increase in stem diameter. Increasing the percentage of blue light from 10% to 60% led to a 55% and 38% reduction in leaf area and leaf dry mass, respectively. Increasing red light increased root length and root dry mass and other root traits. However, green light had a negative impact on root traits that's causing a decrease in leaf area and dry weight in this treatment. Collectively, the light treatment with a ratio of 80% red light and 20% blue light can be suitable for producing cucumber scions.

Keywords: shade avoidance response; phytochromes; cryptochromes; combined blue-red light; green light

بهینه‌سازی رشد و کیفیت نشای پیوندک خیار برای عملیات پیوند تحت تأثیر طیف‌های مختلف نور ال ای دی (LED)

در این مطالعه، تأثیر طیف‌های مختلف نور LED شامل، ۱۰۰ درصد نور سبز (تک‌طیف)، ۴۰ درصد نور قرمز + ۶۰ درصد نور آبی (R40:B60)، ۸۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور آبی (R80:B20)، و ۹۰ درصد نور قرمز + ۱۰ درصد نور آبی (R90:B10)، با شدت ثابت $100 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ، به مدت ۱۴ روز، بر روی نشای خیار رقم OREKA جهت بهینه‌سازی آن برای پیوند مورد ارزیابی 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 به ترتیب 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 به ترتیب 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 به ترتیب با مقادیر ۰/۸۲۵ و ۰/۸۵۲ گرم بیشترین و در سبز با ۰/۳۱۹ 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 به ترتیب 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) به ترتیب 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 بدست آمده ارتفاع نشا در تیمار نور سبز ۳۶ درصد بیشتر از بیشترین مقدار ارتفاع نشا در نورهای ترکیبی بود. افزایش درصد نور قرمز از ۴۰ به ۹۰ درصد باعث افزایش ۱۳/۵ درصدی قطر ساقه شد. افزایش نور آبی سطح برگ و وزن خشک برگ را کاهش داد به طوری که با افزایش درصد نور آبی از ۱۰ به ۶۰ درصد، به ترتیب 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 به موجب آن باعث کاهش مقدار سطح برگ و وزن خشک برگ در این تیمار گردید. در مجموع، تیمار نوری با نسبت ۸۰ درصد نور قرمز و ۲۰ درصد نور آبی تولید پیوندک خیار می‌تواند مناسب باشد.

کلید واژه‌ها: پاسخ اجتناب از سایه، فیتوکروم‌ها، کریپتوکروم‌ها، نور ترکیبی آبی قرمز، نور سبز

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 در حال افزایش است (Lee Bie et al., 2017; JungMyung et al., 2010; Rouphael et al., 2010). تولید نشاهای پیوندی در مقایسه با نشاهای غیرپیوندی دارای پیچیدگی بیشتری است. علاوه بر آن تغییرات آب و هوایی، تولیدکنندگان تجاری نشای پیوندی را برای تولید نشای با کیفیت با محدودیت‌های اساسی مواجه ساخته است (Leonardi & Romano, 2002). در محیط‌های غیرکنترل شده، تولید پایه و پیوندک با اندازه، یکنواختی و کیفیت مناسب، که از جمله عوامل اصلی در گیرایی پیوند و افزایش راندمان پیوند محسوب می‌شود، دشوار است. به علاوه آنکه تولید پایه و پیوندک باید در یک بازه زمانی مشخص و در تمام فصول سال امکان پذیر باشد. در نتیجه برای داشتن پایه و پیوندک با کیفیت تر در زمان مناسب و در نهایت بهبود کیفیت و عملکرد محصول باید تغییرات آب هوایی را تحت کنترل داشت (Bisbis et al., 2019).

کارخانه‌های گیاهی مجهز به نور مصنوعی یا PFAL^۱ جایگزین بسیار مناسبی برای تولید محصولات باغی در شرایط تغییرات اقلیمی هستند (Kozai et al., 2019)، که با ایجاد شرایط کاملاً کنترل شده محیطی اعم از نور، دما، رطوبت، آبیاری، تغذیه و کربن دی اکسید، به تولیدکنندگان این امکان را می‌دهند که فارغ از شرایط آب و هوایی بیرون، در هر زمان بتوانند گیاهان با کیفیت تولید کنند. همچنین، در این ساختار امکان تولید دامنه متنوعی از گیاهان شامل سبزی‌های برگی، نشاء، گیاهان دارویی و گیاهان زینتی گلدانی وجود دارد (Kozai & Niu, 2016). با توجه به اینکه رشد و نمو گیاهان عموماً تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله دما، کیفیت و شدت نور، دوره نوری، رطوبت نسبی و غلظت CO₂ است، به منظور به حداکثر رساندن بهره‌وری در کارخانه‌های گیاهی تعیین محدوده بهینه شرایط محیطی با توجه به نوع محصول کشت شده و با در نظر گرفتن استفاده صیانتی از انرژی بسیار مهم و ضروری است (Gruda, 2005).

اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی تحقیقات در مورد PFALها گسترش پیدا کرد که عمدتاً در حوزه بررسی شرایط محیطی مناسب جهت تولید نشا در کارخانه‌های گیاهی بود، اخیراً مطالعات گسترده‌ای پیرامون استفاده از دیوده‌های ساطع کننده نور یا LED^۲، به عنوان منبع نوری در کارخانه‌های گیاهی انجام شده است. نورهای LED نسبت به سیستم روشنایی سنتی نظیر لامپ‌های فلئورسنت و متال‌هالیدی، دمای کمتری تولید می‌کنند، همچنین اندازه کوچک‌تر و طول عمر بیشتری دارند و قابلیت تولید طول موج‌های مشخصی از نور را دارند، به همین سبب کاربرد آنها در PFALها به میزان قابل توجهی افزایش پیدا کرده است (Bourget, 2008). در این لامپ‌های به دلیل آنکه پیک‌های جذب نور توسط رنگیزه‌های گیاهی در طول موج‌های ۴۳۰ و ۶۶۳ نانومتر رخ می‌دهد (Massa et al., 2008)، از طول موج آبی (۴۰۰-۵۰۰ نانومتر) و طول موج قرمز (۶۰۰-۷۰۰ نانومتر) در لامپ‌های LED استفاده گردیده است (Chory, 2010). استفاده آگاهانه از طول موج‌های مخصوص در LEDها برای کنترل رفتار گیاه برای رسیدن به اهداف خاص امکان پذیر است (Massa et al., 2008).

در کارخانه‌های گیاهی نیز به کار بردن نورهای LED برای کنترل و مدیریت رشد گیاهان انجام شده است به گونه ای که با تغییرات در نور می‌توان به مدیریت طول محور زیر لپه، 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، به عنوان تنها منبع روشنایی در نبود نور

1. Plant factory with artificial lighting

2. Light emitting diode

خورشید مورد نیاز است (Hernández & Kubota, 2016) و با توجه به اهمیت یافتن تولید سبزی‌های پیوندی از جمله نشای خیار برای گلخانه‌ها، پژوهش روی نور به عنوان یک عامل کلیدی جهت تولید یک پیوندک مناسب ضروری است.

در این مطالعه به منظور تعیین شرایط بهینه نور (کیفیت نور) برای تولید پیوندک باکیفیت خیار اثر چهار تیمار نوری مختلف اعم از نور سبز و سه ترکیب نوری قرمز و آبی، بر صفات مختلف نشا در یک کارخانه گیاهی مجهز به نور مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت.

پیشینه پژوهش

با مشخص شدن اینکه مورفولوژی گیاهان در کارخانه‌های گیاهی تحت تأثیر نورهای تک طیف مختلف و همچنین نورهای ترکیبی قرمز-آبی قرار دارد، پژوهش‌های بسیاری برای شناسایی اثرات طیف‌های نوری مختلف روی گیاهان به منظور یافتن ترکیب رنگی (طیف) مناسب برای رشد گیاه، زیر نور مصنوعی انجام شد (Bantis et al., 2018). مطالعاتی که به منظور 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 ۳ 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 نیز نشان داد 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 تک رنگ آبی (۱۰۰ درصد آبی) به شکل غیر منتظره‌ای قد گیاه، وزن تر و خشک و سطح برگ را افزایش داد و کمترین میزان وزن خشک و تر نشای در استفاده از نور تک رنگ قرمز (۱۰۰ درصد قرمز) بود. استفاده از نور سبز (۴۸۰-۵۶۰ نانومتر) با وجود این که 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 نور سبز نسبت به نورهای دیگر به دلیل جذب کمتر می‌تواند در بافت‌ها و لایه‌های برگ، عمیق‌تر نفوذ نموده و باعث برانگیخته شدن فتوسیستم‌ها در سلول برگ‌های پایینی شود (Liu & Van Iersel, 2021). از آنجایی که مطالعات کافی و جامع در جهت مشخص نمودن کیفیت نوری مناسب برای تولید پیوندک خیار گزارش نشده است و همچنین مطالعاتی در جهت مقایسه نور تک طیف سبز و نورهای ترکیبی قرمز-آبی برای مشخص نمودن اثرات آن بر مورفولوژی پیوندک خیار انجام 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

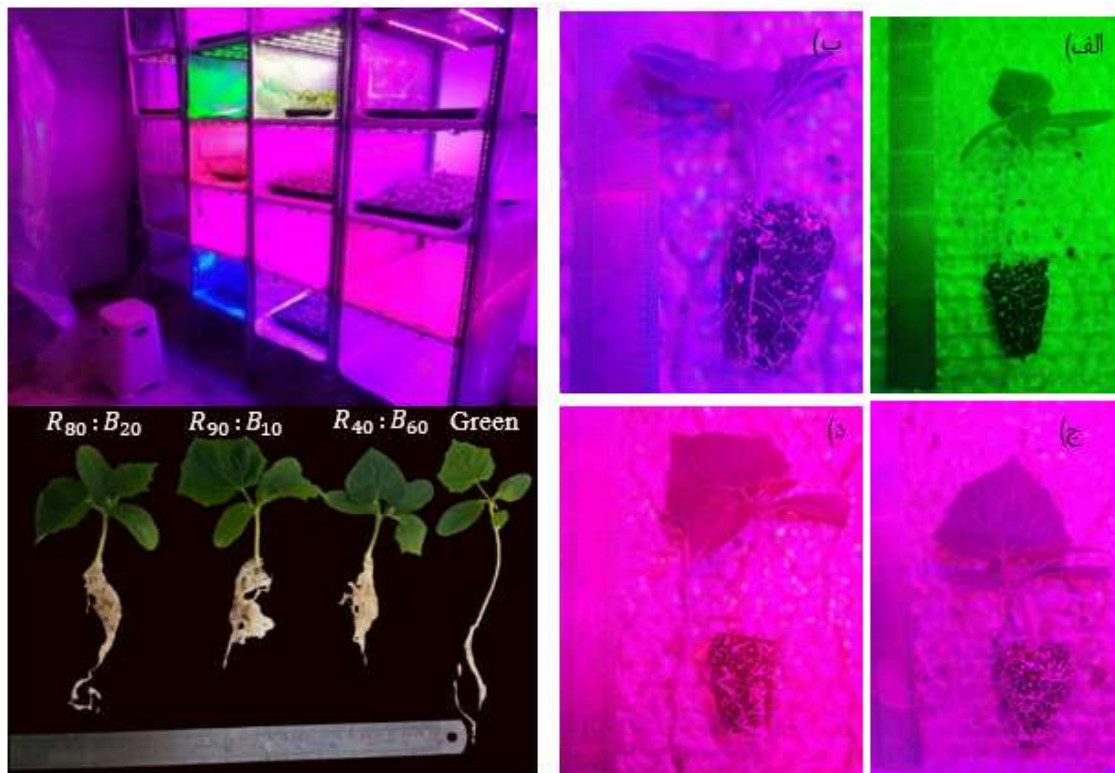
این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۵ تکرار، در اتاقک رشد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی - دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. بذور خیار رقم اورکا (OREKA F₁) شرکت کلوز فرانسه، در تاریخ ۱۹ فروردین ۱۴۰۳، در سینی‌های ۱۲۸ حفره‌ای (۵۸ × ۲۸ سانتی متر) با حجم حفره ۱۶ سانتی متر مکعب و در بستر ترکیبی کوکوپیت - پرلایت با نسبت حجمی ۸۰:۲۰ و پوشش سطح بذر ورمی کولایت، کشت شدند. به منظور آبیگری بهتر بذور و یکنواختی جوانه زنی، سینی‌های کشت شده پس از آبیاری کامل، به اتاقک جوانه زنی با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ 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 کنترل شده کارخانه گیاهی که به صورت دمای روز 25 ± 1 درجه سلسیوس و دمای شب 18 ± 1 درجه سلسیوس و شدت تابش ۱۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه و طول دوره روشنایی ۱۶ ساعت و رطوبت نسبی ۷۵ درصد بود رشد پیدا کردند (شکل ۱). در طول دوره رشد تمام تیمارها با محلول غذایی هوگلند ۲ با اسیدیته (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) به ترتیب معادل ۵/۵ و ۱/۴ دسی زیمنس بر متر به صورت 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 به ترتیب ۹۰، ۶۳ و ۴۰ سانتی متر (ابعاد هر طبقه) بود، قرار گرفتند (شکل ۱). در هر قفسه از سه نوار رشته‌ای نور LED (شرکت ایران گرو لایت) با طیف متفاوت و شدت ثابت 100 ± 5 میکرومول بر متر مربع بر ثانیه استفاده شد. تیمارهای آزمایش شامل ۴ کیفیت نور شامل نور سبز (۱۰۰ درصد) و سه ترکیب نوری آبی و قرمز با نسبت‌های ۴۰:۶۰، ۲۰:۸۰، ۱۰:۹۰ (R40:B60-R80:B20-R90:B10) بودند (شکل ۱).

پس از ۱۷ روز از کشت بذور، در ۵ اردیبهشت ۱۴۰۳ ارزیابی نشاهای خیار برای استفاده به عنوان پیوندک انجام شد و ویژگی‌های رشدی نشا با اندازه‌گیری ۵ نمونه تصادفی از هر تکرار انجام گرفت. صفات وزن تر ریشه، دمبرگ، محور زیر لپه، محور رو لپه، برگ‌های حقیقی و برگ‌های لپه‌ای و وزن تر کل نشا با استفاده از ترازو دیجیتال (شرکت Dongguan Ming Heng Electronic Technology Co., Ltd مدل 100GR YP-MH-0.01) با دقت ۰/۰۱ گرم و صفات وزن خشک کل نشا، ریشه، دمبرگ، محور زیر لپه، محور رو لپه، برگ‌های حقیقی و لپه‌ای پس از خشک شدن کامل در آون با دمای ۱۰۴ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت با ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، مورد ارزیابی قرار گرفت. ارتفاع نشا با استفاده از خط کش با دقت ۰/۱ سانتی متر از یقه ریشه تا نوک جوانه اندازه‌گیری شد. ارتفاع محور رو لپه، طول دمبرگ، قطر دمبرگ و قطر ساقه پیوندک با استفاده از کولیس دیجیتال (DNC 0-150 mm STAINLESS HARDENED) با دقت ۰/۰۱ میلی متر اندازه گرفته شد. حجم ریشه به روش وزنی با استفاده از ۵۰ میلی لیتر آب و ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.



شکل ۱. اتاقک رشد (تصویر سمت چپ بالا) و تیمارهای نوری مختلف (تصویر سمت راست) استفاده شده در این آزمایش بر روی نشا خیار به ترتیب الف) نور سبز (Green)، ب) ترکیب نوری ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ج) ترکیب نوری ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و د) ترکیب نوری ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ درصد آبی (R90:B10) و تصویر کلی نشا پیوندک خیار (رقم اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موجهای مختلف نور (تصویر سمت چپ پایین)

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 لپه‌های 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 فلورسنس متر مدل Hansatech Instruments Ltd Handy PEA Data اندازه‌گیری و با نرم افزار PEA Plus Version: 1.02 آنالیز گردید (Fm : حداقل فلورسنس و Fv : حداکثر فلورسنس در شرایط سازگاری با تاریکی) (Baker & Rosenqvist, 2004).

همچنین به جهت ارزیابی کیفیت نشاهای رشد یافته 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 (Lin et al., 2013; Dickson et al., 1960; An et al., 2021) مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفت (رابطه ۱-۶):

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

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

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

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

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

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

Compactness: میزان کوتولگی برحسب گرم بر سانتی متر؛ Shoot dry weight: ماده خشک شاخساره بر اساس گرم؛ plant height: ارتفاع نشا برحسب سانتی متر، LAI: شاخص سطح برگ؛ Leaf area: سطح برگ برحسب سانتی متر مربع؛ Tray area: سطح سینی برحسب سانتی متر مربع، LAR: نسبت سطح برگ برحسب، سانتی متر مربع بر گرم ماده خشک؛ SLA: سطح ویژه برگ برحسب سانتی متر مربع بر گرم ماده خشک برگ؛ Leaf dry weight: وزن خشک برگ نشا برحسب گرم، LUE: کارایی مصرف نور بر حسب گرم مترمربع بر مول انرژی؛ Total dry weight: ماده خشک کل نشا برحسب گرم؛ Light integral: نور تجمعی برحسب مول بر مترمربع، Dickson quality index: شاخص کیفیت نشای دیکسون؛ Stem diameter: قطر نشا برحسب میلی متر؛ Root dry weight: وزن خشک ریشه برحسب گرم

تحلیل آماری

این مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و پنج تکرار انجام شد و در هر تکرار ۵ نمونه اندازه گیری شد. تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها 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.

یافته های پژوهشی

تجزیه واریانس داده ها، 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) به مدت ۱۴ روز بر صفات مورد مطالعه در نشا پیوندک خیار رقم اورکا

میانگین مربعات										منابع تغییر	درجه آزادی
وزن تر دمبرگ	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	میانگین طول توده ریشه	قطر ریشه	وزن خشک کل نشا	وزن تر کل نشا	قطر ساقه	ارتفاع نشا		
۰/۰۵۳۶۲**	۴/۴۲۷۸۲**	۰/۰۰۳۱۵**	۳/۳۵۷۱**	۶/۱۰۶۴**	۰/۰۰۰۱۴۵۴**	۰/۱۱۴۱**	۳۶/۲۷**	۰/۱۵۱۰**	۳۹/۹۶**	۳	تیمار
۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۵۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۶۲۶	۰/۰۴۸۸	۰/۰۰۰۰۰۵۸	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۹۶۱	۰/۰۰۲۲۳	۰/۶۰۰۷	۱۶	خطا
۵/۸۷	۵/۴۵	۲/۶۷	۴/۰۰	۶/۰۳	۳/۴۷	۲/۶۸	۳/۳۰	۲/۱۳	۱۴/۷۱	-	ضریب تغییرات (درصد)

ادامه جدول ۱.

میانگین مربعات										منابع تغییر	درجه آزادی
وزن خشک محور رو لپه	وزن تر محور رو	وزن خشک محور زیر	وزن تر محور زیر	طول محور رو لپه	طول محور زیر لپه	قطر دمبرگ	طول دمبرگ بزرگ	طول دمبرگ کوچک	وزن خشک دمبرگ		

ادامه جدول ۱.

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

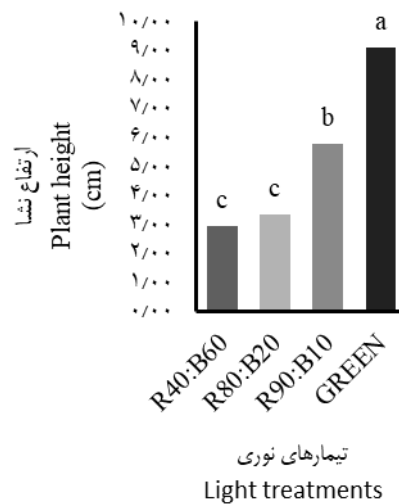
ادامه جدول ۱.

میانگین مربعات										
منابع تغییر	درجه آزادی	سبزی‌نگی برگ حقیقی (DGCI)	سبزی‌نگی برگ (DGCI)	حداکثر عملکرد فتوسنتزی II (Fm/Fv)	شاخص کوتولگی نشا (Compactness)	شاخص سطح برگ (LAI)	نسبت سطح شاخص (LAR)	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	۰/۰۰۰۰۹۴۹	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 ۱ درصد، * معنادار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد، ns عدم معناداری است.

ارتفاع نشا

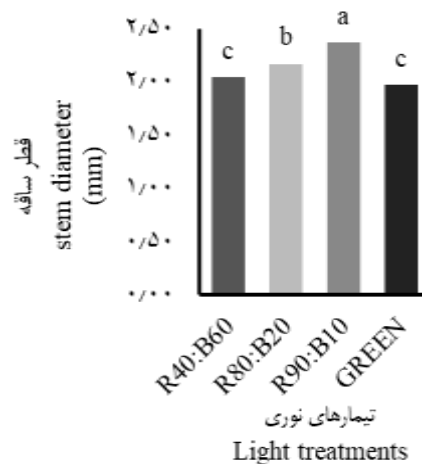
با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر تیمارهای نوری روی ارتفاع نشا معنادار شد و در تیمار نور سبز بیشترین مقدار (۹/۰۷ سانتی متر) بود. در حالی که در تیمارهای R40:B60 و R80:B20 به ترتیب با ۲/۹۲ و ۳/۳۲ سانتی متر، کمترین مقدار را داشت. در کل با افزایش نور قرمز ارتفاع افزایش یافت با این حال بیشترین افزایش در نور سبز رخ داد (نمودار ۱).



نمودار ۱. مقایسه میانگین ارتفاع نشا پیوندک خیار (رقم اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ درصد آبی (R90:B10). در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده آن است که بین تیمارهای مربوطه تفاوت معناداری از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۱ درصد وجود ندارد.

قطر ساقه

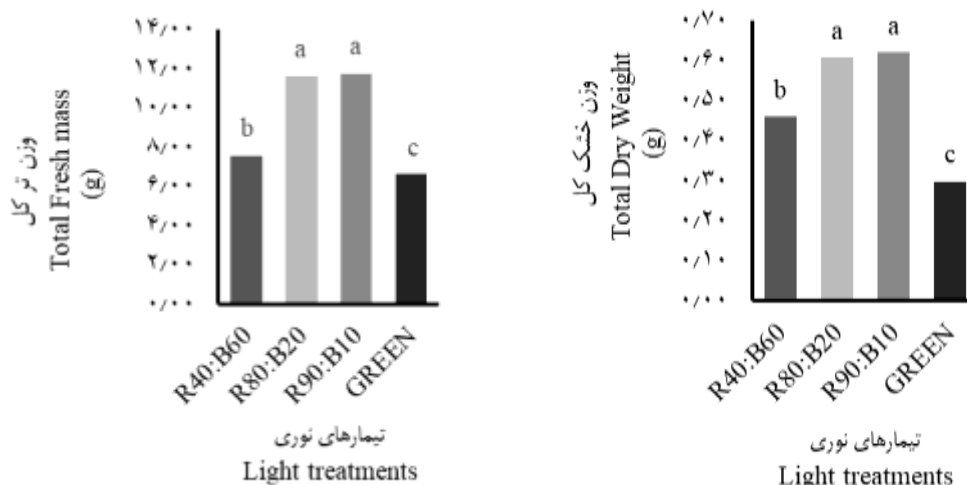
بیشترین قطر ساقه در تیمار R90:B10 (۲/۳۶ میلی متر) اتفاق افتاد. همچنین قطر ساقه با افزایش درصد نور قرمز افزایش پیدا کرد به طوری که قطر ساقه در تیمار R90:B10 (۲/۳۶ میلی متر) به ترتیب ۸/۴۷ و ۱۳/۵ درصد از تیمارهای R80:B20 (۲/۱۶ میلی متر) و R40:B60 (۲/۰۴ میلی متر) بیشتر بود. کمترین قطر ساقه برای تیمارهای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



نمودار ۲. مقایسه میانگین قطر ساقه نشا پیوندک خیار (رقم اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ درصد آبی (R90:B10). در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده آن است که بین تیمارهای مربوطه تفاوت معناداری از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۱ درصد وجود ندارد.

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 R90:B10 و R80:B20 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 اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ درصد آبی (R90:B10). در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده آن است که بین تیمارهای مربوطه تفاوت معناداری از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۱ درصد وجود ندارد.

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 R90:B10 و R80:B20 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 اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ 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.

طول دمبرگ بزرگ (اولین برگ حقیقی) و دمبرگ کوچک (جوان ترین 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 با این حال در تیمارهای R90:B10 و R80:B20 تفاوت معناداری دیده نشد و به طور کلی افزایش نور قرمز و استفاده از نور تک رنگ سبز باعث افزایش طول دمبرگ‌ها شد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مربوط به دمبرگ نشا پیوندک خیار (رقم اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ درصد آبی (R90:B10)

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

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

محور رو لپه و زیر لپه

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

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مربوط به محور زیر لپه و رو لپه نشا پیوندک خیار (رقم اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ درصد آبی (R90:B10)

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

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 به جز 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 ۶۰ درصد، باعث کاهش در اندازه برگ‌ها شد. در سطح برگ‌های حقیقی طول

و عرض برگ‌های لپه ای بین تیمار R40:B60 و سبز تفاوت معناداری وجود نداشت و در مقایسه با سایر تیمارها کمترین مقدار را داشت و به طور کلی 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 اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ 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	۰/۱۱۳۴ 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 ۶. مقایسه میانگین صفات مربوط به برگ‌های لپه‌ای نشا پیوندک خیار (رقم اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ درصد آبی (R90:B10)

تیمارهای نوری	وزن تر 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:B20	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

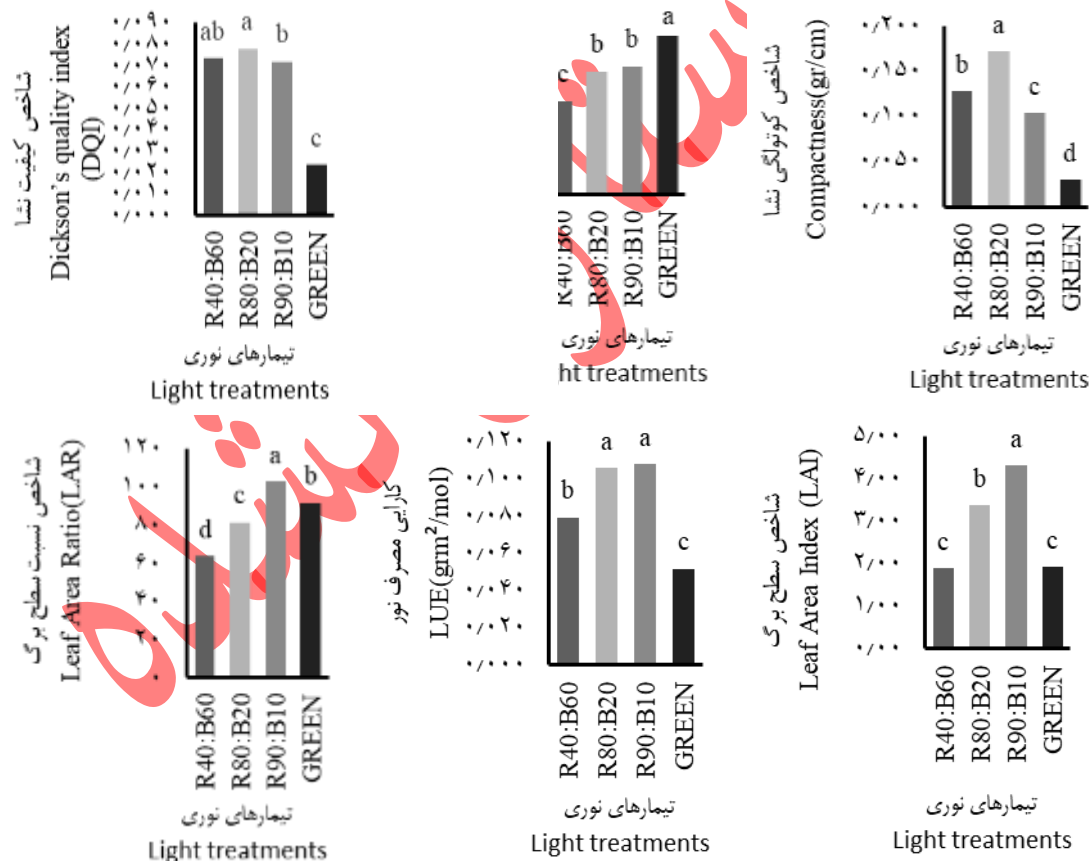
شاخص سبزی‌نگی برگ‌های حقیقی و لپه‌ای در تیمار نور تک رنگ سبز کمترین مقدار را داشت و در تیمار R40:B60 بیشترین مقدار را داشت. آنالیز حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II پس از نرمال کردن داده‌ها نشان داد که حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در تمام تیمارها تقریباً ۰/۸ است و فقط در بین تیمارهای سبز و R40:B60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

جدول ۷. مقایسه میانگین شاخص‌های کارکردی برگ‌های نشا پیوندک خیار (رقم اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ درصد آبی (R90:B10)

تیمارها	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

شاخص‌های کیفیت نشا

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



نمودار ۴. مقایسه میانگین شاخص‌های کیفیت نشا پیوندک خیار (رقم اورکا) پرورش یافته به مدت ۱۴ روز تحت طول موج‌های مختلف نور سبز (Green) و سه ترکیب نوری شامل ترکیب نور ۴۰ درصد قرمز و ۶۰ درصد آبی (R40:B60)، ترکیب نور ۸۰ درصد قرمز و ۲۰ درصد آبی (R80:B20) و ترکیب نور ۹۰ درصد قرمز و ۱۰ درصد آبی (R90:B10). در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده آن است که بین تیمارهای مربوطه تفاوت معناداری از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۱ درصد وجود ندارد.

بحث

در این تحقیق ارتفاع نشا در تیمار نور سبز (۹/۰۷ سانتی متر) ۳۶ درصد بیشتر از تیمار R90:B10 (۵/۷۴ سانتی متر) بود و کمترین مقدار در تیمارهایی با نور آبی بیشتر رخ داد. یافته‌های قبلی در تایید نتایج بدست آمده از این آزمایش حاکی از آن است که با افزایش میزان نور سبز در شدت‌های نوری مختلف میزان ارتفاع گیاه افزایش پیدا می‌کند. در یک مقایسه در تعدادی گیاه تک لپه و دو لپه‌ای از جمله خیار بیشترین ارتفاع گیاه برای تیمارهای بود 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 در حالی که 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 به طوری که قطر ساقه در تیمار R90:B10 (۲/۳۶ میلی متر) به ترتیب ۸/۴۷ و ۱۳/۵ درصد از تیمارهای R80:B20 (۲/۱۶ میلی متر) و R40:B60 (۲/۰۴ میلی متر) بیشتر بود. کمترین قطر ساقه برای تیمارهای سبز (۱/۹۶ میلی متر) و تیمار R40:B60 (۲/۰۴ میلی متر) اتفاق افتاد. در مطالعات دیگر مشخص شد 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). در تحقیقی دیگر بیان شد که تغییرات قطر ساقه در خیار زیر نورهای مختلف الگوی مشخصی نداشت ولیکن قرار گیری گیاه در معرض نوری‌ها تک رنگ سبز و قرمز نسبت به نور تک رنگ آبی منجر به تولید گیاهانی با قطر ساقه کمتر شد (Claypool & Lieth, 2021).

این آزمایش نشان داد که به طور کلی افزایش نور قرمز باعث افزایش اندازه برگ‌ها و به سبب آن 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) که به ترتیب حدود ۵۵ و ۳۸ درصد بیشتر بود. نور سبز نیز باعث کاهش مقدار سطح برگ و وزن خشک برگ گردید. در مطالعات دیگر در شدت نور بالا در خیار، افزایش نسبت نور آبی به قرمز باعث کاهش معنادار سطح برگ شد و همچنین مشخص گردید که با 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 در خیار افزایش میزان نور آبی تا ۷۵ درصد باعث کاهش سطح برگ و وزن خشک گیاه شد (Hernández & Kubota, 2016). با این حال 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 قابل توجه 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. در مطالعه در گیاه گشنیز نیز مشخص گردید که افزایش نور آبی در ترکیب‌های نوری آبی و قرمز، باعث کاهش وزن خشک و تر ریشه شد (Gao et al., 2022). از آنجا که 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 می‌کند و متقابلاً در گیاهانی که به علت آبیاری زیاد یا کمبود نور دارای ساقه‌های درازتری اند، ریشه‌های کوچکی خواهند داشت که نمی‌تواند به اندازه کافی آب و مواد غذایی مورد نیاز را جذب کنند و در نهایت باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (Johkan et al., 2012). شاید بتوان گفت که کاهش صفات مختلف در ریشه در تیمار سبز به همین علت بوده باشد.

در این پژوهش، مقدار طول محور رو لپه به ترتیب در سبز، R90:B10، R80:B20 و R40:B60 بیشترین بود. طول محور زیر لپه نیز روندی مشابه محور رو لپه داشت با اینحال اختلاف بین تیمارهای R40:B60 و R80:B20 معنادار نشد. در تحقیقات دیگران در خیار افزایش نور آبی در ترکیب‌های نوری قرمز و آبی باعث کاهش طول محور زیر لپه شد با این حال به طور غیر منتظره‌ای در نور تک رنگ آبی ارتفاع گیاه، طول محور زیر لپه و محور رو لپه و سطح برگ افزایش می‌یابد همچنین طول محور رو لپه با افزایش نور آبی روندی نزولی داشت ولیکن از لحاظ آماری معنادار نشد (Hernández & Kubota, 2016; Hernández & Kubota, 2014).

مطالعات نشان داده است که نور آبی با طول موج ۴۵۰ نانومتر دارای حداکثر فعالیت کریپتوکرومی است و با تحریک گیرنده‌های کریپتوکروم می‌تواند باعث کوتولگی نشا شود (Liu & Van Iersel, 2021; Jinxiu et al., 2017). تحریک فیتوکروم در طیف نوری آبی منجر به عدم تعادل بین کریپتوکروم و فیتوکروم گردیده و از سوی دیگر انرژی بالا تر نور آبی نسبت به نور قرمز می‌تواند باعث تولید بیش از حد انرژی و ایجاد پاسخ‌های محافظت از نور (photoprotective) در گیاه شود و در نتیجه باعث تولید گیاهانی با ریشه کوچک و تعداد برگ و سطح برگ کمتر شود. به همین سبب، وجود درصد مناسبی از نور آبی در ترکیب‌های نوری آبی و قرمز توصیه شده است (Zheng et al., 2018; Yanagi et al., 1996). کاهش ارتفاع گیاهان در معرض نور آبی می‌تواند به علت کاهش رشد گیاه به سبب 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 از این جهت نور آبی با کاهش سطح برگ در میزان بیوماس تأثیر گذار بوده است (Li et al., 2017).

نور قرمز به دلیل توانایی در تحریک فیتوکروم‌ها، افزایش تقسیم و رشد سلولی و همچنین تحریک رشد محور زیر لپه و افزایش سطح برگ و به تبع آن افزایش فرصت فتوسنتز می‌تواند منجر به ایجاد تفاوت معناداری در بیوماس و ارتفاع گیاه گردد (Anuchai & Hsieh, 2017; Li et al., 2017). در حالی که مشخص شده است که نور آبی می‌تواند باعث کاهش اندازه سلول و تقسیم سلولی شود (Dougher & Bugbee, 2004; Gao et al., 2022). شاید بتوان دلیل تغییرات در توسعه برگ‌ها را با افزایش نور آبی، 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 پاسخ گیاه در قرارگیری زیر سایه یا نور کم است که به فعال شدن مکانیزم دوری از سایه منجر شد که باعث القای کشیدگی ساقه، طولیل شدن دمبرگ‌ها، کشیدگی برگ و تغییر در برخی متابولیسم‌های ثانویه در گیاه شده 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 طولیل شدن محور زیر لپه شد که می‌تواند به علت فعالیت مسیر واسطه‌ای کریپتوکروم به جای فیتوکروم اتفاق بیافتد (Dou et al., 2020; Sellaro et al., 2010).

در این آزمایش شاخص سبزیگی برگ‌های حقیقی و لپه‌ای در تیمار نور تک رنگ سبز کمترین و در تیمار R40:B60 بیشترین مقدار را داشت. SPAD برگ نمایانگر میزان درجه سبز رنگی برگ‌ها است که برای تخمین میزان کلروفیل به کار می‌رود. این مقدار تابع میزان نیتروژن، فرایندهای فتومورفوژن و دسترسی گیاه به نور است (Jin et al., 2023). در مطالعات دیگر مشخص شد که نور سبز به تنهایی غلظت کلروفیل برگ خیار را کاهش داد با این حال، پاسخ گیاه به طیف نور به شدت نور بستگی داشت و در بین گونه‌ها متفاوت است (Paradiso & Proietti, 2022).

در این مطالعه در نشا خیار مشخص شد تفاوت در مقدار حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسنتز 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. در تحقیقات دیگر روی نشا خیار نتایج نشان داد که میزان کلروفیل در تیمار نور سبز و نور آبی کاهش پیدا نمود اما از لحاظ 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 بدست 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. به طور کلی Fv/Fm در برگ‌های سالم حدود ۰/۸ است و در صورتی که فتوسیستم II خاموش یا صدمه دیده باشد مقدار آن کمتر می‌شود (Ashraf & Harris, 2013). از آنجایی که نور آبی با طول موج کم دارای انرژی زیادی است شاید بتوان گفت به علت آسیب وارد کردن به فتوسیستم II باعث کاهش کمی در مقدار Fv/Fm شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص سطح برگ (LAI) نیز تیمار R90:B10 بیشترین مقدار (۴/۳۲) را داشت در تیمار R80:B20 (۳/۳۸) با این حال تیمار سبز و R40:B60 کمترین مقدار را داشتند (۱/۹۲ و ۱/۸۹). در تحقیقی در خیار گلخانه مشخص گردید که شاخص سطح برگ (LAI) بین ۳-۳/۵ برای بهینه کردن 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 R90:B10، R40:B60، R80:B20 و سبز به ترتیب با مقدار ۰/۱۷۲، ۰/۱۲۸، ۰/۱۰۴، ۰/۰۳۰ گرم بر سانتی متر معنادار شد. شاخص کیفیت نشا (DQI) به ترتیب مقدار در تیمارهای R90:B10، R40:B60، R80:B20 و سبز، ۰/۰۷۸، ۰/۰۷۳، ۰/۰۷۲ و ۰/۰۲۳ رخ داد. به طور کلی هر چه شاخص کوتولگی و شاخص کیفیت نشا بیشتر باشد کیفیت بهتر است (Bai et al., 2014; An et al., 2020). هندوانه پیوندی مشخص شد که هر چه 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 زیر لپه طویل به عنوان گیاهان نامناسب برای انجام پیوند تلقی شده اند (An et al., 2021). بنابراین به نظر می‌رسد که تیمارهای R40:B60 و سبز، استانداردهای مورد نیاز یک نشا خوب را برآورده نکرد و از بین تیمارهای R80:B20 و R90:B10 با توجه به شاخص‌های ذکر شده تیمار R80:B20 نشا با کیفیت تری را جهت پیوند به عمل آورد.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر استفاده از نشاهای پیوندی در سراسر جهان، به طور 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 روی مورفولوژی و فیزیولوژی نشا انجام شده است با این حال مطالعات محدودی برای بهینه‌سازی تولید نشاهای مناسب پیوند انجام گردیده است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که تیمار نور سبز به‌طور معناداری باعث افزایش ۳۶ درصدی ارتفاع نشا در مقایسه با بیشترین ارتفاع مشاهده شده در تیمارهای نور ترکیبی شد، از طرفی افزایش درصد نور قرمز از ۴۰ به ۹۰ 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 در حالی بود که استفاده از نور سبز موجب کاهش این صفات شد و به دنبال آن منجر به کاهش سطح برگ و وزن خشک برگ در این تیمار

گردید؛ در مقابل، افزایش درصد نور آبی از ۱۰ به ۶۰ درصد، موجب کاهش معناداری در صفات سطح برگ (حدود ۵۵ درصد) و وزن خشک برگ (حدود ۳۸ درصد) شد. در نهایت با توجه به شاخص‌های رشد و توسعه نشاء، استفاده از نور سبز به تنهایی برای تولید نشای خیار توصیه نمی‌شود به دلیل آنکه گیاهان در این تیمار ساختاری شل و دراز داشتند که عملیات پیوند را دشوار می‌نماید و از بین تیمارهای نورهای ترکیبی تیمار نوری با نسبت ۸۰ درصد نور قرمز و ۲۰ درصد نور آبی به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار برای تولید پیوندک خیار شناسایی گردید؛ این یافته‌ها می‌تواند به عنوان راهنمایی مؤثر در بهینه‌سازی شرایط نوری برای تولید نشای با کیفیت پیوندک خیار در سیستم کشت کارخانه گیاهی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع (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/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, 43-51. <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*, 36(1), 1-13.
- 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/10.1016/j.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>
- Jinxu, 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/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/s11075-016-9999-9>
- 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. <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*, 127, 1-10. <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](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62064-7)

Extended Abstract

Introduction

Today, it's common to utilize grafting vegetable for their advantages. A successful graft depends on having a good scion transplant. Light is one of the most important factors for seedling quality. Research shows that red and blue light significantly impact plant growth and morphology, while adding green light (480-560nm) can also be beneficial. This study examines the effects of green light and three red-blue light combinations (R40:B60-R80:B20-R90:B10) to optimize light for producing suitable greenhouse cucumber scions.

Materials and methods

This experiment was conducted in the form of a CRD with 4 treatments and 5 replications in the growth chamber of College of Agriculture & Natural Resources of Tehran University located in Karaj. Cucumber seeds of OREKA F1 variety were cultivated in 128-hole trays with cocopeat and perlite substrate and vermiculite surface coating. Germination occurs in a germination room at 25°C and 95% humidity. Seedlings are then transferred to a plant factory with a day/night temperature of 25±1°C / 18±1°C, a 16-hour light period and 75% humidity. Light treatments include 100% green, red and blue combinations in ratios of 40:60, 80:20 and 90:10 with a radiation intensity of 100±5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. All treatments were irrigated every other day with Hoagland 2 nutrient solution with acidity (pH) and electrical conductivity (EC) equal to 5.5 and 1.4 dS/m, respectively and after 2 weeks, the seedling evaluation was done.

Results and Discussion

The highest seedling height was observed in the green light treatment with a value of 9.07 cm, and the lowest occurred in the R40:B60 and R80:B20 treatments with values of 2.92 cm and 3.32 cm, respectively. The highest stem diameter was in the R90:B10 treatment with a value of 2.36 mm, and the lowest occurred in the green light and R40:B60 treatments with values of 1.96 mm and 2.04 mm, respectively. The root length in the R90:B10 treatment was the highest at 8.19 cm, and the lowest in the green light treatment at 5.69 cm. The root dry mass in the R80:B20 and R90:B10 treatments was the highest with values of 0.0825 g and 0.0852 g, respectively, and the lowest occurred in the green light treatment with a value of 0.0319 g. The leaf area in the R90:B10 treatment was the highest at 27.41 cm², and the lowest occurred in the R40:B60 and green light treatments with values of 12.18 cm² and 12.19 cm², respectively. The leaf dry mass in the R90:B10 treatment was the highest at 0.3138 g, and the lowest occurred in the green light treatment with a value of 0.1124 g. The Leaf Area Index (LAI) was the highest in the R90:B10 treatment with a value of 4.32. The LAI in R80:B20 treatment was 3.38. However, the green light and R40:B60 treatments had the lowest values, 1.92 and 1.89, respectively. The compactness index in the R80:B20, R40:B60, R90:B10 and green light treatments were 0.172, 0.128, 0.104, and 0.030 g cm⁻¹, respectively. The seedling quality index (DQI) in the R80:B20, R40:B60, R90:B10 and green light treatments were 0.078, 0.073, 0.072, and 0.023, respectively.

Blue light can induce seedling dwarfism by stimulating cryptochrome receptors. The high-energy blue light spectrum can lead to excessive energy production and photoprotective responses in plants, resulting in smaller roots and fewer leaves with reduced leaf area. Red light, due to its ability to stimulate phytochromes, enhances cell division and growth, promotes hypocotyl elongation, and increases leaf area, thereby boosting photosynthesis opportunities. Exposure to high levels of green light elicits a plant response similar to being under shade or low light, activating shade avoidance mechanisms. Which induced petiole, leaf and stem elongation and changes in secondary metabolism, that help the plant to receive more light.

According to previous studies, it has been determined that a Leaf Area Index (LAI) between 3 and 3.5 is suitable for optimizing photosynthetic capacity per unit area, light penetration, and air circulation. The seedling quality generally improves with the higher the Compactness and seedling quality index. Plants with a low Leaf Area Ratio (LAR) and an elongated hypocotyl are not suitable seedlings for grafting. Therefore, it seems that the R40:B60 and green treatments did not meet the required standards for a good seedling, and among the R80:B20 and R90:B10 treatments, the R80:B20 treatment produced higher quality seedlings for grafting.

Conclusion

The seedling height in the green light treatment was 36% higher than the highest seedling height in the combined light treatments. Increasing the percentage of red light from 40% to 90% led to a 13.5% increase in stem diameter. Increasing the percentage of blue light from 10% to 60% led to a 55% and 38% reduction in leaf area and leaf dry mass, respectively. Increasing red light increased root length and root dry mass and other root traits. However, green light had a negative impact on root traits that's causing a decrease in leaf area and dry weight in this treatment. The highest Light use efficiency occurred in treatments with a high percentage of red light. In the end, the light treatment with a ratio of 80% red light and 20% blue light can be suitable for producing cucumber scions.