

# The effect of different qualities of LED light on the morphophysiological indicators of *Cucumis sativus* L. var. Officer

Mohammad Zare Mehrjerdi<sup>1</sup>, Nasim Safari<sup>2</sup>, Mahdiyeh Kharrazi<sup>3</sup>, Azadeh Khadem<sup>4</sup>, Ahmad Sharifi<sup>5\*</sup>

1- Assistant Professor, Agriculture faculty of Shirvan, University of Bojnord, Iran [mzarem@um.ac.ir](mailto:mzarem@um.ac.ir).

2- PhD of Horticultural Science, Department of Horticultural Science and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Iran. [safari.nasim@ymail.com](mailto:safari.nasim@ymail.com). ORCID: 0000-0003-1317-46940

3- Assistant Professor, Department of Horticulture Plant Biotechnology, Iranian Academic Centre for Education, Culture and Research (ACECR)- Khorasan Razavi Branch, Mashhad, Iran. [ma\\_kh230@yahoo.com](mailto:ma_kh230@yahoo.com).

4- Assistant Professor, Department of Horticulture Plant Biotechnology, Iranian Academic Centre for Education, Culture and Research (ACECR)- Khorasan Razavi Branch, Mashhad, Iran. [akh.agri69@gmail.com](mailto:akh.agri69@gmail.com).

\*5- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Horticultural Plant Biotechnology, Academic Center for Education, Culture and Research, Mashhad, Iran. [a-sharifi@jdm.ac.ir](mailto:a-sharifi@jdm.ac.ir).

**Introduction:** In addition to providing the necessary energy for photosynthesis, light controls many plant metabolic processes. Nowadays, the use of supplemental light significantly improves the quality of the food product in the conditions of lack of natural light in the autumn and winter seasons. Light-emitting diodes have been proposed as alternative light sources in controlled agricultural environments. These lamps are the first light sources with the ability to control the light spectrum. Therefore, by controlling the light spectrum and matching the wavelength of LED lamps with the photoreceptors of the plant, the performance and quality of the plant is improved. Cucumber is one of the most important greenhouse plants and its seedlings are generally produced during the autumn and winter seasons, when natural light is relatively low; therefore, the use of supplementary light is required. The use of artificial light sources in fully controlled conditions can change and improve the growth conditions of the plant and also improve its quantitative and qualitative traits. In this research, the aim was to investigate the effect of different qualities of light on the morphophysiological indicators of cucumber seedlings.

**Materials and Methods:** This research was done in the Horticultural Plants Biotechnology Department, Industrial Biotechnology Research Institute of Khorasan Razavi. First, the seeds of the cucumber plant (*Cucumis sativus* L. var. Officer) were planted in a planting tray, and placed under the light panel with different light treatments. The experimental treatments included four light qualities including white light (6000-6500K) blue light (460-470 nm), red light (625 nm) and combined light (blue + red + white). The amount of photosynthetic photon flux was considered the same in all light treatments, which was equal to 2.75  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  CO<sub>2</sub> assimilation. Thirty days after planting of seeds, the growth of plants were measured in three stages every 10 days. In each stage, 4 plant samples were selected and then plant height, leaf

area, fresh and dry weight of shoots and roots, plant dry matter index and leaf chlorophyll content were measured. Data preparation was done in Excel software, data analysis was done using JMP-8 software and treatment averages were compared using LSD test at 5% probability level.

**Results and Discussion:** The results of the experiments showed that the quality of light was significantly effective on the growth indicators of Cucumber plants. Plant height in red light and blue light treatments compared to the white light and combined light (red+blue+white with the same intensity) treatments, increased by more than 130% and 60%, respectively. The lowest height was observed in plants grown under combined light, 9 and 14.25 cm after 40 and 50 days of cultivation respectively. The exposure of cucumber seedlings to the red and combined lights recorded the highest and the lowest leaf area in the plants, 618.65 and 377.26 cm<sup>2</sup> respectively. Also white light significantly improved the dry weight of the roots. It is worth to mention that the highest plant fresh weight was observed in blue and white lights, 20.9 and 19.5 g respectively. For other parameters like, dry weight, dry mater index and pigment content were not affected by light treatments. In this research, the use of red and blue light alone and in combination was effective on plant growth. So that exposing the plant under red light alone increased significantly the leaf surface, root dry weight and its height compared to the other light conditions. Researchers have reported that the use of red light increases the leaf area, stem length and fresh weight of the plant. Leaves are a key factor affecting plant photosynthesis. Therefore, increasing the leaf area in the plant increases the amount of photosynthesis, growth and development of the plant. In this study, with the increases of the leaf area in the plant and the subsequent increases in the amount of photosynthesis, allocation of dry mater to root increased. The results of the research has been shown that the combination of blue and red wavelengths in pepper, tomato and cucumber seedlings is effective in stimulating plant growth and improving the morphological characteristics under controlled conditions. Blue and red lights can increase the proton flow rate of epidermal cells through the separation mechanism and thus affect leaf development. Blue light directly through the interaction with proton pumps and indirectly through receptors, affects proton pumps by modulating passive ion conduction of potassium and calcium channels.

**Conclusions:** According to the results of this research, it was found that exposing the plant to different light quality had different responses in the cucumber plants. Although variables such as dry weight and the amount of photosynthetic pigments were not significantly affected by light quality, however, traits such as plant height, leaf area, root dry weight, and plant fresh weight were affected by light quality. The affected parameters are among the traits that are influenced by the gibberellin hormone and according to the reports related to the effect of light quality on the gibberellin biosynthesis and response to this hormone. It seems that plant action to the quality of light can be attributed to the regulation of this hormone. So it is possible to choose the appropriate light quality in fully controlled conditions according to the production goal and results. In this research, according to the plant leaf rea, root dry weight and plant height, it was determined that white light can be used in the seedling production stage.

**Keywords:** Blue light, Growth characteristics, Light emitting diodes, Red light, White light.

## تأثیر کیفیت‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه خیار (*Cucumis sativus*) (L.

محمد زارع مهرجردی<sup>۱</sup>، نسیم صفری<sup>۲</sup>، سیده مهدیه خرازی<sup>۳</sup>، آزاده خادم<sup>۴</sup>، احمد شریفی<sup>۵\*</sup>

۱- استادیار دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، خراسان شمالی، ایران، [mzareem@um.ac.ir](mailto:mzareem@um.ac.ir)

۲- فارغ التحصیل گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران،

[safari.nasim@gmail.com](mailto:safari.nasim@gmail.com)

۳- استادیار گروه بیوتکنولوژی گیاهان باغبانی، پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران،

[ma\\_kh230@yahoo.com](mailto:ma_kh230@yahoo.com)

۴- استادیار گروه بیوتکنولوژی گیاهان باغبانی، پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران،

[akh.agri69@gmail.com](mailto:akh.agri69@gmail.com)

\*۵- نویسنده مسول مقاله، استادیار گروه بیوتکنولوژی گیاهان باغبانی، پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی، جهاد دانشگاهی خراسان

رضوی، مشهد، ایران، [ahmadsharifi66@yahoo.com](mailto:ahmadsharifi66@yahoo.com)

### چکیده

در طی رشد گیاه، کیفیت نور بر بسیاری از شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تأثیر می‌گذارد. امروزه استفاده از نور تکمیلی به طور قابل توجهی عملکرد محصول و کیفیت آن را در شرایط کمبود نور طبیعی به خصوص در فصل‌های پاییز و زمستان بهبود می‌بخشد. دیوهای ساطع‌کننده نور (Light-emitting diode) به عنوان منابع نور جایگزین در محیط‌های کشاورزی کنترل‌شده پیشنهاد شده‌اند. در این راستا، پژوهش حاضر به منظور بررسی چگونگی تأثیر کیفیت نور بر دانه‌ال-های خیار (*Cucumis sativus* L.) رقم Officer در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شد. آزمایش در ۴ کیفیت متفاوت نور آبی، قرمز، سفید و ترکیبی (آبی + قرمز + سفید) با توانایی فتوسنتزی یکسان بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای نوری از نظر صفات، ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک ریشه و وزن تر گیاه تحت تأثیر کیفیت نور قرار گرفت و اختلاف بین آنها در روزهای مختلف پس از کشت معنی‌داری بود. ارتفاع بوته در تیمار نور قرمز و نور آبی در مقایسه با تیمار سفید و تیمار نور ترکیبی (قرمز + آبی + سفید) به ترتیب ۵۸/۳ و ۱۳۳/۳ درصد افزایش داشت. کمترین ارتفاع بوته در تیمار نور ترکیبی مشاهده شد. این درحالی است که بیشترین وزن تر گیاه در نورهای سفید و آبی، بیشترین سطح برگ در نورهای سفید و قرمز و بیشترین وزن خشک ریشه نیز در نور سفید مشاهده شد. صفات تحت تأثیر قرار گرفته جزو دسته صفاتی هستند که تحت تأثیر هورمون جبرلین قرار می‌گیرند. به طور کلی مشخص گردید که رشد گیاه خیار تحت تأثیر کیفیت‌های مختلف نور قرار گرفته است و با توجه به هدف تولید و شرایط موجود می‌توان کیفیت نور مناسب برای کسب حداکثر سرعت رشد گیاه را انتخاب نمود.

**کلمات کلیدی:** دیوهای ساطع‌کننده نور، صفات رشدی، نور آبی، نور قرمز، نور سفید.

## مقدمه

نور یکی از عوامل اصلی در رشد و پرورش گیاهان می‌باشد. طیف نوری مورد استفاده در گیاهان بر اساس گزارش مک‌گری بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر بوده که به طیف تابش فعال فتوسنتزی (Photosynthetic Active Radiation) یا طیف فعال مک‌گری (McCree action spectrum) مشهور است (McCree, 1971). نور علاوه بر ایجاد انرژی لازم برای فتوسنتز، بسیاری از فرآیندهای متابولیکی گیاه را کنترل می‌کند (Chen et al., 2004; Astolfi et al., 2001). امروزه استفاده از نور تکمیلی به طور قابل توجهی عملکرد محصول و کیفیت غذایی را در شرایط کمبود نور طبیعی در فصل‌های پاییز و زمستان بهبود می‌بخشد (Yorio et al., 2001; Lu et al., 2012). برای مدت طولانی، استفاده از لامپ‌های فلوروسنت (Fluorescent lamps)، لامپ‌های رشته‌ای (Filament lamps) و لامپ‌های پر فشار سدیمی (High-pressure sodium lamps) مرسوم بود (Tibbitts et al., 1983)؛ اما با توجه به مصرف انرژی بالا، تولید گرمای زیاد و عدم تاثیر قابل توجه بر رشد گیاه (Randall & Lopez, 2014)، دیودهای ساطع‌کننده نور (Light-emitting diode) به عنوان منابع نور جایگزین در محیط‌های کشاورزی کنترل‌شده پیشنهاد شده‌اند (Massa et al., 2008). پیک نوری ساطع شده توسط لامپ‌های LED از UV-C (~250 nm) تا مادون قرمز (~1000 nm) متفاوت است (Bourget, 2008). این لامپ‌ها اولین منابع نوری با قابلیت کنترل طیف نوری می‌باشند. از این رو با کنترل طیف نوری و تطابق طول موج لامپ‌های LED با گیرنده‌های نوری گیاه، عملکرد و کیفیت گیاه بهبود می‌یابد (Bian et al., 2015, 2016; Morrow, 2008). عوامل مختلفی از جمله: طول عمر بالا، افزایش بهره‌وری نور، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، قابلیت تنظیم دقیق شار فوتون فتوسنتزی<sup>۱</sup> و طول موج نور تابشی، احتیاج به فضای کم، زمان کوتاه سوچ کردن، ایمن بودن این لامپ‌ها برای مصرف‌کننده و محیط زیست، عدم وجود پوشش شیشه‌ای شکننده، دمای مناسب لامپ و عدم وجود اشعه UV و جیوه منجر به افزایش استفاده از آن‌ها به عنوان منبع نوری در پرورش گیاهان شده است (Olle & Viršile, 2013; Li et al., 2013; Morrow, 2008; Bourget, 2008; Singh et al., 2015). تاثیر مثبت دیودهای ساطع‌کننده نور بر رشد رویشی گیاه کاهو، تربچه، فلفل، اسفناج، گوجه‌فرنگی بیان شده است (Urbanaviciute et al., 2005; Yorio et al., 2001; Watjanatepin, 2019; et al., 2007). خیار یکی از گیاهان مهم گلخانه‌ای بوده و عموماً تولید گیاهچه آن در طی فصول پاییز و زمستان صورت می‌گیرد که نور طبیعی به نسبت، کم می‌باشد؛ از این رو استفاده از نور تکمیلی مورد نیاز است (Heuvelink et al., 2006; Spaargaren, 2001). خیار در مقایسه با سایر محصولات گلخانه‌ای همچون فلفل و گوجه‌فرنگی حساسیت بیشتری به کیفیت نور و تیمارهای تابشی نشان می‌دهد (Hernández & Kubota, 2012; Trouwborst et al., 2010; Hemming et al., 2008).

<sup>1</sup> Photosynthetic photon flux density (PPFD)

در پژوهشی مشخص شده است که استفاده از نور ترکیبی آبی و قرمز در رشد گیاهچه خیار مفید بوده و ارتفاع بوته و کیفیت بیوماس گیاهی به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد با نور قرمز یا آبی به تنهایی افزایش یافت (Cao et al., 2013). همچنین بیان شده است که نور سفید ساطع شده از لامپ-های LED برای تولید گیاهچه با کیفیت خیار، مناسب‌تر از فقدان نور سبز یا نسبت بالای نور آبی به قرمز است (Song et al., 2017). محققین بیان کرده‌اند که با قراردادن گیاهچه‌های خیار در طیف‌های مختلف نوری (قرمز، آبی، قرمز دور، سبز و نارنجی)، ترکیب فتوسیستم برگ‌های گیاه به منظور رشد در طیف نوری خو گرفته است. این موضوع پیشنهاد می‌کند که ترکیب مختلف از طیف‌های نوری به طور قابل توجهی قابلیت افزایش عملکرد کوانتومی را دارد (Hogewoning et al., 2012). استفاده از منابع نوری مصنوعی در شرایط کاملا کنترل شده قابلیت تغییر و بهبود شرایط رشدی گیاه و همچنین صفات کمی و کیفی آن را دارد (Li et al., 2013). اگر چه در مطالعات مختلف تلاش شده با بهره‌گیری از دستگاه‌های نورسنج شدت نورهای یکسان از نظر توانایی فتوسنتزی برای کیفیت‌های مختلف نور اعمال شود. با این حال به دلیل محدودیت‌های این دستگاه‌ها و حساسیت متفاوت سنسورها به طیف‌های مختلف نور، توانایی فتوسنتزی نور اعمالی در گیاهان و ارقام مختلف می‌تواند متفاوت باشد که می‌تواند در نتایج نیز تاثیر داشته باشد (Tabaka & Wtorkiewicz, 2022). لذا در این پژوهش تلاش شد تاثیر کیفیت‌های مختلف نور با توانایی فتوسنتزی یکسان و نه شدت شار فتون یکسان، بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاهچه خیار مورد مطالعه قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در گروه بیوتکنولوژی گیاهان باغبانی پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی اجرا شد. ابتدا بذرهای گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.) رقم Officer در سینی نشاء، کشت گردید و زیر پنل نوری (تیمارهای نوری) مختلف قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل چهار کیفیت نور سفید (۶۰۰۰-۶۵۰۰ K)، نور آبی (۴۷۰ - ۴۶۰ نانومتر)، نور قرمز (۶۲۵ نانومتر) و نور ترکیبی (آبی + قرمز + سفید) بود. میزان شار فوتون فتوسنتزی در تمام تیمارهای نوری یکسان و معادل ۲/۷۵ میکرومول تثبیت CO<sub>2</sub> بر مترمربع بر ثانیه بر اساس اندازه‌گیری مقدار تثبیت دی‌اکسید کربن حفظ شد. آبیاری گیاه با استفاده از محلول غذایی هوگلند (Hoagland & Arnon, 1938) در هنگام نیاز گیاه انجام شد. در تهیه بستر کشت نیز از ترکیب کوکوپیت و پرلیت به نسبت مساوی استفاده گردید. سی روز پس از کاشت بذرها، ویژگی‌های شاخص‌های رشدی گیاه در فاصله زمانی ۱۰ روز یکبار در سه مرحله اندازه‌گیری گردید. در هر مرحله ۴ نمونه گیاهی انتخاب و سپس ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش، سطح برگ با استفاده از تصویر برگ‌های جدا شده از گیاه با استفاده از نرم‌افزار ImageJ 1.51w، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه پس از قرارگیری در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و شاخص

ماده خشک گیاهی<sup>۱</sup> (وزن خشک اندام هوایی گیاه/ وزن تر اندام هوایی گیاه = ماده خشک گیاهی) اندازه گیری گردید. برای اندازه گیری محتوای کلروفیل گیاه نیز ابتدا سه قطعه پانچ شده برگ گیاه به منظور استخراج عصاره برگ با استفاده از اتانول ۹۶٪ کاملاً له و کوبیده شد. پس از آن عصاره حاصل در میکروتیوپ به حجم ۱ سی سی رسانده شد. سپس میکروتیوپ حاوی عصاره برگ به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از آن محلول شفاف بالایی در سه طول موج ۶۴۸/۵ و ۶۶۴ نانومتر قرائت گردید. در انتها با استفاده از روابط زیر مقدار نهایی کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید محاسبه شد (Lichtenthaler & Buschmann, 2001):

$$Cl_a = 13.36 A_{664.1} - 519 A_{668.6}$$

$$Cl_b = 27.43 A_{648.6} - 8.12 A_{664.1}$$

$$C_{x+c} = (1000 A_{470} - 2.13 c_{1a} - 97.64 c_{1b}) 209$$

آماده سازی داده‌ها در برنامه Excel، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP-8 و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### اثر کیفیت نور بر صفات مورفولوژیک گیاه خیار

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای نوری از لحاظ صفات وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، شاخص ماده خشک و سطح برگ در ۴۰ روز پس از کاشت و در صفات سطح برگ، وزن تر گیاه، وزن خشک ریشه و ارتفاع گیاه در ۵۰ روز پس از کاشت بذریه اختلاف معنی داری وجود داشته است (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک تحت تاثیر کیفیت‌های مختلف نور در روزهای پس از کاشت

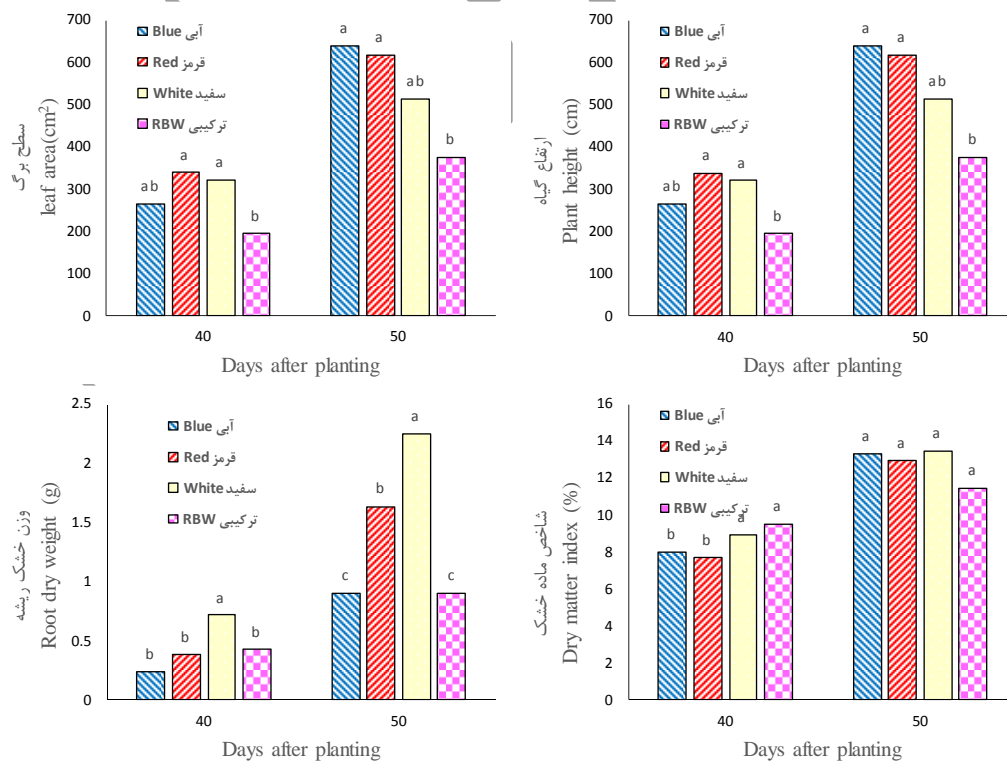
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص ماده		وزن خشک	وزن خشک	وزن تر گیاه	سطح برگ
		خشک Dry Matter Index	ارتفاع گیاه Plant height	ریشه Root Dry Weight	گیاه Shoot Dry Weight	Shoot Fresh Weight	Leaf Area
کیفیت نور Light quality	3	2.78**	124.06**	0.162**	0.007 <sup>ns</sup>	4.84 <sup>ns</sup>	16633.2**
خطا Error	12	0.33	4.81	0.02	0.01	1.78	2340.2
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص ماده خشک Dry Matter Index	ارتفاع گیاه Plant height	وزن خشک ریشه Root Dry Weight	وزن خشک گیاه Shoot Dry Weight	وزن تر گیاه Shoot Fresh Weight	سطح برگ Leaf Area
کیفیت نور Light	3	9.36 <sup>ns</sup>	62.50**	1.32**	0.153 <sup>ns</sup>	37.89**	43074.4**

<sup>1</sup> Dry Matter Index (DMI)

از کشت	quality							
50 days after planting	خطا Error	12	3.65	2.62	0.02	0.67	2.68	9578.9

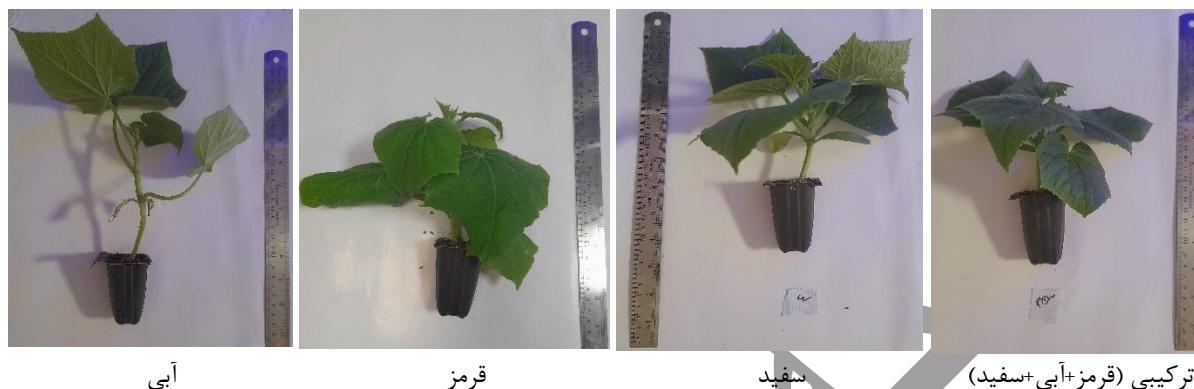
ns: عدم تفاوت معنی‌دار؛ \*\*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد  
 ns: Non-significant, \*\* significant at 1% of probability levels

قرارگیری گیاهچه خیار در معرض نور قرمز و آبی منجر به ثبت بیشترین سطح برگ در گیاه در تمامی مراحل رشد گردید. این در حالی است که سطح برگ در تیمار نور ترکیبی کمترین مقدار را در طی رشد گیاه به خود اختصاص داد (شکل ۱). علاوه بر این نتایج مشابهی در ارتباط با ارتفاع گیاه نیز مشاهده شد. به طور کلی ارتفاع گیاه در گیاهان رشد یافته با نور آبی و قرمز به تنهایی در مقایسه با تیمار نور سفید و نور ترکیبی به طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۱؛ شکل ۲). همچنین، شاخص ماده خشک پس از چهل روز از رشد گیاه در شرایط رشد یافته با نور آبی و قرمز در مقایسه با نور سفید و نور ترکیبی بیشتر بود و با رشد گیاه تا ۵۰ روز، شاخص ماده خشک نیز افزایش یافت ولی اختلاف بین تیمارها معنی‌دار نبود. میزان افزایش شاخص ماده خشک در گیاهان رشد یافته در شرایط نور آبی در مقایسه با سایر تیمارهای نوری مشهودتر بود (شکل ۱). استفاده از نور سفید وزن خشک ریشه گیاه را در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش به طور معنی‌داری بهبود بخشید و منجر به ثبت بیشترین وزن خشک ریشه در گیاه شد (شکل ۱؛ شکل ۳).



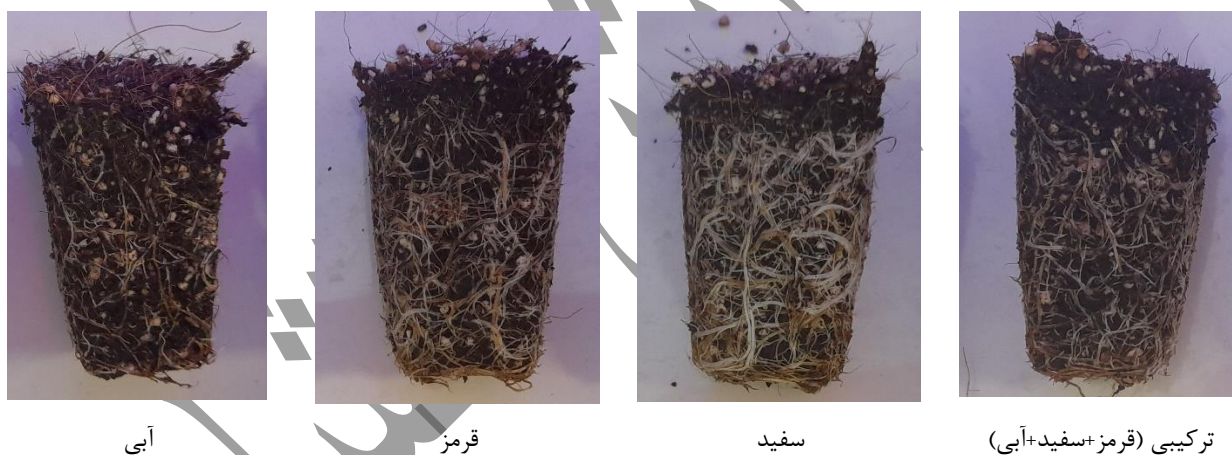
شکل ۱. تغییرات سطح برگ، ارتفاع گیاه، شاخص ماده خشک و وزن خشک ریشه گیاه خیار در دوره‌های رشدی مختلف تحت تاثیر کیفیت‌های نور

Fig 1. Effect of different light quality on leaf area, plant height, dry matter index and root dry weight of cucumber plant after 40 and 50 days after planting



شکل ۲. تاثیر کیفیت‌های نور بر ارتفاع گیاه خیار

Fig 2. Effect of different qualities of light on plant height



شکل ۳. تفاوت حجم ریشه تولید شده تحت تاثیر کیفیت‌های نور

Fig 3. Effect of different qualities of light on root growth

اثر کیفیت نور بر وزن تر (Shoot fresh weight) و خشک (Shoot dry weight) گیاه خیار قرارگیری گیاه در معرض نور آبی و نور سفید وزن تر گیاه را به طور معنی‌داری در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش افزایش داد. این نکته قابل ذکر است که کمترین وزن تر گیاه در گیاهان رشد یافته تحت تیمار نوری قرمز مشاهده شد. همچنین بین تیمارهای آزمایش از نظر وزن خشک تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). سایر تفاوت‌های رشدی گیاهان تحت تاثیر کیفیت‌های مختلف نور در شکل ۴ نشان داده شده است.



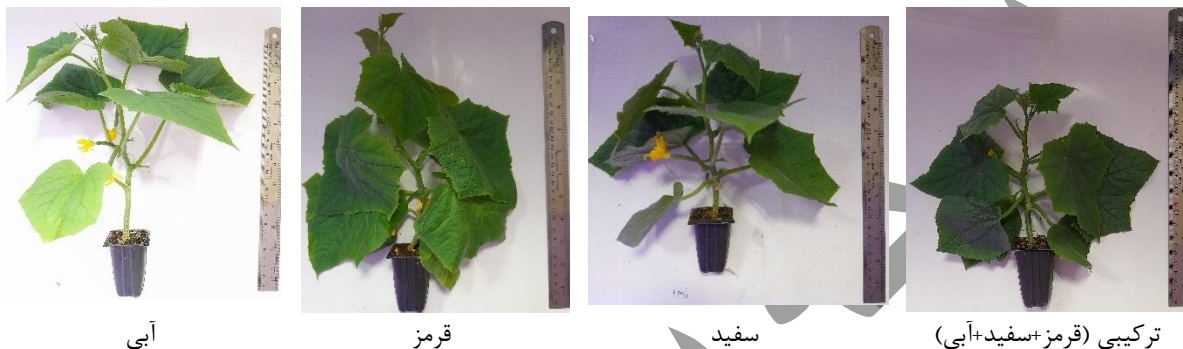
جدول ۲. تاثیر کیفیت های مختلف نور بر وزن تر و خشک گیاه ۵۰ روز پس از کشت

Table 2. The effect of different qualities of light on the fresh and dry weight of the plant 50 days after planting

Light quality / کیفیت نور	Red (R) / قرمز	Blue (B) / آبی	White (W) / سفید	RBW / ترکیبی
SFW (g) / وزن تر گیاه	15.92 b	20.99 a	19.45 a	16.91 b
SDW (g) / وزن خشک گیاه	2.06 a	2.43 a	2.26 a	1.95 a

وجود حداقل یک حرف مشابه در هر ردیف بیانگر عدم تفاوت معنی دار با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ است.

The presence of at least one similar letter in each row indicates no significant difference at 5% of probability level based on LSD test.



شکل ۴. گیاه رشدیافته خیار تحت تاثیر کیفیت های مختلف نور  
Fig 4. Effect of different qualities of light on plants growth

افزون بر میزان نور که بر همکنشی از شدت نور و طول مدت روشنایی است، کیفیت نور از فاکتورهای مهم و موثر در رشد گیاه می باشد (Goto, 2003; Massa et al., 2008). ترکیبی از LED های قرمز و آبی با ایجاد طیف پیک جذبی مناسب، در فتوسنتز و اندامزایی گیاه موثر است (Yang., 2008; Kreslavski et al., 2013). قرارگیری گیاه در محیط هایی با نور آبی یا قرمز به تنهایی رشد گیاه را سبب می شود این موضوع به دلیل عملکرد فوتونی دو طیف نوری قرمز و آبی به تنهایی و قابلیت برآورده کردن نیاز نوری گیاه در ارتباط می باشد. این نکته قابل ذکر است که برخی محققین نیز حضور نور آبی و قرمز در کنار هم را برای رشد گیاه ضروری می دانند (Yorio et al., 2001; Massa et al., 2008; Kim et al., 2004). در این پژوهش نیز استفاده از نور قرمز و آبی به تنهایی بر رشد و نمو گیاه موثر واقع شد. به طوریکه قرارگیری گیاه در معرض نور قرمز به تنهایی سطح برگ و ارتفاع آن را به طور معنی داری در مقایسه با سایر کیفیت های نور افزایش داد. محققین بیان کرده اند که افزایش کاربرد نور قرمز افزایش سطح برگ، طول ساقه و وزن تر گیاه را در پی دارد (Hanyu & shoji, 2000; Johkan et al. 2010). عامل مهم و تعیین کننده در انجام فتوسنتز در گیاه برگ می باشد. بنابراین، افزایش سطح برگ در گیاه افزایش میزان فتوسنتز، رشد و توسعه گیاه را سبب می شود (Klein., 1992; Adams et al., 2008). تحقیقات متعدد انجام شده نشان داده است که نور قرمز، رشد گیاه را از طریق افزایش وزن تر و خشک گیاه، افزایش سطح برگ و ارتفاع گیاه بهبود می بخشد (Heo et al., 2012; Johkan et al., 2010; Son & Oh., 2013).

Wang et al., 2009). نور آبی و نور قرمز می توانند سرعت جریان پروتون سلول های اپیدرمی را از طریق مکانیسم جداسازی افزایش دهند و در نتیجه بر توسعه برگ ها تأثیر بگذارند. نور آبی به صورت مستقیم و از طریق برهمکنش پمپ های پروتونی و گیرنده های نور آبی و نور قرمز به صورت غیر مستقیم بر پمپ های پروتون از طریق تعدیل کردن کانال های پتاسیمی و کلسیمی هدایت یون غیرفعال موثر می باشد (- Volkenburgh., 1999).

تأثیر نور آبی در بهبود فتوسنتز و توسعه گیاه تایید شده است (Miao et al., 2016). در این پژوهش نیز کاربرد نور آبی به تنهایی در افزایش ارتفاع گیاه و بهبود وزن تر آن موثر بود. آزمایشات اخیر نشان داده است که نورهای آبی و نارنجی در مقایسه با نور سفید انتقال کربوهیدرات بیشتری از برگ را سبب می - شوند (Lanoue et al., 2018). در سایر پژوهش ها بیان شده است که نور آبی با کاهش توسعه سلول، منجر به ممانعت از رشد برگ و افزایش طول ساقه در گیاهچه های خیار، آفتابگردان، لوبیای آزوکی (Azuki bean)، کدو سبز (Zucchini)، نخودفرنگی (Pea) و ماش (Mung bean) شد (1981, - Cosgrove). اما در این پژوهش استفاده از نور آبی به تنهایی ارتفاع گیاه را در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش افزایش داد. این موضوع احتمالاً با تغییرات هورمونی در گیاه مرتبط است. گیاه به هنگام قرارگیری در معرض نور آبی پاسخ های متفاوتی را در ارتباط با ارتفاع نشان می دهد. در برخی گیاهان افزایش ارتفاع و در برخی دیگر کاهش ارتفاع مشاهده شده است. این موضوع به احتمال زیاد با تولید جیبرلین در گیاه مرتبط است. نور آبی بر چگونگی بیان و عملکرد ژن های مرتبط با جیبرلین در ارتباط است. در تعدادی از گونه های گیاهی نور آبی منجر به ایجاد سیگنال در رنگدانه کریپتوکروم شده و که به دنبال آن کاهش ساخت جیبرلین و کاهش ارتفاع در گیاه صورت می گیرد (Hernández & Kubota., 2016). با این حال، در برخی دیگر از گونه های گیاهی میزان جیبرلین در گیاه افزایش یافته که متعاقب آن ارتفاع گیاه نیز افزایش می یابد (Kong et al., 2019; Jeong et al., 2020). در نتیجه مدت زمان قرارگیری گیاه در معرض نور آبی و شدت نور منجر به تغییر در چگونگی عملکرد کریپتوکروم و میزان فعالیت آن می شود (Fukuda et al., 2016; Cerdan & Chory., 2003; Bernie & Prilleux., 2005). تأثیر نور آبی بر ارتفاع گیاه با اثرگذاری بر رنگدانه کریپتوکروم ها در سایر پژوهش ها نیز بیان شده است (- Kaiser et al., 2019; Naznin et al., 2019). پژوهش های مختلف نشان داده است که در گیاهچه های فلفل، گوجه فرنگی و خیار ترکیب طول موج های آبی و قرمز در تحریک رشد و بهبود ویژگی های مورفولوژیک گیاه، در شرایط کنترل شده موثر است (Hogewoning et al., 2010; Liu et al., 2011; Savvides et al., 2012; van Ieperen et al., 2012).

اثر کیفیت نور بر محتوای کلروفیل برگ گیاه خیار

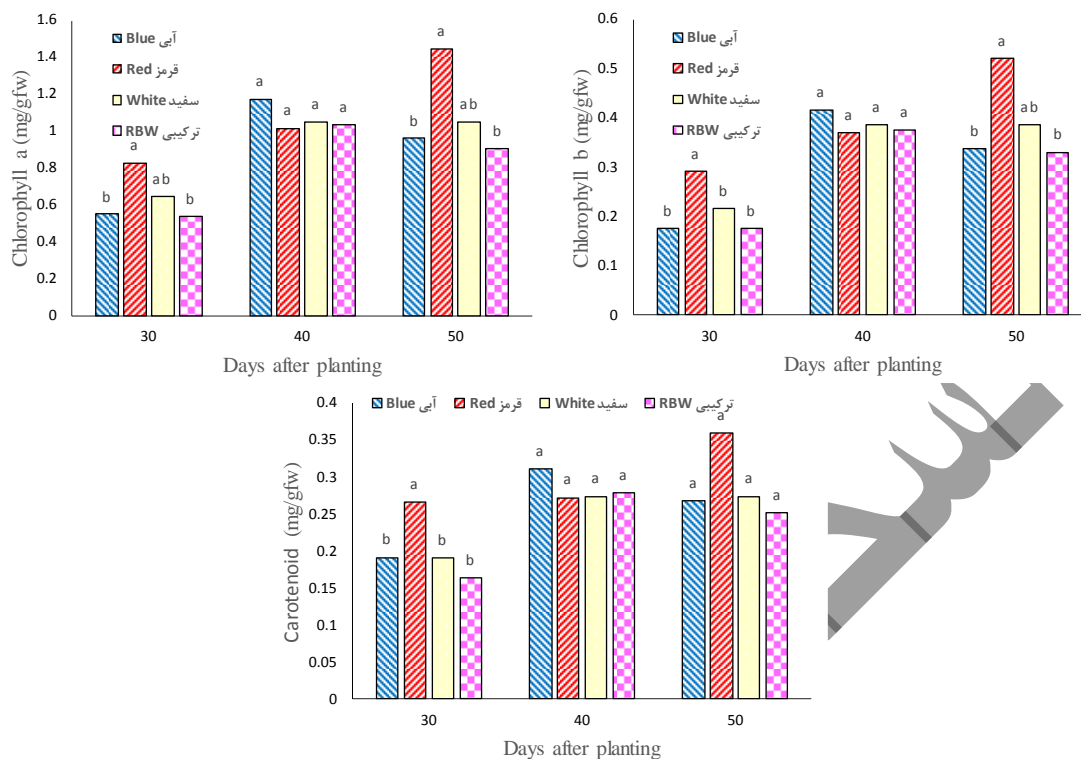
نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که مقدار کلروفیل a، b و کاروتنوئید تحت تاثیر کیفیت‌های مختلف نور در ۳۰ روز پس از کاشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. اما شاخص‌های یاد شده در ۴۰ و ۵۰ روز پس از کاشت تحت تاثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفت (جدول ۳). بطور کلی مقدار کلروفیل a و b برگ در تیمار نور قرمز به طور معنی‌داری بیشتر بود و سایر تیمارها نیز اختلاف چندانی با هم نداشتند. همچنین بین تیمارها از نظر میزان کاروتنوئید برگ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۵)

**جدول ۳.** تجزیه واریانس (میانگین مربعات) محتوای کلروفیل گیاه تحت تاثیر کیفیت‌های مختلف نور در روزهای مختلف پس از کشت

Table 3. Analysis of variance (mean square) of plant chlorophyll content under the influence of different light qualities on different days after planting

	منبع تغییرات	درجه آزادی	کاروتنوئید	کلروفیل b	کلروفیل a
	S.O.V	df	Carotenoid	Chlorophyll b	Chlorophyll a
۳۰ روز پس از کشت 30 days after planting	کیفیت نور	3	0.011 **	0.017*	0.108*
	خطا	12	0.00123	0.002	0.02
	Error				
۴۰ روز پس از کشت 40 days after planting	منبع تغییرات	درجه آزادی	کاروتنوئید	کلروفیل b	کلروفیل a
	S.O.V	df	Carotenoid	Chlorophyll b	Chlorophyll a
	کیفیت نور	3	0.26 <sup>ns</sup>	0.123 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>
۵۰ روز پس از کشت 50 days after planting	خطا	12	0.85	0.94	0.9
	Error				
	منبع تغییرات	درجه آزادی	کاروتنوئید	کلروفیل b	کلروفیل a
۵۰ روز پس از کشت 50 days after planting	S.O.V	df	Carotenoid	Chlorophyll b	Chlorophyll a
	کیفیت نور	3	0.007 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>
	خطا	12	0.003	0.008	0.072
	Error				

ns: عدم تفاوت معنی‌دار؛ \*\* و \* به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد  
ns: Non-significant, \*\* and \* significant at 1% and 5% of probability levels, respectively



شکل ۵. تغییرات کلروفیل a, b و کاروتنوئید برگ در دوره‌های رشدی مختلف تحت تاثیر کیفیت‌های نور  
 Fig 5. Changes of chlorophyll a, b and carotenoid of leaves in different growth cycles under the influence of light qualities

محتوای رنگ‌دانه فتوسنتزی در گیاهان یک شاخص مهم برای تعیین وضعیت فیزیولوژیکی گیاهان است. کاهش در میزان کلروفیل گیاه بیانگر قرارگیری آن در شرایط تنش‌زا بوده و به عنوان شاخصی برای این موضوع شناخته می‌شود (Netto et al., 2005). مقدار کلروفیل به طور مستقیم بر فرآیند فتوسنتز در گیاه تاثیر می‌گذارد و محتوای کلروپلاست در برگ نیز تحت تاثیر کیفیت نور قرار می‌گیرد (Yang et al., 2018; Hoffmann et al., 2015; Zheng & Van Labeke Marie-Christine., 2017). محتوای کلروفیل گیاه خیار در طی رشد تحت تاثیر نور قرمز قرار گرفت. استفاده از تیمار نور قرمز مقدار کلروفیل در گیاه را بیشتر از ۲۵ درصد در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش افزایش داد. توانایی فتوسنتز برگ به صورت مستقیم با نسبت نور قرمز به آبی لامپ‌های LED مرتبط است (Hogewoning et al., 2010). گیاه برای فتوسنتز عمدتاً نور قرمز و آبی را جذب می‌کند. در این تیمار نیز حضور نور قرمز باعث افزایش میزان محتوای کلروفیل برگ شد. تغییرات محتوای کلروفیل در گیاه تحت تاثیر گونه گیاهی قرار می‌گیرد (Liu et al., 2019). در گیاه بروکلی با افزایش درصد نور آبی، محتوای کلروفیل گیاه نیز افزایش یافت (-) (Kopsell et al., 2014). در گیاهچه فلفل نیز بیشترین محتوای کلروفیل و کلروفیل a در شرایط استفاده

از نور سفید (نسبت قرمز: آبی ۱/۵) بدست آمد (Liu et al., 2019). نور سفید با افزایش پیش‌ماده‌های بیوسنتز کننده کلروفیل، افزایش سنتز آن را سبب می‌شوند (Fan et al., 2013). کلروفیل در جذب، انتقال و تبدیل انرژی نور عمل می‌کند و میزان و ترکیب کلروفیل بطور مستقیم ظرفیت فتوسنتزی تحت تاثیر قرار می‌دهد (Biswal et al., 2012). گزارش شده است که میزان کلروفیل در برگ گیاهان گوجه فرنگی، ذرت و توتون در شرایط پایین نور قرمز/مادون قرمز کاهش می‌یابد (Wei et al., 2018; Kim et al., 2019). در این پژوهش نیز استفاده از نور قرمز به عنوان منبع نوری رشد گیاه، محتوای کلروفیل برگ را در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش افزایش داد. علاوه بر این، با توجه به افزایش بهره‌وری فتوسنتز در این کیفیت نور، رشد برگ و ارتفاع در این گیاهان قابل توجه بود.

### نتیجه‌گیری

اگر چه مطالعاتی مختلفی به بررسی اثر کیفیت و کمیت نور بر روی گیاهان مختلف پرداخته اند، جداسازی تاثیرات کمی از کیفی شدت نور در فیزیولوژی گیاه در بسیاری از آنها مورد توجه قرار نگرفته است. با توجه به نتایج این پژوهش مشخص گردید که قرارگیری گیاه در معرض کیفیت‌های نوری متفاوت، با کمیت فتوسنتزی یکسان پاسخ‌های مختلفی در گیاه خیار را در پی داشت. با وجود اینکه متغیرهایی نظیر وزن خشک و مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی چندان تحت تاثیر کیفیت نور قرار نگرفت با این حال صفاتی مثل ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک ریشه و وزن تر گیاه تحت تاثیر کیفیت نور قرار گرفت. صفات تحت تاثیر قرار گرفته جزو دسته صفاتی هستند که تحت تاثیر هورمون جبرلین قرار می‌گیرند و با توجه به گزارشاتی که در ارتباط با تاثیر کیفیت نور بر روی بیوسنتز و پاسخ به این هورمون وجود دارد. به نظر می‌رسد بتوان کنش پیچیده گیاهان را به کیفیت نور به تنظیم این هورمون در گیاه نسبت داد.

### قدردانی

نویسندگان مقاله از جهاددانشگاهی واحد خراسان رضوی به دلیل تامین هزینه‌ها و امکانات مورد نیاز برای انجام این آزمایش کمال تشکر را دارند.

### منابع

- Adams, S.R., Valdes, V.M., & Langton, F.A. (2008) Why does low intensity, long-day lighting promote growth in petunia, impatiens, and tomato? *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(5), 609-615. <https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512431>.
- Astolfi, S., de Biasi, M.G., & Passera, C. (2001) Effect of irradiance-sulphur interaction on enzyme of carbon, nitrogen, and Sulphur metabolism in maize plant. *Photosynthetica*, 39, 177-181. <https://doi.org/10.1023/A:1013762605766>.
- Bernie, G. & Perilleux, C. (2005) A physiological overview of the genetics of flowering time control. *Plant Biotechnology Journal*, 3, 3-16. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2004.00114.x>.
- Bian, Z.H., Cheng, R.F., Yang, Q.C., Wang, J., & Lu, C. (2016) Continuous light from red, blue, and green light-emitting diodes reduces nitrate content and enhances phytochemical concentrations and

- antioxidant capacity in lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 141, 186–195. <https://doi.org/10.21273/JASHS.141.2.186>.
- Bian, Z.H., Yang, Q.C., & Liu, W.K. (2015) Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95 (5), 869–877. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6789>.
- Biswal, A. K., Pattanayak, G. K., Pandey, S.S., Leelavathi, S., Reddy, V. S., & Tripathy, B. C., (2012) Light intensity-dependent modulation of chlorophyll b biosynthesis and photosynthesis by overexpression of chlorophyllide a oxygenase in tobacco. *Plant Physiology*, 159, 433-449. <https://doi.org/10.1104/pp.112.195859>.
- Bourget, C. M. (2008) An introduction to light-emitting diodes. *HortScience*, 43: 1944-1946. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1944>.
- Cao, G., Zhang, G., Yu, J., & Ma, Y. (2013) Effects of different led light qualities on cucumber seedling growth and chlorophyll fluorescence parameters. *Scientia Agricultura Sinica*, 46(6), 1297–1304.
- Cerdan, P.D. & Chory, J. (2003) Regulation of flowering time by light quality. *Nat.* 423, 881-885. <https://doi.org/10.1038/nature01636>.
- Chen, M., Chory, J., & Fankhauser, C. 2004. Light signal transduction in higher plants. *Annual Review of Genetics*, 38 (1), 87–117. <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.38.072902.092259>.
- Cosgrove, D.J. 1981. Rapid suppression of growth by blue light. *Plant Physiology*, 67, 584-590. <https://doi.org/10.1104/pp.67.3.584>.
- Fan, X., Zang, J., Xu, Z., Guo, S., Jiao, X., Liu, X., & Gao, Y. (2013) Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 2721-2726. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1304-z>.
- Fukuda, N., Ajima, C., Yukawa, T., & Olsen, J. (2016) Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.014>.
- Goto, E. (2003) Effect of light quality on growth of crop plants under artificial lighting. *Environmental Control in Biology*, 41, 121-132. <https://doi.org/10.2525/ecb1963.41.12>.
- Hanyu, H., & Shoji, K. (2000) Effect of blue light and red light on kidney bean plants grown under combined radiation from narrow-band light source. *Environmental Control in Biology*. 38: 13-24. <http://dx.doi.org/10.2525/ecb1963.38.13>.
- Hemming, S., Mohammadkhani, V., & Dueck, T., (2008) Diffuse greenhouse covering materials – material technology, measurements and evaluation of optical properties. *Acta Horticulturae*, 469–475. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.797.68>.
- Heo, J.W., Kang, D.H., Bang, H.S., Hong, S.G., Chun, C.H. & Kang, K.K. (2012) Early growth, pigmentation, protein content, and phenylalanine ammonia-lyase activity of red curled lettuces grown under different lighting conditions. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 30(1), 6–12. <http://dx.doi.org/10.7235/hort.2012.11118>.
- Hernández, R. and C. Kubota. (2016). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environ. Exp. Bot.* 121:66-74.
- Hernández, R., & Kubota, C. (2015). Physiological, morphological, and energy-use efficiency comparisons of LED and HPS supplemental lighting for cucumber transplant production. *HortScience* 50: 351- 357.
- Hernández, R., & Kubota, C., (2012). Tomato seedling growth and morphological responses to supplemental LED lighting Red:Blue ratios under varied daily solar light integrals. *Acta Horticulturae*, 956, 187–194. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.19>.
- Hernandez, R., Eguchi, T., & Kubota, C. (2016) Growth and morphology of vegetable seedlings under different blue and red photon flux ratios using light-emitting diodes as sole source lighting. *Acta Horticulturae* (ISHS), 1134, 195–200. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.26>.
- Heuvelink, E., Bakker, M.J., Hogendonk, L., Janse, J., Kaarsemaker, R.C., & Maaswinkel, R.H.M. (2006) Horticultural lightening in the Neetherlands: new developments, *Acta Horticulturae*, 711, 25-33. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.1>.
- Hoagland, D.R. and Arnon, D.I. (1938) The Water Culture Method for Growing Plants without Soil. California Agricultural Experiment Station Circulation, 347, 32.

- Hoffmann, A.M., Noga, G., & Hunsche, M. (2015) High blue light improves acclimation and photosynthetic recovery of pepper plants exposed to UV stress. *Environmental and Experimental Botany*, 109(2), 254–63. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.017>.
- Hogewoning, S.W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010) Blue light dose– responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*, 61, 3107–3117. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq132>.
- Hogewoning, S.W., Wienties, E., Douwatra, P., Trouwborst, G., van Ieperen, W., Croce, R., & Harbinson, J. (2012) Photosynthetic Quantum Yield Dynamic: From photosystems to leaves. *The Plant Cell*, 24, 1921–1935. <https://doi.org/10.1105/tpc.112.097972>.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S. & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45(12), 1809–1814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809>.
- Jeong, H.W., Lee, H.R. Kim, H.M. Kim, H.M. Hwang H.S. & Hwang, S.J. 2020. Using Light Quality for Growth Control of Cucumber Seedlings in Closed-Type Plant Production System. *Plants* 639: 1-12. doi: 10.3390/plants9050639.
- Kaiser, E., Ouzounis, T., Giday, H., Schipper, R., Heuvelink, E. & Marcelis, L.F.M. (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, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02002>.
- Kim, H. H., Goins, G. D., Wheeler, R. M. & Sager, J. C. (2004) Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and bluelight- emitting diodes. *HortScience*, 39, 1617–1622.
- Kim, H.-J., Lin, M.-Y. & Mitchell, C.A. (2019). Light spectral and thermal properties govern biomass allocation in tomato through morphological and physiological changes, *Environ. Exp. Bot.* 157: 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.019>.
- Klein, R.M. 1992. Effect of green light on biological systems. *Biological Reviews*, 67, 199–284. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1992.tb01019.x>.
- Kopsell, D.A., Sams, C.E., & Barickman, T.C. (2014) Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. *Horticultural Science*, 139, 469–477. <https://doi.org/10.21273/JASHS.139.4.469>.
- Kreslavski, V.D., Lyubimov, V.Y., Shirshikova, G.N., Shmarev, A.N., Kosobryukhov, A.A., Schmitt, F.J., Friedrich, T., & Allakhverdiev, S.I. (2013) Preillumination of lettuce seedlings with red light enhances the resistance of photosynthetic apparatus to UV-A. *Journal of Photochemistry Photobiology B: Biology*, 122(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.02.016>.
- Kong, Y., Kamath, D. & Zheng, Y. (2019). Blue versus red light can promote elongation growth independent of photoperiod: a study in four Brassica microgreens species. *Hortscience* 54(11):1955–1961. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14286-19>
- Lanoué, J., Leonardos, E. D., & Grodzinski, B. (2018) Effects of light quality and intensity on diurnal patterns and rates of photo-assimilate translocation and transpiration in tomato leaves. *Frontiers in Plant Science*, 9, 756. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00756>.
- Li, H., Tang C. & Xu, Z. (2013) The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. *Scientia Horticulturae*, 150, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.009>.
- Lichtenthaler, H.K & Buschmann C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-vis spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* F4.3.1–F4.3.8. doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01
- Liu, N., Ji, F., Xu, L.J., & He, D.X. (2019) Effects of LED light quality on the growth of pepper seedling in plant factory. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(5), 44–50. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191205.4847>.
- Liu, X.Y., Chang, T.T., Guo, S.R., Xu, Z.G., & Li, J., (2011) Effects of different light quality of LED on growth of LED on growth and photosynthetic characters in cherry tomato seedlings. *Acta Horticulturae*, 907, 325–330. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.53>.
- Lu, N., Maruo, T., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S., Ito, Y., Ichimura, T., & Shinohara, Y. (2012). Effects of supplemental lighting with light-emitting diodes (LEDs) on tomato yield and quality of

- single-truss tomato plants grown at high planting density. *Environmental Control in Biology*, 50 (1), 63–74. <https://doi.org/10.2525/ecb.50.63>.
- Massa, G.D., Kim H.H., Wheeler, R.M., & Mitchell, C.A. (2008) Plant productivity in response to LED lighting. *Hortscience*, 43, 1951- 1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>.
- McCree, K.J. (1971). The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191-216. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7).
- Miao, Y.X, Wang, X.Z, Gao, L.H, Chen, Q.Y, & Qu, M. (2016) Blue light is more essential than red light for maintaining the activities of photosystem II and I and photosynthetic electron transport capacity in cucumber leaves. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(1): 87-100. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61202-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61202-3).
- Morrow, R.C. 2008. LED lighting in horticulture. *HortScience*. 43(7): 1947-1950. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1947>.
- 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). <https://doi.org/10.3390/plants8040993>.
- Netto, A.T., & Campostrini, E., (2005) de Oliveira J. G. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.013>.
- Olle M., & Viršile A. (2013) The effects of light-emitting diodes on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*, 22, 223–234. <https://doi.org/10.23986/afsci.7897>.
- Randall, W.C., & Lopez, R.G. (2014) Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes during bedding plant seedling production. *HortScience*, 49, 589–595. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.5.589>.
- Savvides, A., Fanourakis, D., & van Ieperen, W., (2012) Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, 63, 1135–1143. <https://doi.org/10.1093/jxb/err348>.
- Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., & Roth, B. (2015). LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renew. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.117>.
- Son, K.H., & Oh, M.M. (2013). Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *Horticulture Science*, 48(8), 988–995. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.988>.
- Song, J.X., Meng, Q.W., Du, W.F., & He, D.X. (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>.
- Spaargaren, J.J. (2001) *Supplemental lightening for green house crop*. Hortilux Schreder B.V. and P.L light System, Inc.-Ortario, Canada, p. 26-29.
- Tabaka, P. & Wtorkiewicz, J. (2022). Analysis of the spectral sensitivity of luxmeters and light sensors of smartphones in terms of their influence on the results of illuminance measurements-example cases. *Energies* 15: 5847. <https://doi.org/10.3390/en15165847>
- Tamulaitis, G., Duchovskis, P., Bliznikas, Z., Breivė, K., Ulinskaite, R., Brazaityte, A., Novičkovas, A., & Žukauskas, A. (2005) High-power light emitting diode based facility for plant cultivation. *Journal of Physics. D: Applied Physics*, 44, 261-269. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/38/17/S20>.
- Tibbitts, T., Morgan, D., & Warrington, I. (1983) Growth of lettuce, spinach, mustard, and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halide, and tungsten halogen lamps at equal PPFD. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 108, 622–630. <https://doi.org/10.21273/JASHS.108.4.622>.
- Trouwborst, G., Oosterkamp, J., Hogewoning, S.W., Harbinson, J., & van Ieperen, W., (2010) The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy. *Physiologia Plantarum*, 138, 289–300. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01333.x>.
- Urbonavičiute, A., Pinho, P., Samuoliene, G., Duchovskis, P., Vitta P., Stonkus, A., Tamulaitis, G., Žukauskas, A., & Halonen, L. (2007) Effect of short wavelength light lettuce growth and nutritional quality. *Sodininkyste ir daržininkyste*. 26(1): 157-165.



- VanIeperen, W., Savvides, A., & Fanourakis, D. (2012) Red and blue light effects during growth on hydraulic and stomatal conductance in leaves of young cucumber plants. *Acta Horticulturae*, 956, 223–230. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.24>.
- Volkenburgh, E.V. (1999) Leaf expansion—an integrating plant behaviour. *Plant Cell and Environment*, 22(12), 1463–1473. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00514.x>.
- Wang, H., Gu, M., Cui, J., Shi, K., Zhou, Y. & Yu, J. (2009). Effects of light quality on CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 96(1), 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.03.010>.
- Watjanatepin, N. (2019). Effect of three specific spectra of LED light on the growth, yield, and fruit quality of Sida tomato. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 6(6): 15-21. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2019.06.003>.
- Wei, B., Song, C.Y., Wang, S.J., Sang, S.P., Li, F.T., Wang, Z.Z. & Yang, J.Z. (2018). Nitrogen application time and R/Fr ratio: Effect on growth physiological characters and yield of maize, *Chin. Agric. Sci. Bull* 10–18 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Q.C. (2008), Application and prospect of light emitting diode (LED) in agriculture and bio-industry. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 6: 42–47. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-0864.2011.05.06>.
- Yang, X., Xu, H., Shao, L., Li, T., Wang, Y., & Wang, R. (2018) Response of photosynthetic capacity of tomato leaves to different LED light wavelength. *Environmental and Experimental Botany*, 150(3):161–71. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2018.03.013>.
- Yorio, N.C., Goins, G.D., Kagie, H.R., Wheeler, R.M., & Sager, J.C. (2001) Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, 36 (2), 380–383. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.2.380>.
- Zheng, L., & Van Labeke M.C. (2017) Long-term effects of red-and blue-light emitting diodes on leaf anatomy and photosynthetic efficiency of three ornamental pot plants. *Frontiers in plant science*, 8(1): 917. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00917>.

نسخه پلاس انتشار