



Effect of Supplementary Light Quality on the Morphological and Photosynthetic Characteristics of Strawberry Plants, cv. 'Camarosa' in autumn/winter short day conditions

Parnia Pakan¹, Mansour Gholami², Abdolkarim Chehregani Rad³,
Hassan Sarikhani⁴

1. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan-Iran. Email: parnia.p.73@gmail.com
2. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan-Iran. Email: mgholami@basu.ac.ir
3. Department of Biology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan-Iran. Email: chehregani@basu.ac.ir
4. Corresponding Author, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan-Iran. Email: sarikhani@basu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	The off-season cultivation of strawberry is often restricted under greenhouse conditions because of low light intensity, short-length day, and casting shade of plants on each other. This study aimed to investigate the effect of supplemental light quality (during the day) on morphological and photosynthetic characteristics of strawberry cv. 'Camarosa' under greenhouse conditions. In this context, the treatments included different supplemental lightings as follows: 100% red light (100% RL), 100% blue light (100% BL), 83% red light + 17% blue light (83% RL+67% RL), 67% red light + 33% blue light (67% RL+33% BL), 50% red light + 50% blue light (50% RL+50% BL), and a daily sunlight with 800 to 1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (DS) as control. Results showed that the highest growth indices were observed in the plants treated with 100% BL as well as 50% RL + 50% BL, while the lowest were obtained in the plants subjected to DS and 100% RL. Furthermore, exposing the strawberry to 100% BL as well as 50% RL + 50% BL led to production of the highest number of flower per plant. In addition, the highest amount of chlorophyll characteristics including (total chlorophyll, chlorophyll a, and chlorophyll b) and carotenoids was recorded in 100% BL and 50% RL + 50% BL treatments. In contrast, the lowest chlorophyll content was gained using DS and 100% RL. Finally, photosynthetic activity was significantly intensified using 100% BL and a combination of 50% RL and 50% BL, but it was remarkably diminished at DS treatment. In conclusion, the results of this study could substantiate the role of supplemental lighting not only in activating metabolic pathways associated with production of photosynthetic pigments, but also in enhancing plants' growth and morphological characteristics of strawberry cv. 'Camarosa' through improving stomatal exchange and photosynthesis rate.
Article history: Received: 7 February 2024 Received in revised form: 30 August 2024 Accepted: 9 September 2024 Published online: Winter 2024	
Keywords: Flower number, fruit weight, LED light, stomatal conductivity, strawberry.	

Cite this article: Pakan, P., Gholami, M., Chehregani Rad, A. & Sarikhani, H. (2024). The study of defensive responses to drought stress in some grape cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (4), 639-654. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.371727.2153>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.371727.2153>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Strawberry is one of the most valuable crops, widely consumed in the world. Because of its nutritional value and taste, the demand for its production and consumption has extensively been increased; consequently, improving its fruit composition is of great importance. After producing off-season strawberry in the last 20

years, the growers have developed different methods in strawberry production under greenhouse condition. In this regard, a controlled environment can provide an opportunity to produce strawberry in the off-season. It generally requires a long day and a suitable light intensity to gain suitable growth and development. Regarding the existence of low light and short-day length, predominant in a vast majority of the strawberry-producing greenhouses, employing supplemental lighting is crucial on inducing plants' growth and flowering. Light characteristics (i.e., intensity, quality, and duration) play an important role in regulating strawberry's growth, development, flowering, and photomorphogenesis. As a main source of energy for photosynthesis in plants, light usually stimulates some changes in gene expression, physiological, morphological, and metabolic characteristics through photoreceptors. Strawberry cv. 'Camarosa' is a short-day plant in which vegetative growth is influenced by day length and temperature. The present study aimed to evaluate the effect of the quality of supplemental light on the morphological and photosynthetic characteristics of strawberry cv. 'Camarosa' under greenhouse condition.

Materials and Methods

This research was carried out in the research greenhouses of the Department of Horticultural Sciences, Bu-Ali Sina University in the autumn and winter seasons. The plants of strawberry cv. 'Camarosa' were initially transferred to the greenhouse and cultivated in a hydroponic bed containing cocopeat and perlite (70:30 ratio). Afterwards, they were fed three days interval using Hoagland nutrient solution. During the experiment, the environmental condition inside the greenhouse was adjusted as follows: temperature (25°C day/15°C night), relative humidity (70%), and the period of natural lighting 11 h per day/13 h per night on average. The experiment was conducted as a completely randomized design with three replications. A total of six treatments of this experiment included 100% red light (660 nm) (100% RL), 100% blue light (440 nm) (100% BL), 83% red light + 17% blue light (83% RL + 17% BL), 67% red light + 33% blue light (67% RL + 33% BL), 50% red light + 50% blue light (50% RL + 50% BL), and daily sunlight (DS) as control. Lighting with an approximately intensity of 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ was supplied with light emitting diodes (LED) and sunlight (800 to 1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) for 14 hours from 5 am to 7 pm. Finally, some morphological characteristics and photosynthetic parameters of strawberry were measured after about one month of supplemental lighting.

Results and Discussion

Results of this study revealed that our treatments were effective on the morphological characteristics including petiole length, leaf area, flower number, flower petiole length, runner number, runner length, crown diameter, and leaf number. The highest leaf number, petiole length, leaf surface, flower number, runner number, and crown diameter were observed in the plants subjected to 100% BL and 50% RL + 50% BL, respectively. Except for runner length, both lightings of 100% RL and DS (control) had no significant difference on the growth parameters. Overall, supplemental lighting was found to have a significant impact on the content of chlorophyll a, b, total, and total carotenoids. As such, the highest increase in chlorophyll content was belonged to the 100% BL, followed by 50% BL as well as 50% RL, as compared with DS. Moreover, no significant difference was found between 67% RL+33% BL and 84% RL +16% BL in terms of photosynthetic pigments. Although exposing the plants to the 100% RL increased both chlorophyll and carotenoid content in comparison with the control, no significant difference was recorded between them. In addition, lighting 100% BL significantly amplified photosynthetic activity, stomatal conductance, sub-stomatal CO_2 , and water use efficiency (WUE), while the 100% RL and the control reduced the above-mentioned physiological characteristics.

Conclusion

The results of this study provide evidence on the efficiency of supplemental lighting using LEDs for improving growth parameters and morphological characteristics of strawberry cv. 'Camarosa'. In this context, supplemental lighting could activate the metabolic pathways related to the production of photosynthetic pigments, improve stomatal exchange, and increase the rate of photosynthetic activity.



اثر کیفیت نور تکمیلی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فتوسنتزی بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا در شرایط روز کوتاه پاییزه/زمستانه

پرنیا پاکان^۱ | منصور غلامی^۲ | عبدالکریم چهرگانی‌راد^۳ | حسن ساری‌خانی^۴

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: Parnia.p.73@gmail.com

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: mgholami@basu.ac.ir

۳. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: chehregani@basu.ac.ir

۴. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: sarikhani@basu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹ تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۳ کلیدواژه‌ها: ال ای دی، تعداد گل، توت‌فرنگی، وزن میوه، هدایت روزنه‌ای.	کشت خارج از فصل توت‌فرنگی در گلخانه‌ها اغلب به دلیل شدت پایین نور و طول روز کوتاه و همچنین سایه‌اندازی گیاهان روی یکدیگر در برخی از سیستم‌های کشت، محدود می‌شود. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر کیفیت نور تکمیلی در طول روز بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فتوسنتزی بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا در شرایط گلخانه انجام شد. گیاهان تحت تیمارهای نوردهی شامل: نور قرمز ۱۰۰٪، نور آبی ۱۰۰٪، نور قرمز ۸۳٪ + نور آبی ۱۷٪، نور قرمز ۶۷٪ + نور آبی ۳۳٪، نور قرمز ۵۰٪ + نور آبی ۵۰٪ و شاهد به صورت تکمیلی به همراه نور خورشید (۸۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه) در طول روز قرار گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده، بالاترین شاخص‌های رشدی در بوته‌های با تیمار نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ و قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪ مشاهده شد. کمترین شاخص‌های رشد مربوط به گیاهان شاهد و نوردهی با قرمز ۱۰۰٪ بود. بالاترین تعداد گل نیز در بوته‌های تیمارهای آبی ۱۰۰٪ و قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪ مشاهده شد. در مقابل، کمترین شاخص‌های رشد در گیاهان تیمار شاهد و نور قرمز ۱۰۰٪ بود. بیشترین میزان کلروفیل کل، کلروفیل <i>a</i>، کلروفیل <i>b</i> و کاروتنوئید در نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ و قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪ مشاهده شد، درحالی‌که کمترین غلظت کلروفیل در شاهد و نور قرمز ۱۰۰٪ ثبت شد. بالاترین نرخ فتوسنتز نیز در بوته‌های با نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ و ترکیب قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪ مشاهده شد و کمترین میزان آن مربوط به گیاهان شاهد بود. نتایج شواهدی را ارائه می‌دهند که نوردهی تکمیلی می‌تواند باعث فعال شدن مسیرهای متابولیکی مرتبط با تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی شده و ضمن بهبود تبادلات روزنه‌ای و نرخ فتوسنتز، سبب بهبود رشد نسبی و ویژگی‌های مورفولوژیکی بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا شود.

استناد: پاکان، پرنیا؛ غلامی، منصور؛ چهرگانی‌راد، عبدالکریم و ساری‌خانی، حسن (۱۴۰۳). اثر کیفیت نور تکمیلی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فتوسنتزی بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا در شرایط روز کوتاه پاییزه/زمستانه. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۵ (۴)، ۶۵۴-۶۳۹. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.352980.2078>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.352980.2078>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch.) یک محصول با ارزش و یکی از پرمصرف‌ترین میوه‌های جهان است که به دلیل طعم و ارزش غذایی و نیز افزایش تقاضا برای تولید و مصرف آن، امروزه به یکی از اهداف مهم جهت بهبود ترکیبات غذایی و عملکردی تبدیل شده است (Chong et al., 2022). بر اساس آمار سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد تولید توت‌فرنگی جهان در ۲۰ سال گذشته بیش از ۸۰ درصد افزایش یافته، به طوری که به بیش از ۸/۹ میلیون تن در سال ۲۰۲۳ رسیده است. کشور چین بزرگترین تولید کننده توت‌فرنگی در دنیا است و پس از آن کشورهای آمریکا، مکزیک، ترکیه، مصر و اسپانیا در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. آمریکا با تولید بیش از ۶۵ تن در هکتار و پس از آن کشور اسپانیا با ۴۹ تن در هکتار بیشترین عملکرد در واحد سطح را دارند. ایران از لحاظ سطح زیر کشت رتبه ۱۸، اما از نظر عملکرد در واحد سطح رتبه ۳۹ دنیا را دارا می‌باشد (FAO, 2023). در حال حاضر، مجموع سطح زیر کشت توت‌فرنگی در کشور ۵۳۰۰ هکتار است. از این میزان حدود ۴۰۰ تا ۴۵۰ هکتار مربوط به کشت‌های گلخانه‌ای است. جنوب استان کرمان با ۲۱۱ هکتار جایگاه نخست سطح زیر کشت توت‌فرنگی گلخانه‌ای در کشور را به خود اختصاص داده است و پس از آن استان‌های تهران با ۴۲ هکتار و البرز با ۳۷ هکتار در جایگاه‌های بعدی قرار دارند (Agricultural Statistics, 2023). توت‌فرنگی غنی از ترکیبات غذایی و آنتی‌اکسیدانی است که برخی از آنها، مانند فنل‌ها در بهبود کیفیت و ظاهر میوه نقش دارند (Galli et al., 2016). به دنبال گسترش تولید خارج از فصل توت‌فرنگی در ۲۰ سال اخیر، روش‌های تولید آن در گلخانه نیز توسعه یافته است (Nadalini et al., 2017). استفاده از محیط‌های کنترل شده به پرورش دهندگان توت‌فرنگی این فرصت را می‌دهد که در تمام طول سال و به‌ویژه در خارج از فصل، میوه تولید کنند. اگرچه ارقام توت‌فرنگی از نظر گل‌انگیزی به ارقام روز کوتاه، روز خنثی و بدون واکنش به طول روز تقسیم‌بندی می‌شوند، اما همه این ارقام برای رشد رویشی قوی برای تولید گل و میوه، استفاده از نور تکمیلی ضروری است و همچنین شدت نور مطلوب نیاز دارند (Hancock, 1999). در گلخانه‌های تولید توت‌فرنگی در زمان عدم وجود نور کافی و یا کوتاه بودن طول روز، به دلیل نیاز به رشد رویشی قوی برای تولید گل و میوه، استفاده از نور تکمیلی ضروری است (Hidaka et al., 2013). نور و ویژگی‌های آن شامل شدت، کیفیت و طول مدت تابش نور، در تنظیم رشد و نمو، گلدهی و فتومورفوزن گونه‌های توت‌فرنگی نقش مهمی دارد (Zahedi & Sarikhani, 2016 & 2017; Mochizuki et al., 2019; Choi et al., 2018).

نور نه تنها منبع اصلی انرژی لازم برای گیاهان است، بلکه یک عامل مهم در رشد گیاه، ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیان برخی از ژن‌ها، طی دوره‌ی رشد گیاه محسوب می‌شود (Huche-Thelie et al., 2016). فتوسنتز یک فرآیند اکسیداسیون-احیای وابسته به نور است. انرژی لازم برای تحریک واکنش فتوسنتزی از نور تأمین می‌شود (Shohael et al., 2006). شدت نور دارای اثر هم‌افزایی بر فتوسنتز گیاهان با سایر عوامل، مانند غلظت دی‌اکسید کربن، رطوبت، دما و برخی عوامل دیگر است. همچنین، ویژگی‌های نور بر روند توزیع مواد فتوسنتزی نیز اثر می‌گذارد. تغییر در نسبت نور آبی به قرمز ممکن است ترکیبات بیوشیمیایی فتوسنتزی را تعدیل و یک حالت پایدار در فعالیت فتوسنتزی ایجاد کند (Mochizuki et al., 2019). علاوه بر رنگدانه‌های کلروفیل، سایر رنگدانه‌های گیاهی مانند کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها نیز قادر به دریافت نور هستند. همه این رنگدانه‌ها طیف جذبی متفاوتی داشته و به گیاهان اجازه می‌دهند تا طیف وسیعی از نور را جذب کنند. با این حال عامل نور، به عنوان منبع اصلی انرژی برای فتوسنتز، سیگنال‌هایی در فرآیندهای بیان ژن، فیزیولوژی، مورفولوژی و متابولیسم ایجاد می‌کند. پاسخ گیاهان به نور با عملکرد گیرنده‌های نوری مشخص می‌شود (Ouzounis et al., 2014).

توت‌فرنگی رقم کاماروسا یک گیاه روز کوتاه است که رشد رویشی آن تحت تأثیر طول روز و دما قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه آگاهی از اثر نور بر کنترل رشد و نمو گیاه، واکنش‌های فیزیولوژیک و تولید ضروری به نظر می‌رسد، پژوهش حاضر باهدف ارزیابی اثر کیفیت نور تکمیلی بر واکنش‌های مورفولوژیکی و فتوسنتزی بوته توت‌فرنگی رقم کاماروسا در شرایط گلخانه انجام شد.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های متعددی در ارتباط با استفاده از منابع مختلف نوری برای نوردهی گیاهان در شرایط کنترل‌شده، به‌ویژه توت‌فرنگی انجام‌شده است. با معرفی دیودهای ساطع‌کننده نور (LED)، استفاده از این منابع نوری برای اهداف مختلف گسترش بسیار بیشتری پیدا کرده است (Nadalini et al., 2017; Choi et al., 2015). مطالعات انجام‌شده در مورد تأثیر نور LED که اخیراً در گلخانه‌ها و مراکز پرورش گیاهان مورد توجه قرار گرفته است، تأثیر طول موج و رنگ‌های نور را بر عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی نشان می‌دهد (Yoneda et al., 2020; Díaz-Galián et al., 2021; Chong et al., 2022). استفاده از LED ها در کنترل رشد و نمو گیاهان یک روش اقتصادی مقرون‌به‌صرفه بوده و به دلیل عدم استفاده از مواد شیمیایی حائز اهمیت است (Zheng et al., 2019). از نور مصنوعی در شرایط رشد محافظت‌شده نیز برای تحت تأثیر قرار دادن جنبه‌های مربوط به فیزیولوژی محصول، مانند مرحله انتقال بین رشد رویشی و زایشی در توت‌فرنگی با استفاده از مدت‌زمان‌های مختلف دوره نوری استفاده می‌شود (Yoneda et al., 2020). به دلیل اثرات متعدد نور بر گلدهی و رشد و نمو میوه توت‌فرنگی، استفاده از نور مصنوعی در پژوهش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعات، اثر کیفیت و مدت نوردهی در گل انگیزی، تشکیل ساقه رونده و گل‌آذین توت‌فرنگی در گونه‌ها و ارقام متعددی به اثبات رسیده است (Takeda et al., 2010; Rantanen et al., 2014; Codrea et al., 2021). در مقابل، در شرایط طول روز کوتاه و همچنین شدت پایین نور در روزهای ابری و کم‌نور پاییز و زمستان، تأثیر نوردهی مصنوعی برای بهبود ویژگی‌های رشد و نمو نیز مورد بررسی قرار گرفته است (Samuoliene et al., 2010; Wu et al., 2012; Uddin et al., 2018; Choi et al., 2018). بررسی گیاهچه توت‌فرنگی در شرایط نوردهی با LED قرمز و آبی و نور فلورسنت نشان داد که کاربرد LED باعث تولید بیشتر ساقه رونده در گیاهچه‌های توت‌فرنگی می‌شود (Chong et al., 2022). از نظر فیزیولوژیکی، پژوهشگران معتقدند که عملکرد فوتونی نور قرمز به‌تنهایی برای رشد گیاه کافی است (Codrea et al., 2021)، اما به عقیده برخی دیگر در صورت استفاده از نور قرمز، درصد کمی نور آبی نیز نیاز است (Díaz-Galián et al., 2021).

تیمار نور تکمیلی آبی همراه با نور خورشید باعث کشیدگی بیشتر دمبرگ و ساقه گل در مقایسه با شاهد و نور تکمیلی قرمز شد. این اثر را می‌توان در زمینه‌ی نقش مثبت نور آبی در فرآیندهای طولیل شدن سلول و ارتقای کشیدگی عمودی ساقه، به‌عنوان بخشی از مکانیسم‌هایی که گیاهان برای اجتناب از سایه سایر گیاهان مجاور اتخاذ می‌کنند توضیح داد (Huche-Thelier et al., 2016). بررسی تأثیر کیفیت نور بر ویژگی‌های مورفولوژیکی توت‌فرنگی نشان دهنده تأثیر معنی‌دار تیمارهای نوری بر تعداد روندها و ایجاد بیشترین تعداد روندها در تیمار نور آبی و کمترین در تیمار شاهد بوده است (Uddin et al., 2018 & Naznin et al., 2016).

در یک بررسی محتوای کلروفیل برگ توت‌فرنگی تحت تیمار نور قرمز به‌تنهایی کاهش یافت، اما ترکیب نور قرمز، آبی و سبز بیشترین میزان کلروفیل را داشت (Wu et al., 2012). در مقابل، در بررسی دیگری محتوای کلروفیل کل در تیمار نور قرمز در توت‌فرنگی رقم الکات افزایش یافت. نور آبی نیز به‌طور قابل‌توجهی محتوای کلروفیل در برگ‌ها را، در مقایسه با شاهد افزایش داد (Samuoliene et al., 2010). در بررسی اثر سه طول موج آبی، قرمز و ترکیب قرمز و آبی حاصل از LED روی توت‌فرنگی در دو محیط اتاقک رشد (نور مصنوعی به‌تنهایی) و گلخانه (نور محیط به همراه نور مصنوعی)، گزارش شد که نور آبی برای تجمع کلروفیل در برگ‌های توت‌فرنگی نمونه‌برداری شده ۱۵ روز قبل از برداشت میوه اثر کمتری دارد (Choi et al., 2015). در تحقیق دیگری نیز نشان داده شد که نوردهی تکمیلی با نور آبی، قرمز و ترکیب قرمز و آبی به‌طور قابل‌توجهی محتوای کلروفیل گیاه توت‌فرنگی را افزایش داد (Wei et al., 2020).

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در پاییز و زمستان سال ۱۴۰۱، در گلخانه‌های پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان تهیه و پس از انتقال، در گلخانه و در بسترهای هیدروپونیک با مخلوط کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۷۰ به ۳۰ (به دلیل تهویه مناسب، جلوگیری از خروج قابل توجه آب و محلول غذایی و همچنین جلوگیری از بالا رفتن EC و شور شدن بستر) کشت شدند. بوته‌های توت‌فرنگی با محلول غذایی هوگلند هر سه روز یک‌بار تغذیه شدند، به‌طوری که هیچ گونه علایم کمبود عناصر غذایی در بوته‌های مورد آزمایش مشاهده نشد و بوته‌ها از رشد مطلوبی تا پایان فصل رشد برخوردار بودند. لازم به توضیح است که خروجی آب زهکش‌ها در هر مرحله آبیاری با توجه به تخلخل مناسب بستر کشت ۲۵-۳۵ درصد بود. در زمان انجام آزمایش، متوسط دمای روز در گلخانه ۲۵ و دمای شب ۱۵ درجه سلسیوس بود. همچنین، رطوبت نسبی ۷۰ درصد، دوره روشنایی طبیعی ۱۱ ساعت/۱۳ ساعت (روز/شب) و شدت نور طبیعی ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود.

تیمارهای آزمایشی

آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در شش تیمار و سه تکرار انجام شد. به‌منظور بررسی اثر کیفیت نور تکمیلی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فتوسنتزی بوته‌های توت‌فرنگی، گیاهان تحت تیمارهای نوردهی شامل: ۱- نور قرمز ۱۰۰٪ (با طول موج ۶۶۰ نانومتر)، ۲- نور آبی ۱۰۰٪ (با طول موج ۴۴۰ نانومتر)، ۳- نور قرمز ۸۳٪ + نور آبی ۱۷٪، ۴- نور قرمز ۶۷٪ + نور آبی ۳۳٪، ۵- نور قرمز ۵۰٪ + نور آبی ۵۰٪ و ۶- شاهد (عدم نوردهی تکمیلی) قرار گرفتند. نوردهی با استفاده از دیوهای ساطع کننده نور (LED) و به‌صورت تکمیلی به همراه نور خورشید (۸۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه) در طول روز به مدت ۱۴ ساعت از ساعت ۵ تا ۱۹ و با شدت حدود ۲۵۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه اعمال شد. نوردهی تکمیلی در مرحله ۳ تا ۵ برگی بوته‌ها شروع و تا پایان برداشت ادامه داشت و در مدت آزمایش طول روز افزایشی بود. پس از حدود یک ماه نوردهی، برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و همچنین پارامترهای فتوسنتزی بوته‌های توت‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت.

صفات مورد بررسی و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها

پس از اتمام دوره نوردهی برخی صفات رویشی شامل قطر طوقه، تعداد برگ، طول دمبرگ، طول دمگل، تعداد گل در گل‌آذین، تعداد روندک، طول روندک، قطر طوقه، سطح برگ، و تعداد و وزن کل میوه‌ها به صورت تجمعی در دوره اندازه‌گیری شد. از برگ‌ها توسط دستگاه اسکن جت اچ پی مدل جی ۲۴۱۰ تصویربرداری انجام شد و محاسبه سطح برگ‌ها با استفاده از نرم‌افزار ایمیج-جی، انجام گردید. برای شمارش تعداد گل در هر بوته، در مرحله تمام گل از هر واحد آزمایشی تعداد ۵ گل‌آذین بطور تصادفی انتخاب و گل‌های هر گل‌آذین شمارش شده و از آنها میانگین گرفته شد. برای اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی ابتدا مقدار ۰/۲۵ گرم نمونه برگ تازه در هاون چینی با استفاده از ات مایع پودر شد و سپس با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد همگن گردید. در مرحله بعد، عصاره حاصله به مدت پنج دقیقه با ۱۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و از محلول رویی برای اندازه‌گیری جذب استفاده شد. حجم نهایی عصاره گیاه با استون ۸۰ درصد به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد (Poira et al., 1989). سپس، جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۴ نانومتر، به ترتیب برای کلروفیل a و b و همچنین طول موج ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل ۱۲۸۰ شیمادزو ساخت ژاپن اندازه‌گیری شد. با استفاده از رابطه‌های زیر میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید بر اساس میلی‌گرم در لیتر محاسبه گردید.

$$\text{Chl}_a = (12/25 \times A_{664}) - (2/55 \times A_{645}) \quad \text{رابطه ۱}$$

1. HPScanjet G2410
2. Image-J (USA Image J Software version 1/42)
3. UV-1280, Shimadzu, Japan

$$\text{Chl}_b = (20/13 \times A_{645}) - (4/91 \times A_{664}) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{Chl}_{\text{Total}} = (17/76 \times A_{645}) - (7/34 \times A_{664}) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$= (1000 \times A_{470} - 1/82 \times \text{Chl}_a - 85/02 \times \text{Chl}_b) / 198 \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\text{Chl}_{\text{CAR}}$$

در نهایت با استفاده از رابطه ۵، غلظت رنگیزه‌ها در نمونه‌ی برگ بر اساس میلی گرم در گرم وزن تر برگ محاسبه شد. (رابطه ۵)

$$\text{رنگیزه برگ (میلی گرم در گرم وزن تر برگ)} = (C_x \times V_e \times D) / (W_s \times 1000)$$

 C_x ؛ غلظت محاسبه شده هر رنگیزه در عصاره (میلی گرم در لیتر)؛ V_e ، حجم کل عصاره (میلی لیتر)؛ D ، فاکتور رقت؛ W_s ، وزن تر نمونه برگ (گرم)

صفات فیزیولوژیکی، شامل فتوسنتز (میکرو مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه)، تعرق (میلی مول آب بر مترمربع بر ثانیه) و CO_2 زیر روزنه‌ای (میلی مول) با استفاده از دستگاه فتوسنتز مترال سی‌ای تی ساخت شرکت بایوساینتیفیک انگلستان اندازه‌گیری شد. کارایی مصرف آب نیز با تقسیم فتوسنتز بر تعرق محاسبه گردید.

واکاوی آماری داده‌ها

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (۹/۲) انجام گرفت. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

یافته‌های پژوهشی

ویژگی‌های مورفولوژیکی

اثر تیمارهای نوری بر طول دمبرگ، سطح برگ، طول دمگل، تعداد روندک، طول روندک و قطر طوقه در سطح یک درصد و بر تعداد برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین تعداد برگ، طول دمبرگ، سطح برگ، تعداد روندک و قطر طوقه در بوته‌های با نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ و قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪ مشاهده شد که به ترتیب باعث افزایش ۶۸/۱۸ درصدی تعداد برگ، ۵۶/۲۵ درصدی طول دمبرگ، ۶۶/۲۴ درصدی سطح برگ، ۴۴/۷۳ درصدی طول دمگل، ۲۰۰ درصدی تعداد روندک، ۱۳۱/۳۶ درصدی طول روندک و ۱۴۹/۵۵ درصدی قطر طوقه نسبت به گیاهان شاهد (عدم نوردهی) شد. بین تیمار نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ و تیمار ترکیبی قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪ در تعداد برگ، سطح برگ، طول دمگل و تعداد روندک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). در بین تیمارهای نوردهی تکمیلی تیمار نور قرمز ۱۰۰٪ کمترین تأثیر در صفات رشدی مورد بررسی را داشت که جز در طول روندک تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر کیفیت نور تکمیلی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی بوته‌های توت‌فرنگی رقم 'کاماروسا'

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد برگ	طول دمبرگ	سطح برگ	طول دم‌گل	تعداد روندک	طول روندک
کیفیت نور	۵	۳۱/۱۶۶*	۲۳/۰۳۸**	۱۷۳۰۷۵۰**	۷/۰۲**	۱۲/۰۴**	۲۸۳/۸۶**
خطای آزمایشی	۱۸	۲/۶۳	۰/۸۸	۴۹۸۸۷	۰/۹۱	۰/۶۵	۴/۲۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۱/۰۷	۶/۹۹	۶/۳۹	۹/۶۵	۲۱/۳۰	۷/۴۰

* و **: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر کیفیت نور تکمیلی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی بوته‌های توت‌فرنگی رقم 'کاماروسا'

تیمار	تعداد برگ (در هر گیاه)	طول دم‌برگ (سانتی‌متر)	سطح برگ (میلی‌متر مربع)	طول دم‌گل (سانتی‌متر)	تعداد روندک (در هر گیاه)	طول روندک (سانتی‌متر)	قطر طوقه (سانتی‌متر)
شاهد	۱۱/۰ d _۱	۱۱/۰۴ d	۲۵۸۸/۲ d	۷/۹۸ d	۲/۰ c	۱۷/۲۵ f	۲/۲۴ d
آبی ۱۰۰٪	۱۸/۵ a	۱۷/۲۵ a	۴۳۰۲/۷ a	۱۱/۵۵ a	۶/۰ a	۳۹/۹۱ a	۵/۵۹ a
قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪	۱۷ ab	۱۵/۳۲ b	۴۰۳۶/۲ ab	۱۰/۸۴ ab	۵/۵ a	۳۳/۶۵ b	۴/۳۵ b
قرمز ۶۷٪ + آبی ۳۳٪	۱۵/۳ bc	۱۳/۳۰ c	۳۷۸۶/۲ b	۱۰/۳۱ ab	۴/۳ b	۳۰/۱۲ c	۳/۳۱ c
قرمز ۸۴٪ + آبی ۱۶٪	۱۳/۵ cd	۱۲/۴۶ cd	۳۲۶۱/۸ c	۹/۹۳ bc	۳/۰ c	۲۵/۶۲ d	۲/۹۸ c
قرمز ۱۰۰٪	۱۲/۸ cd	۱۱/۴۳ d	۲۹۸۸/۲ c	۸/۷۶ cd	۲/۰ c	۲۰/۵۵ e	۲/۷۳ cd

حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، بر اساس آزمون دانکن، می باشد.

تعداد گل در گلاذین، وزن میوه و عملکرد میوه

اثر کیفیت نور بر تعداد گل در گلاذین، میانگین وزن میوه و عملکرد میوه در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین تعداد گل در گلاذین (۴/۶) در بوته‌های تیمار شده با نور آبی ۱۰۰٪ مشاهده شد. با افزایش نسبت نور قرمز و کاهش نسبت نور آبی تعداد گل در بوته کاهش یافت. کمترین تعداد گل در گلاذین نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). بالاترین میانگین وزن میوه و عملکرد میوه در بوته در تیمار نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ (به ترتیب ۲۲/۹۱ و ۸۱۶/۴۸ گرم) بدست آمد. با افزایش نسبت نور قرمز و کاهش نسبت نور آبی میانگین وزن تک میوه و عملکرد میوه در بوته کاهش یافت. کمترین میزان میانگین وزن تک میوه و عملکرد میوه در بوته مربوط به تیمار شاهد و به ترتیب ۱۲/۴۱ و ۵۶۰/۰۳ گرم بود (جدول ۴).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر کیفیت نور تکمیلی بر ویژگی‌های تعداد گل در گلاذین، وزن میوه و عملکرد بوته‌های توت‌فرنگی رقم 'کاماروسا'

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد گل (در گلاذین)	میانگین وزن میوه	میانگین مربعات
کیفیت نور	۵	۵۵/۹۷ **	۵۸/۰۴ **	۳۸۷۳۳/۲ **
خطای آزمایشی	۱۸	۵/۴۸	۲/۶۳	۱۲۷۰/۷
ضریب تغییر	—	۱۳/۸۷	۹/۵۴	۵/۴۳

* و **: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر کیفیت نور تکمیلی بر ویژگی‌های تعداد گل در گلاذین، وزن میوه و عملکرد بوته‌های توت‌فرنگی رقم 'کاماروسا'

تیمار	تعداد گل در گلاذین	میانگین وزن میوه (گرم)	میانگین عملکرد میوه در بوته (گرم)
شاهد	۲/۶ d	۱۲/۴۱ e	۵۶۰/۰۳ d
آبی ۱۰۰٪	۴/۶ a	۲۲/۹۱ a	۸۱۶/۴۸ a
قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪	۳/۹ b	۱۹/۴۴ b	۷۳۴/۲۷ b
قرمز ۶۷٪ + آبی ۳۳٪	۳/۴ bc	۱۷/۴۸ bc	۶۲۱/۲۷ c
قرمز ۸۴٪ + آبی ۱۶٪	۳/۰ cd	۱۵/۸۶ cd	۶۰۷/۸۳ cd
قرمز ۱۰۰٪	۲/۸ cd	۱۳/۹۹ de	۵۹۴/۳۵ cd

حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، بر اساس آزمون دانکن، می باشد.

غلظت رنگیزه‌های فتوستزی

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمار نوردهی تکمیلی، اثر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در سطح یک درصد داشت (جدول ۵). بیشترین افزایش در تیمار نوردهی با استفاده از نور تکمیلی آبی ۱۰۰٪ مشاهده شد و باعث افزایش ۱۰۷/۶۰ درصدی کلروفیل a، ۱۸۷/۱۱ درصدی کلروفیل b، ۱۳۲/۸۷ درصدی کلروفیل کل و ۱۸۶/۲۵ درصدی کاروتنوئید برگ نسبت به تیمار شاهد شد. بین تیمارهای ترکیبی نوردهی قرمز ۶۷٪ + آبی ۳۳٪ و قرمز ۸۴٪ + آبی ۱۶٪ تفاوت معنی‌داری در میزان رنگیزه‌های فتوستزی مشاهده نشد. اگرچه تیمار نور قرمز ۱۰۰٪ میزان کلروفیل و کاروتنوئید بالاتری نسبت به تیمار شاهد داشت، اما این تفاوت معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد تیمار ترکیبی نور قرمز و آبی تاثیر بیشتری نسبت به تیمار قرمز به تنهایی داشته باشد، زیرا تیمار نور آبی ۵۰٪ و قرمز ۵۰٪ بعد از آبی ۱۰۰٪ بهترین پاسخ را در افزایش رنگیزه‌های فتوستزی داشته و باعث افزایش معنی‌دار این صفات نسبت به تیمار شاهد شده است (جدول ۶).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر کیفیت نور تکمیلی بر غلظت رنگیزه‌های فتوستزی برگ بوته‌های توت‌فرنگی رقم 'کاماروسا'

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
کیفیت نور	۵	۰/۵۶۱۵ **	۰/۳۹۷۳ **	۱/۹۰۰۹ **	۰/۱۱۲۴ **
خطای آزمایشی	۱۸	۰/۰۲۹	۰/۱۴۸	۰/۰۲۵	۰/۰۰۳۹
ضریب تغییر	-	۱۲/۹۳	۱۵/۷۳	۷/۵۶	۱۱/۵۲

*** نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر کیفیت نور تکمیلی بر غلظت رنگیزه‌های فتوستزی برگ بوته‌های توت‌فرنگی رقم 'کاماروسا'

کیفیت نور	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم)	کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم)
شاهد	۰/۹۲۵ d	۰/۴۵۰ e	۱/۳۷۵ e	۰/۲۶۲ e
آبی ۱۰۰٪	۱/۹۱۰ a	۱/۲۹۲ a	۳/۲۰۲ a	۰/۷۱۵ a
قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪	۱/۵۹۵ b	۰/۹۷۵ b	۲/۵۷۰ b	۰/۶۰۰ b
قرمز ۶۷٪ + آبی ۳۳٪	۱/۳۵۷ bc	۰/۷۷۰ c	۲/۱۲۷ c	۰/۴۹۰ c
قرمز ۸۴٪ + آبی ۱۶٪	۱/۱۵۷ cd	۰/۶۴۵ cd	۱/۸۰۲ d	۰/۴۱۲ cd
قرمز ۱۰۰٪	۱/۰۱۲ d	۰/۵۱۷ de	۱/۵۳۰ e	۰/۳۴۰ de

حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد، بر اساس آزمون دانکن، می‌باشد.

فتوستنر، تبادلات گازی و کارایی مصرف آب

نتایج نشان داد که اثر تیمارهای مختلف نوری بر میزان فتوستنر، هدایت روزنه‌ای، CO_2 زیر روزنه‌ای و کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی بر میزان تعرق معنی‌دار نبود (جدول ۷). بیشترین نرخ فتوستنر (۱۱/۰۶۵ میکرومول دی‌اکسید کربن در متر مربع در ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (۰/۱۷۷ میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه)، CO_2 زیر روزنه‌ای (۳۸۰/۵۰۰ میلی‌مول دی‌اکسید کربن)، و کارایی مصرف آب (۲/۲۹۲ میکرومول دی‌اکسید کربن به ازای یک میلی‌مول آب) در بوته‌های با نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ مشاهده شد که به ترتیب باعث افزایش ۵۷/۰۱ درصدی فتوستنر، ۶۸/۷۵ درصدی هدایت روزنه‌ای، ۵۴/۷۹ درصدی CO_2 زیر روزنه و ۹۳/۰۹ درصدی کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد شد، درحالی‌که کمترین میزان آن مربوط به گیاهان با نوردهی تکمیلی قرمز ۱۰۰٪ و شاهد بود. تیمارهای مختلف نوردهی از نظر میزان تعرق با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۸).

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر کیفیت نور تکمیلی بر فتوستتز، تبادلات گازی و کارایی مصرف آب برگ بوته‌های توت‌فرنگی رقم 'کاماروسا'

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
فتوستتز	هدایت روزه‌ای	CO ₂ زیر روزه‌ای	کارایی مصرف آب		
۸/۷۱۸**	۰/۰۰۲۶**	۶۹۶۸/۳۶**	۰/۶۷۴۵**	۵	کیفیت نور
۰/۴۹	۰/۰۰۰۱	۱۳۰/۳۰	۰/۲۵۷	۱۸	خطای آزمایشی
۸/۳۳	۷/۳۴	۳/۳۹	۹/۹۳	—	ضرب تغییر

** نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر کیفیت نور تکمیلی بر فتوستتز، تبادلات گازی و کارایی مصرف آب برگ بوته‌های توت‌فرنگی رقم 'کاماروسا'

کیفیت نور	فتوستتز (میکرومول دی‌اکسید کربن در متر مربع در ثانیه)	هدایت روزه‌ای (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه)	CO ₂ زیر روزه‌ای (میلی مول دی‌اکسید کربن)	کارایی مصرف آب (میکرومول دی‌اکسید کربن به ازای یک میلی مول آب)
شاهد	۷/۰۴۷ ^{d۱}	۰/۱۰۵ ^d	۲۶۳/۲۵۰ ^d	۱/۱۸۷ ^e
آبی ۱۰۰٪	۱۱/۰۶۵ ^a	۰/۱۷۷ ^a	۳۸۰/۵۰۰ ^a	۲/۲۹۲ ^a
قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪	۹/۰۳۲ ^b	۰/۱۵۲ ^b	۳۵۹/۷۵۰ ^b	۱/۸۴۵ ^b
قرمز ۳۳٪ + آبی ۶۷٪	۸/۲۱۳ ^{bc}	۰/۱۴۰ ^b	۳۵۵/۰۰۰ ^b	۱/۶۴۰ ^{bc}
قرمز ۸۴٪ + آبی ۱۶٪	۷/۷۴۵ ^{cd}	۰/۱۲۵ ^c	۳۴۴/۵۰۰ ^b	۱/۴۴۵ ^{cd}
قرمز ۱۰۰٪	۷/۳۵۰ ^{cd}	۰/۱۲۳ ^c	۳۱۵/۰۰۰ ^c	۱/۲۷۰ ^{de}

حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد، بر اساس آزمون دانکن، می‌باشد.

بحث

رشد گیاه و فیزیولوژی آن به شدت تحت تأثیر طیف نوری محیط رشد قرار دارد، اما مکانیسم و جزئیات اثرات مختلف طیف نور در رشد گیاه شناخته شده نیست. اگرچه دخالت گیرنده‌های نوری و وابستگی آن‌ها به پاسخ‌های گیاه اثبات شده است، اما به نظر می‌رسد که رشد می‌تواند حاصل برهمکنش‌های مختلف و هم‌زمان گیرنده‌های نور آبی، قرمز و فیتوکروم‌ها باشد که بسته به نوع گونه گیاهی باعث افزایش یا کاهش رشد می‌شود (Kim et al., 2004). نور به عنوان یکی از پارامترهای محیطی نقش بسزایی در رشد و نمو گیاهان دارد. کنترل و تنظیم شدت، کیفیت و زمان در معرض قرار گرفتن نور بسیاری از فرآیندهای گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طیف‌های مختلف نوری بر رشد و نمو و کیفیت بافت‌ها و اندام‌های گیاه اثر بخشی متفاوت دارند (Olle & Viršile, 2013; Yu et al., 2017). نور قرمز بر رشد و توسعه اندام‌های رویشی، فتوستتز، سیستم انتقال الکترون و کارایی فتوشیمیایی موثر است (Yu et al., 2017). افزایش نسبت ورودی نور قرمز در گیاهان هشدار برای رشد و گلدهی گیاه در نظر گرفته می‌شود (Cerdán & Chory, 2003). نتایج حاصل از این پژوهش نیز نشان داد که کاربرد نور قرمز موجب کاهش معنی‌دار دمبرگ، سطح برگ، تعداد گل، طول دمگل، تعداد روندک، طول روندک، قطر طوقه و تعداد برگ نسبت به سایر تیمارهای نوری شد (جدول ۲). نورهای LED قرمز و آبی می‌تواند به منظور بهبود مورفولوژی گیاه مورد استفاده قرار گیرد (Fan et al., 2013). تیمار نور تکمیلی آبی، همراه با نور خورشید باعث کشیدگی بیشتر دمبرگ و ساقه گل در مقایسه با شاهد و نور تکمیلی قرمز شد. این اثر را می‌توان با نقش مثبت نور آبی در فرآیندهای طولی شدن سلول و ارتقای کشیدگی عمودی ساقه به عنوان بخشی از مکانیسم‌هایی که گیاهان برای اجتناب از سایه سایر گیاهان مجاور اتخاذ می‌کنند توضیح داد (Huche-Thelie et al., 2016). در بررسی تأثیر کیفیت نور بر ویژگی‌های مورفولوژیکی توت‌فرنگی، تیمارهای نوری تأثیر معنی‌داری بر تعداد روندک داشتند و بیشترین تعداد روندک در تیمار نور آبی و کمترین آن در تیمار شاهد به دست

آمد (Naznin et al., 2016; Uddin et al., 2018). در مطالعه حاضر نیز استفاده از نور آبی ۱۰۰٪ باعث افزایش ۲۰۰ درصدی تعداد روندک و ۱۳۱/۳۶ درصدی طول روندک شد (جدول ۲).

برای دستیابی به عملکرد بالا تخصیص کربوهیدرات بیشتر به میوه بسیار مهم است. در پژوهشی با بررسی اثر نور قرمز و آبی در توت‌فرنگی مشخص شد گیاهانی که تحت تیمار نور آبی قرار داشتند در مقایسه با تیمار شاهد و قرمز درصد تشکیل میوه در آنها بالاتر بود (Nadalini et al., 2017). در پژوهش‌های دیگر نیز تولید زیست‌توده بالاتر، درصد تشکیل میوه بیشتر و در نتیجه عملکرد نهایی بالاتر در توت‌فرنگی‌های تیمار شده با نور آبی در مقایسه با گیاهان تیمار نور قرمز گزارش شده است (Choi et al., 2018; Samuoliene et al., 2010). در پژوهشی که روی توت‌فرنگی رقم دائوانگ تحت تیمار نورهای تکمیلی قرمز، آبی و ترکیب قرمز و آبی، در دو محیط اتاقک رشد و گلخانه انجام شد مشخص گردید که نور آبی در افزایش عملکرد توت‌فرنگی‌های رشد یافته در گلخانه پلاستیکی، نسبت به گیاهان رشد یافته در نور طبیعی خورشید مؤثرتر بود (Choi et al., 2015) که با نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نور با تأمین انرژی مورد نیاز فتوسنتز، به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد و نمو گیاهان در نظر گرفته می‌شود. در میان طیف‌های مختلف نوری، ترکیب نور قرمز و آبی، کارآمدترین منبع نور برای تولید محصولات است، که به‌عنوان یک سیگنال مهم برای تحریک ژن‌های مربوط به رشد و نمو گیاهان نقش خود را ایفا می‌کند (Guidi et al., 2017). پاسخ‌های فتوسنتزی گیاه کاملاً تحت تأثیر طیف‌های نوری دریافتی است، و تغییرات بسیاری در فلورسانس کلروفیل ایجاد می‌شود که اولین سیگنال ثبت‌شده در آن مرحله O و شدت آن F_0 در نظر گرفته می‌شود. نوری که جذب می‌شود به مرکزهای واکنش فتوسیستم دو منتقل می‌شود. با شکسته شدن دو مولکول آب، یک مولکول اکسیژن آزاد شده و سیستم به حالت بسته درمی‌آید. به عبارت دیگر، کوئینون A به‌عنوان اولین پذیرنده الکترون فتوسیستم دو با دریافت یک الکترون به حداکثر حالت احیا رسیده و تا زمانی که این الکترون به کوئینون B نرسد کوئینون A نمی‌تواند الکترون دیگری دریافت نماید و در طول این مدت مرکز واکنش بسته است. با بسته شدن مراکز واکنش، عملکرد سیستم فتوشیمیایی کاهش یافته و فلورسانس افزایش می‌یابد. بالاترین میزان F_0 نشانگر عدم کارایی فتوسیستم دو و بسته شدن مراکز واکنش می‌باشد (Papageorgiou et al., 2007; Falqueto et al., 2017). پارامتر TR_0/RC نشان‌دهنده نرخ الکترون‌های برانگیخته به دام افتاده به‌وسیله مراکز واکنش باز و احیای کوئینون A است. بالاترین میزان برانگیختگی الکترون در نور قرمز رخ می‌دهد، اما در این نور میزان انتقال الکترون در پذیرنده‌های آن در محل اتصال به پروتئین D1 دچار مشکل شده و انتقال الکترون به‌درستی انجام نمی‌گیرد (Parvanova et al., 2004). زمانی که گیاه تحت تأثیر نور قرمز قرار می‌گیرد فتوسنتز دچار مشکل شده و این موضوع باعث ایجاد پدیده سندروم نور قرمز در گیاه می‌شود. از علائم سندروم نور قرمز می‌توان به نرخ پایین F_v/F_m ، هدایت روزنه‌ای کم، ظرفیت پایین فتوسنتزی و رشد نامناسب در برگ‌ها اشاره نمود (Hogewoning et al., 2010). احتمالاً کاهش رشد مشاهده‌شده در تیمار نور قرمز به دلیل سندرم نور قرمز باشد، اگرچه بررسی ابعاد مختلف تیمارهای نوری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و تبادلات روزنه‌ای نیاز به بررسی بیشتری دارد (جدول‌های ۴ و ۸). به نظر می‌رسد در گیاهانی که فقط در معرض نور قرمز بودند، عمل فتوسنتز در سطوح مختلف عملکردی، از تیلاکوئیدها تا سلول‌های روزنه تحت تأثیر قرار گرفته است (Trouwborst, et al., 2016). عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی در نور تک طیف قرمز کاهش یافته و این نور باعث اختلال در روند انتقال الکترون می‌شود (Aliniaiefard et al., 2018). در آزمایشی که روی نهال‌های هندوانه پیوندی انجام شد، مشخص شد که کارایی فتوسنتز تحت تیمار نور تک طیف قرمز کاهش می‌یابد و افزودن نور آبی به نور قرمز بر افزایش عملکرد فتوسنتز مؤثر است (Moosavi-Nezhad et al., 2021). مطالعه دیگری که روی گل شاخه بریده همیشه‌بهار انجام شد، نشان داد که نور تک طیف قرمز به‌شدت بر کاهش کارایی فتوسنتز اثرگذار است (Aliniaiefard et al., 2018). در گل شاخه بریده میخک نیز افزایش حداکثر بازده کوانتومی فتوسیستم دو، تحت تأثیر نور آبی نسبت به نور قرمز گزارش شد (Aalifar et al., 2020). بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، میزان فتوسنتز در نور قرمز ۱۰۰٪، کاهش داشت، اما افزودن نور آبی به آن در تیمارهای دیگر باعث افزایش میزان فتوسنتز

شد (جدول ۸). نور آبی بر افزایش انتقال الکترون اثرگذار است، و نور قرمز در کاهش کارایی فتوسیستم ها و مهار انتقال الکترون از اهداکننده فتوسیستم دو به فتوسیستم یک نقش به سزایی دارد، بنابراین میزان فتوسنتز را با افزودن نور آبی بهبود بخشید (Miao et al., 2016). باز و بسته شدن روزنه‌ها با کیفیت نور، خصوصاً نور آبی مرتبط است (Shimazaki et al., 2007; Sabzalian et al., 2014) و این موضوع می‌تواند روی اندازه و ارتفاع گیاهان اثرگذار باشد و سبب تغییر مقدار آب در بافت های گیاهی شود (Sabzalian et al., 2014).

در این پژوهش غلظت کلروفیل تحت تأثیر طیف‌های مختلف نور مورد بررسی قرار گرفت. کلروفیل رنگیزه اصلی فتوسنتزی است که به دریافت انرژی از نور کمک نموده و باعث ایجاد رنگ سبز در گیاهان می‌گردد. علاوه بر آن، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها نیز نقش حمایت‌کننده‌ای در فتوسنتز بر عهده دارند. کاروتنوئیدها باعث ایجاد رنگ‌های زرد و نارنجی در گیاهان می‌شوند. گیاهان برای سازگاری با رژیم‌های مختلف نوری تولید کلروفیل را تغییر می‌دهند (Hernández & Kubota, 2014). تأثیر کیفیت نور بر نمو کلروپلاست به گونه گیاهی، شدت نور و نوع سلول‌ها بستگی دارد (Ramalho et al., 2002). همچنین، نور با سنتز کلروفیل رابطه تنگاتنگی دارد (Whatley & Whatley, 1982)، به‌طوری که کلروفیل پیوسته در حضور نور سنتز شده و از بین می‌رود (Kramer & Kozlowski, 1979). نور آبی در مراحل اولیه نمو گیاه برای توسعه کلروپلاست و تشکیل کلروفیل در تیلاکوئیدها ضروری است. نور آبی از طریق گیرنده‌های نوری کریپتوکروم و فتوتورپین دریافت شده و باعث افزایش ساخت کلروفیل می‌شود (Hernández & Kubota, 2014). ممکن است القای سنتز کلروفیل و کاروتنوئید در برگ‌ها تحت تأثیر نور آبی باشد (Chen et al., 2014). تغییر در نسبت نورهای LED قرمز و آبی سبب افزایش غلظت کلروفیل در *Tripterospermum japonicum* شده است (Moon et al., 2006). در کلم بروکلی (Kopsell & Sams, 2013)، اسفناج (Li & Kubota, 2009) و دانهال کلم (Mizuno et al., 2009) استفاده از نور آبی باعث افزایش غلظت کلروفیل و کاروتنوئید شد. نوردهی تکمیلی اثر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید کل داشت. بیشترین افزایش با استفاده از نور تکمیلی آبی ۱۰۰٪ مشاهده شد که باعث افزایش ۱۰۷/۶۰ درصدی کلروفیل a، ۱۸۷/۱۱ درصد کلروفیل b، ۱۳۲/۸۷ درصدی کلروفیل کل و ۱۸۶/۲۵ کاروتنوئید برگ نسبت به تیمار شاهد شد. تیمار نور قرمز ۱۰۰٪ اگرچه باعث افزایش میزان کلروفیل و کاروتنوئید نسبت به تیمار شاهد شد، اما این تفاوت معنی‌دار نبود. همچنین، تیمار نور آبی ۵۰٪ و قرمز ۵۰٪، پس از آبی ۱۰۰٪، بهترین پاسخ را در افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد و باعث افزایش معنی‌دار این صفات نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۶). گیاهان رشد یافته در نور آبی ویژگی‌های فتوسنتزی شبیه به گیاهان رشد یافته تحت تابش بالا را نشان می‌دهند، به‌طور مثال می‌توان به نسبت بالای کلروفیل a/b و سایتوکروم f بالاتر اشاره نمود (Matsuda et al., 2008). در گزارش مشابهی محتوای کلروفیل در برگ با افزایش میزان نور آبی افزایش یافت (Huche-Thelier et al., 2016). کاروتنوئید که یکی از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی با وزن مولکولی کم است جهت محافظت اندامک‌های فتوسنتزی از اکسیداسیون نوری اهمیت داشته و باعث کاهش اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود. گونه‌هایی که بتوانند محتوای کاروتنوئید بیشتری داشته باشند، در مقابل تنش‌های غیر زیستی و گونه‌های فعال اکسیژن مقاومت بیشتری نشان می‌دهند (Noctor & Foyer, 1998).

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهای نوردهی تکمیلی به‌طور معنی‌داری بر تمام صفات مورد مطالعه در توت‌فرنگی اثرگذار بود. بوته‌های با نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ و ترکیبی قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪ دارای بیشترین تعداد برگ، طول دمبرگ، سطح برگ، تعداد گل، تعداد روندک و قطر طوقه بودند. همچنین، بیشترین نرخ فتوسنتز و تبادلات گازی، غلظت کلروفیل و کاروتنوئید نیز در این بوته‌ها مشاهده شد. با توجه به وجود شواهد مثبت مبنی بر اثرگذاری نورهای تکمیلی بر گیاهان و نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت استفاده از نورهای تکمیلی ضمن کنترل رشد گیاه، فتوسنتز را بهبود بخشیده و از

این طریق به افزایش عملکرد و کیفیت میوه کمک می‌نماید. بنابراین، می‌توان از تیمارهای نور تکمیلی به‌عنوان یک روش برای تجمع این مواد و تولید محصولات باکیفیت بدون استفاده از مواد شیمیایی بهره برد.

سیاسکزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه بوعلی سینا انجام شده است که بدین‌وسیله تقدیر و قدردانی می‌گردد.

منابع

آمارنامه کشاورزی (۱۴۰۲). آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱ - گزارش محصولات باغی، قارچ و گلخانه‌ای (جلد سوم). مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات.

REFERENCES

- Aalifar, M., Aliniaiefard, S., Arab, M., Zare Mehrjerdi, M., Dianati Daylami, S., Serek, M., ... & Li, T. (2020). Blue light improves vase life of carnation cut flowers through its effect on the antioxidant defense system. *Frontiers in Plant Science*, 11, 511.
- Aliniaiefard, S., Seif, M., Arab, M., Zare Mehrjerdi, M., Li, T. & Lastochkina, O. (2018). Growth and photosynthetic performance of *Calendula officinalis* under monochromatic red light. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 5(1), 123-132.
- Agricultural Statistics (2023). Agricultural Statistics of 1401 - Report of Orchard, Mushroom and Greenhouse Products (3rd volume). Center for Statistics, Information and Communication Technology.
- Cerdán, P.D. & Chory, J. (2003). Regulation of flowering time by light quality. *Nature*, 423(6942), 881-885.
- Chen, X.L., Guo, W.Z., Xue, X.Z., Wang, L.C., & Qiao, X.J. (2014). Growth and quality responses of 'Green Oak Leaf' lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Scientia Horticulturae*, 172, 168-175.
- Choi, H.G., Jeong, H.J., Choi, G.L., Choi, S.H., Chae, S.C., Ann, S.W., ... & Kang, N.J. (2018). Effects of supplemental LED lighting on productivity and fruit quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) grown on the bottom bed of the two-bed bench system. *Journal of Bio-Environment Control*, 27(3), 199-205.
- Choi, H.G., Moon, B.Y. & Kang, N.J. (2015). Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Scientia Horticulturae*. 189: 22-31.
- Chong, L., Ghatte, V., Zhou, W. & Yuk, H.G. (2022). Developing an LED preservation technology to minimize strawberry quality deterioration during distribution. *Food Chemistry*, 366, 130566.
- Codrea, M.M., Valdivieso, T., Oliveira, C.M., Mitre, V., Oliveira, P.B. & Palha, M.G. (2021). The effect of LED illumination on flower differentiation of strawberry short-day cultivars in winter production season. *Acta Horticulturae*, 1309: 653-658.
- Díaz-Galián, M.V., Torres, M., Sanchez-Pagán, J.D., Navarro, P.J., Weiss, J. & Egea-Cortines, M. (2021). Enhancement of strawberry production and fruit quality by blue and red LED lights in research and commercial greenhouses. *South African Journal of Botany*, 140, 269-275.
- Falqueto, A.R., da Silva Júnior, R.A., Gomes, M.T.G., Martins, J.P.R., Silva, D.M. & Partelli, F.L. (2017). Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones. *Scientia Horticulturae*, 224, 238-243.
- 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(9), 2721-2726.
- FAO (2023). Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/statistics/en>

- Galli, V., da Silva Messias, R., Perin, E.C., Borowski, J.M., Bamberg, A.L. & Rombaldi, C.V. (2016). Mild salt stress improves strawberry fruit quality. *LWT – Food Science and Technology*, 73, 693–699. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.001>.
- Guidi, L., Tattini, M. & Landi, M. (2017). How does chloroplast protect chlorophyll against excessive light. *Chlorophyll*, 21, 21-36.
- Hancock, J.F. (1999) Strawberry. CABI publishing, New York.
- 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.
- Hidaka, K., Dan, K., Miyoshi, Y., Kitano, M. & Okimura, M. (2013). Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry. *Environmental Control Biology*, 51(1), 41-47.
- 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(11), 3107-3117.
- Huche-Thelie, L., Crespel, L., Le Gourrierec, J., Morel, P., Sakr, S. & Leduc, N. (2016). Light signaling and plant responses to blue and UV radiations—Perspectives for applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 22-38.
- Kim, H.H., Goins, G.D., Wheeler, R.M. & Sager, J. C. (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 39(7), 1617-1622.
- Kopsell, D.A. & Sams, C.E. (2013). Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(1), 31-37.
- Kramer, P.J. & Kozlowski, T. (1979). Physiology of Woody Plant. New York, Academic Press. 811 pp.
- Li, Q. & Kubota, C. (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 59-64.
- Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., & Kurata, K. (2008). Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO₂ assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves. *Plant and Cell Physiology*, 49(4), 664-670.
- Miao, Y.X., Wang, X.Z., Gao, L.H., Chen, Q.Y. & Mei, Q.U. (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.
- Mizuno, T., Amaki, W. & Watanabe, H. (2009). Effects of monochromatic light irradiation by LED on the growth and anthocyanin contents in leaves of cabbage seedlings. *Acta Horticulturae* 907, 179-184.
- Mochizuki, Y., Sekiguchi, S., Horiuchi, N., Aung, T. & Ogiwara, I. (2019). Photosynthetic characteristics of individual strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) leaves under short-distance lightning with blue, green, and red LED lights. *HortScience*, 54(3), 452-458.
- Moon, H.K., Park, S.Y., Kim, Y.W. & Kim, C.S. (2006). Growth of Tsuru-rindo (*Tripterospermum japonicum*) cultured in vitro under various sources of light-emitting diode (LED) irradiation. *Journal of Plant Biology*, 49(2), 174-179.
- Moosavi-Nezhad, M., Salehi, R., Aliniaefard, S., Tsaniklidis, G., Woltering, E. J., Fanourakis, D., ... & Kalaji, H.M. (2021). Blue light improves photosynthetic performance during healing and acclimatization of grafted watermelon seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(15), 8043.
- Nadalini, S., Zucchi, P. & Andreotti, C. (2017). Effects of blue and red LED lights on soilless cultivated strawberry growth performances and fruit quality. *European Journal of Horticultural Science*, 82(1), 12-20.

- Naznin, M.T., Lefsrud, M., Gravel, V. & Hao, X. (2016). Using different ratios of red and blue LEDs to improve the growth of strawberry plants. *Acta Horticulturae*, 1134: 125-130.
- Noctor, G. & Foyer, C.H. (1998). Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Biology*, 49(1), 249-279.
- Olle, M. & Viršile, A. (2013). The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*, 22(2), 223-234.
- Ouzounis, T., Fretté, X., Rosenqvist, E. & Ottosen, C.O. (2014). Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. *Journal of Plant Physiology*, 171(16), 1491-1499.
- Papageorgiou, G.C., M. Tsimilli-Michael, and K. Stamatakis. (2007). The fast and slow kinetics of chlorophyll a fluorescence induction in plants, algae and cyanobacteria: a viewpoint. *Photosynthesis Research* 94, 275-290.
- Parvanova, D., Popova, A., Zaharieva, I., Lambrev, P., Konstantinova, T., Taneva, S., Atanasov, A., Goltsev, V. & Djilianov, D. (2004). Low temperature tolerance of tobacco plants transformed to accumulate proline, fructans, or glycine betaine. Variable chlorophyll fluorescence evidence. *Photosynthetica*, 42, 179-185.
- Porra, R.J., Thompson, W.A. & Kriedemann, P.E. (1989). Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectrometry. *Biochimica et Biophysica Acta*, 975, 384-394.
- Ramvalho, J., Marques, N., Semedo, J., Matos, M. & Quartin, V. (2002). Photosynthetic performance and pigment composition of leaves from two tropical species is determined by light quality. *Plant Biology*, 4, 112-120.
- Rantanen, M., Kurokura, T., Mouhu, K., Pinho, P., Tetri, E., Halonen, L., Palonen, P., Elomaa, P. & Hytonen, T. (2014). Light quality regulates flowering in FvFT1/FvTFL1 dependent manner in the woodland strawberry *Fragaria vesca*. *Frontiers in Plant Science*, 5, 271.
- Sabzalian, M.R., Heydarizadeh, P., Zahedi, M., Boroomand, A., Agharokh, M., Sahba, M.R. & Schoefs, B. (2014). High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 879-886.
- Samuoliene, G., Brazaityte, A., Urbonavičiūtė, A., Sabajeviene, G. & Duchovskis, P. (2010). The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. *Zemdirbyste-Agriculture*. 97(2), 99-104.
- Shimazaki, K. I., Doi, M., Assmann, S.M. & Kinoshita, T. (2007). Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant Biology*, 58, 219-247.
- Shohael, A.M., Ali, M.B., Yu, K.W., Hahn, E.J., Islam, R. & Paek, K. Y. (2006). Effect of light on oxidative stress, secondary metabolites and induction of antioxidant enzymes in *Eleutherococcus senticosus* somatic embryos in bioreactor. *Process Biochemistry*, 41(5), 1179-1185.
- Takeda, F., Glenn, D. M., Callahan, A., Slovin, J. & Stutte, G.W. (2010). Delaying flowering in short-day strawberry transplants with photoselective nets. *International Journal of Fruit Science*, 10(2), 134-142.
- Trouwborst, G., Hogewoning, S.W., van Kooten, O., Harbinson, J. & van Ieperen, W. (2016). Plasticity of photosynthesis after the 'red light syndrome' in cucumber. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 75-82.
- Uddin, A.J., Hoq, M.Y., Rini, S.N., Urme, F.B.R. & Ahmad, H. (2018). Influence of supplement LED spectrum on growth and yield of Strawberry. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 16, 1348-1355.
- Wei, H., Liu, C., Hu, J., & Jeong, B.R. (2020). Quality of supplementary morning lighting (SML) during propagation period affects physiology, stomatal characteristics, and growth of

- strawberry plants. *Plants*, 9(5), 638.
- Whatley, J.M., & Whatley, F.R. (1982). *A luz ea vida das plantas* (Vol. 30 of Temas de Biologia). EPU: EDUSP.
- Wu, C.C., Yen, Y.H., Chang, M.Y. & Fang, W. (2012). Effects of light quality and CO₂ concentration on diurnal photosynthetic characteristics of strawberry. *Acta Horticulturae*, 956, 247-253.
- Yoneda, A., Yasutake, D., Hidaka, K., Muztahidin, N.I., Miyoshi, Y., Kitano, M., & Okayasu, T. (2020). Effects of supplemental lighting during the period of rapid fruit development on the growth, yield, and energy use efficiency in strawberry plant production. *International Agrophysics*, 34(2), 233-239.
- Yu, W., Liu, Y., Song, L., Jacobs, D., Du, X., Ying, Y., Shao, Q. & Wu J. (2017). Effect of differential light quality on morphology, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity in *Camptotheca acuminata* seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36, 148-160.
- Zahedi S.M. & Sarikhani H. (2016). Effect of far-red light, temperature, and plant age on morphological changes and induction of flowering of a June-bearing strawberry. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57 (4), 340-347.
- Zahedi, S.M. & Sarikhani, H. (2017). The effect of end of day far-red light on regulating flowering of short-day strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Paros) in a long-day situation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 64, 83–90.
- Zheng, J., He, D., & Ji, F. (2019). Effects of light intensity and photoperiod on runner plant propagation of hydroponic strawberry transplants under LED lighting. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(6), 26-31.