The effect of supplementary light quality on the morphological and photosynthetic characteristics of strawberry plants, cv. Camarosa in autumn/winter short day conditions

Abstract

Insufficient luminous flux, coupled with reduced daylight duration during the autumn and winter seasons, along with inter-plant shading in certain cultivation setups, represents a constraint for off-season strawberry greenhouse production. The present study aimed to investigate the impact of supplementary light quality on morphological and photosynthetic traits of strawberry plants, cv. Camarosa, under greenhouse conditions. The experiment was designed as a completely randomized design and the plants were subjected to supplementary treatments with sunlight. Results demonstrated that plants exposed to 100% blue light and 50% red + 50% blue light had the highest growth indices, whereas the control plants and those exposed to 100% red light had the lowest growth indices. The highest amount of total chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid were observed in supplementary exposure of 100% blue and 50% red + 50% blue, while the lowest concentration of chlorophyll was observed in the control and 100% red light. The highest rate of photosynthesis was observed in plants with 100% blue light and 50% red + 50% blue light, while the control plants showed the lowest rate. Therefore, the results provide evidence that supplementary exposure using LEDs can activate the metabolic pathways related to the production of photosynthetic pigments, while improving stomatal exchanges and increasing the rate of photosynthesis, it improves the relative growth and morphological characteristics of Camarosa cultivar of strawberry plants.

Keywords: *strawberry, stomatal conductivity, LED light,number of flowers,fruit weight.*

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

چکیده

کشت توت‌فرنگی در گلخانه‌ها در خارج از فصل، اغلب به دلیل شدت پایین نور و طول روزکوتاه و همچنین سایه‌اندازی گیاهان روی یکدیگر در برخی از سیستم‌های کشت محدود می‌شود. پژوهش حاضر به‌منظور 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 قرمز۱۰۰٪، نور آبی۱۰۰٪، نور قرمز ۸۳٪ + نور آبی ۱۷٪، نور قرمز ۶۷٪ + نور آبی ۳۳٪، نور قرمز ۵۰٪ + نور آبی ۵۰٪ و شاهد به‌صورت تکمیلی به همراه نور خورشید (۸۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه) در طول روز قرار گرفتند. نتایج نشان داد بالاترین شاخص‌های رشدی در بوته‌های با تیمار نوردهی تکمیلی آبی۱۰۰٪ 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 *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئید در نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ و قرمز ۵۰٪ + آبی ۵۰٪ مشاهده شد. درحالی‌که کمترین غلظت کلروفیل در شاهد و نور قرمز ۱۰۰٪ مشاهده گردید. 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 می‌دهد که نوردهی تکمیلی می‌تواند باعث فعال شدن مسیرهای متابولیکی مرتبط با تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی شده و ضمن بهبود تبادلات روزنه‌ای و نرخ فتوسنتز، باعث بهبود رشد نسبی و ویژگی‌های مورفولوژیکی بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا شود.

واژه‌های کلیدی: *توت‌فرنگی، هدایت روزنه ای. ال ای دی، تعداد گل، وزن میوه.*

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) یک محصول با ارزش و یکی از پرمصرف‌ترین میوه‌های جهان است که به دلیل طعم و ارزش غذایی، افزایش تقاضا برای تولید و مصرف آن، به یکی از اهداف بهبود ترکیبات غذایی و عملکردی تبدیل شده است و

تقاضا برای تولید آن رو به افزایش است (Chong et al., 2022). بر اساس آمار سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) تولید توت‌فرنگی جهان در ۲۰ سال گذشته بیش از ۸۰ درصد افزایش‌یافته و به بیش از ۸/۹ میلیون تن در سال ۲۰۲۳ رسیده است. کشور چین بزرگترین تولید کننده توت فرنگی 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 بیشترین عملکرد در واحد سطح را دارد 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 دارد (FAO, 2023). در حال حاضر مجموع سطح زیر کشت توت فرنگی در کشور ۵۳۰۰ هکتار است. از این میزان حدود ۴۰۰ تا ۴۵۰ هکتار مربوط به کشت‌های گلخانه‌ای است و 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 ۳۷هکتار در جایگاه‌های بعدی قرار دارند (Anonymous, 2023). توت‌فرنگی غنی از ترکیبات غذایی و آنتی‌اکسیدانی است که برخی از این ترکیبات 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 توسعه‌یافته است (Nadalini et al., 2017). استفاده از محیط‌های کنترل شده به پرورش‌دهندگان توت‌فرنگی این فرصت را می‌دهد که در تمام طول سال و به‌ویژه در خارج از فصل، میوه تولید کنند. اگرچه ارقام توت‌فرنگی از نظر گل انگیزی به ارقام روزکوتاه، روزخنثی و بدون واکنش به طول روز تقسیم‌بندی می شوند، اما همه این ارقام برای رشد رویشی به طول روزبلند و برای گلدهی و تشکیل میوه مطلوب، به طول روز، دما و همچنین شدت نور مطلوب نیاز دارند (Hancook, 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 فتومورفوژنز در گونه‌های توت‌فرنگی نقش مهمی دارد (Zahedi and Sarikhani, 2016 and 2017; Mochizuki et al., 2019; Choi et al., 2018).

نور نه‌تنها منبع اصلی انرژی لازم برای گیاهان است، بلکه یک سیگنال مهم است که نقش عمده‌ای در رشد گیاه، ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیان برخی از ژن‌ها طی دوره‌ی رشد گیاه دارد (Huche-Thelier et al., 2016). فتوسنتز یک فرآیند اکسیدا سیون–احیای وابسته به نور است و انرژی لازم برای تحریک واکنش فتوسنتزی از نور تأمین می شود (Shohael et al., 2006). شدت نور دارای اثر هم‌افزایی بر فتوسنتز گیاهان با سایر عوامل مانند غلظت دی‌اکسید کربن، رطوبت، دما و... 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 رنگدانه های کلروفیل، سایر رنگدانه های گیاهی مانند کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها نیز قادر به دریافت نور هستند. همه این رنگدانه‌ها طیف جذبی متفاوتی دارند که به گیاهان اجازه می‌دهد طیف وسیعی از نور را جذب کنند. بااین‌حال پارامتر نور به‌عنوان منبع اصلی انرژی برای فتوسنتز، سیگنال‌هایی در فرآیندهای بیان ژن، فیزیولوژی، مورفولوژی و متابولیسم ایجاد می‌کند و پاسخ گیاهان به نور با عملکرد گیرنده‌های نوری مشخص می‌شود (Ouzounis et al., 2014).

توت‌فرنگی رقم کاماروسا یک گیاه روزکوتاه 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 زیادی در ارتباط با استفاده از منابع مختلف نوری برای نوردهی گیاهان در شرایط کنترل‌شده به‌ویژه توت‌فرنگی انجام‌شده است. با معرفی دیودهای ساطع کننده نور (LED)، استفاده از این منابع نوری برای اهداف مختلف، گسترش بسیار بیشتری پیداکرده است (Nadalini et al., 2017; Choi et al., 2015). مطالعات انجام‌شده در مورد تأثیر نور LED که اخیراً در گلخانه‌ها و مراکز پرورش گیاهان موردتوجه قرارگرفته است، تأثیر طول‌موج 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 که به دلیل عدم استفاده از مواد شیمیایی نیز حائز اهمیت است (Zheng et al., 2019). استفاده از نور مصنوعی در شرایط رشد محافظت‌شده نیز برای تحت تأثیر قرار دادن جنبه‌های مربوط به فیزیولوژی محصول، مانند مرحله‌ی انتقال بین رشد رویشی و زایشی در توت‌فرنگی با استفاده از مدت‌زمان 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 متعدی موردبررسی قرارگرفته است و 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، نوردهی مصنوعی برای بهبود ویژگی‌های رشد و نمو موردبررسی قرارگرفته 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 برخی نیز معتقدند که در صورت استفاده از نور قرمز، درصد کمی نور آبی 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 طویل شدن سلول و ارتقای کشیدگی عمودی ساقه به‌عنوان بخشی از مکانیسم‌هایی که گیاهان برای اجتناب از سایه سایر گیاهان همسایه اتخاذ می‌کنند توضیح داد (Huche-Thelier et al., 2016). Uddin و همکاران (۲۰۱۸) و Naznin و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر کیفیت نور بر ویژگی‌های مورفولوژیکی توت‌فرنگی مشاهده کردند که 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.

Wu و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده کردند که محتوای کلروفیل تحت تیمار نور قرمز کاهش یافت اما ترکیب نور قرمز، آبی و سبز بیشترین میزان کلروفیل را داشت. در مقابل Samuoliene و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند محتوای کلروفیل کل در تیمار نور قرمز در توت‌فرنگی رقم الکات افزایش یافت. نور آبی به‌طور قابل‌توجهی محتوای کلروفیل در برگ‌ها را در مقایسه با شاهد افزایش داد. Choi و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثر سه طول‌موج 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 کردند که نور آبی برای تجمع کلروفیل در برگ‌های توت‌فرنگی نمونه‌برداری شده ۱۵ روز قبل از برداشت میوه اثر کمتری دارد. Wei و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی اثر نورهای تکمیلی آبی، قرمز، ترکیب قرمز و آبی و سفید بر گیاه توت‌فرنگی، مشاهده کردند که نوردهی تکمیلی با نور آبی، قرمز و ترکیب قرمز و آبی به‌طور قابل‌توجهی محتوای کلروفیل را افزایش دادند.

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 به طوریکه هیچ گونه علایم کمبود عناصر غذایی در بوته های مورد آزمایش مشاهده نشد و بوته ها از رشد مطلوبی تا پایان فصل رشد برخوردار بودند. لازم به توضیح است خروجی آب زهکش ها در هر مرحله آبیاری با توجه به تخلل مناسب بستر کشت ۲۵– ۳۵ درصد بود. در زمان انجام آزمایش، متوسط دمای روز گلخانه ۲۵ و دمای شب گلخانه ۱۵درجهٔ سلسیوس بود. همچنین، رطوبت نسبی ۷۰ درصد، دوره‌ی روشنایی طبیعی آن ۱۱ ساعت/ ۱۳ساعت (روز/ شب) و شدت نور طبیعی آن۸۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود.

تیمارهای آزمایشی

آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی دارای شش تیمار و در سه تکرار انجام شد. به‌منظور بررسی اثر کیفیت نور تکمیلی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فتو سنتزی بوته‌های توت‌فرنگی، گیاهان تحت تیمارهای نوردهی شامل: ۱–نور قرمز ۱۰۰٪ (با طول‌موج ۶۶۰ نانومتر)، ۲– نور آبی ۱۰۰٪ (با طول‌موج 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 دیودهای 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 بوته ها 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 موردبررسی و نحوه‌ی اندازه‌گیری آن‌ها

پس از اتمام دوره‌ی 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 میوه ها به صورت تجمعی در دوره اندازه‌گیری شد. از برگ‌ها توسط دستگاه اسکنر اچ پی HP Scanjet G2410 تصویربرداری انجام شد و با استفاده از نرم‌افزار Image-J (USA Image J Software version 1/42e.) سطح برگ‌ها محاسبه 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 سپس میانگین گرفته شد. برای اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی از روش Porra و همکاران (۱۹۸۹) استفاده شد. بدین‌صورت که ابتدا مقدار ۰/۲۵ گرم نمونه برگ تازه در هاون چینی با استفاده از ازت مایع پودر شده و با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ همگن گردید. سپس عصاره حاصله به مدت ۵ دقیقه با ۱۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و محلول رویی برای اندازه‌گیری جذب استفاده شد. حجم نهایی عصاره گیاه با استون ۸۰٪ به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس جذب نمونه‌ها در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۴ نانومتر به ترتیب برای کلروفیل a و bو همچنین طول‌موج ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-1280, Shimadzu, Japan) اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه‌های زیر میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید بر اساس میلی‌گرم در لیتر محاسبه گردید:

رابطه ۱) $Chl_a = (12/25 \times A_{664}) - (2/55 \times A_{645})$

رابطه ۲) $Chl_b = (20/13 \times A_{645}) - (4/91 \times A_{664})$

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

رابطه ۴) $Chl_{CAR} = (1000 \times A_{470} - 1/82 \times Chl_a - 85/02 \times Chl_b) / 198$

در نهایت با استفاده از رابطه‌ی زیر غلظت رنگیزه‌ها در نمونه‌ی برگ بر اساس میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ محاسبه شد:

رابطه ۵) رنگیزه برگ (میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) = $(C_x \times V_e \times D) / (W_s \times 1000)$

که در این رابطه، C_x غلظت محاسبه شده هر رنگیزه در عصاره (میلی‌گرم در لیتر)، V_e حجم کل عصاره (میلی‌لیتر)، D فاکتور رقت و W_s وزن‌تر نمونه برگ (گرم) است.

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)، CO_2زیر روزنه‌ای (میلی مول) با ا ستفاده از د ستگاه فتو سنتزمتر (Lci T, ADC BioScientific, Ltd., Hudson, UK) اندازه‌گیری شد. کارایی مصرف آب نیز با تقسیم فتوسنتز بر تعرق محاسبه شد.

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 پژوهش

ویژگی‌های مورفولوژیکی

اثر تیمارهای نوری بر طول دمبرگ، سطح برگ، طول دمگل، تعداد روندک، طول روندک و قطر طوقه در سطح ۱ درصد و بر تعداد برگ در سطح ۵ 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، ۱۳۱/۳۶درصدی طول روندک و ۱۴۹/۵۵ درصدی قطر طوقه نسبت به گیاهان شاهد (عدم نوردهی) شد. بین تیمار نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ و تیمار 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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		تعداد برگ	طول دمبرگ	سطح برگ	طول دم‌گل	تعداد روندک	طول روندک	قطر طوقه
کیفیت نور	۵	۳۱/۱۶۶*	۲۳/۰۳۸**	۱۷۳۰۷۵۰**	۷/۰۲**	۱۲/۰۴**	۲۸۳/۸۶**	۶/۰۶**
خطای آزمایشی	۱۸	۲/۶۳	۰/۸۸	۴۹۸۸۷	۰/۹۱	۰/۶۵	۴/۲۵	۰/۱۸
ضریب تغییر	–	۱۱/۰۷	۶/۹۹	۶/۳۹	۹/۶۵	۲۱/۳۰	۷/۴۰	۱۲/۰۱

**و* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح یک درصد و پنج 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 (cm)	سطح برگ (mm^2)	طول دم‌گل (cm)	تعدادروندک (در هر گیاه)	طول روندک (cm)	قطر طوقه (cm)
شاهد	۱۱/۰ ^{d}	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 ٦٧٪ + آبی ۳۳٪	۱۵/۳^{bc}	۱۳/۳۰^{c}	۳۷۸۶/۲ ^{b}	۱۰/۳۱ ^{ab}	۴/۳ ^{b}	۳۰/۱۲ ^{c}	۳/۳۱^{c}
قرمز ۸٤٪ + آبی ۱٦٪	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 مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

تعداد گل در گلآذین، وزن میوه و عملکرد بوته

اثر کیفیت نور بر تعداد گل در گلآذین، میانگین وزن میوه و عملکرد میوه در بوته به طور معنی‌داری در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین تعداد گل در گلآذین با تعداد ۴/۶ گل 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 گلآذین 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 با 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 به ترتیب با ۱۲/۴۱ و ۵۶۰/۰۳ گرم بود (جدول ۴).

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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		تعداد گل (در گلآذین)	میانگین وزن میوه	میانگین عملکرد میوه در بوته
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 نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح یک درصد و پنج درصد می‌باشد.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر کیفیت نور تکمیلی بر ویژگی‌های تعداد گل در گلآذین، وزن میوه و عملکرد بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا

تیمار	تعداد گل (در گلآذین)	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 ٦٧٪ + آبی ۳۳٪	۳/۴ ^{bc}	۱۷/۴۸ ^{bc}	۶۲۱/۲۷ ^{c}
قرمز ۸٤٪ + آبی ۱٦٪	۳/۰ ^{cd}	۱۵/۸۶ ^{cd}	۶۰۷/۸۳ ^{cd}

فرآیند ویرایش شده

قرمز ۱۰۰٪	۲/۸ cd	۱۳/۹۹ de	۵۹۴/۳۵ cd

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی

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 که به ترتیب 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. بین تیمارهای نوردهی قرمز ۶۷٪ + آبی ۳۳٪ و قرمز ۸۴٪ + آبی ۱۶٪ تفاوت معنی‌داری در میزان رنگیزه های فتوسنتزی مشاهده نشد. تیمار نور قرمز ۱۰۰٪ اگرچه میزان کلروفیل و کاروتنوئید بالاتری نسبت به تیمار شاهد داشت اما این تفاوت معنی‌داری نبود. به نظر می‌رسد تیمار ترکیبی نور قرمز و آبی اثر به‌مراتب بهتری به تیمار قرمز به‌تنهایی داشته باشد کما اینکه تیمار نور آبی ۵۰٪ و قرمز ۵۰٪ بعد از آبی ۱۰۰٪ بهترین پاسخ در افزایش رنگیزه های فتوسنتزی را 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 فتوسنتزی برگ بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		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	۰/۰۰۲۹
ضریب تغییر	–	۱۲/۹۳	۱۵/۷۳	۷/۵۶	۱۱/۵۲

** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر کیفیت نور تکمیلی بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا

کیفیت نور	کلروفیل a (mg/g)	کلروفیل b (mg/g)	کلروفیل کل (mg/g)	کاروتنوئید (mg/g)
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 ٦٧٪ + آبی ٣٣٪	۱/۳۵۷ bc	۰/۷۷۰ c	۲/۱۲۷ c	۰/۴۹۰ c
قرمز ٨٤٪ + آبی ١٦٪	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 مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

فتوسنتز، تبادلات گازی و کارایی مصرف آب

نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف نوری بر میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، CO_2 زیر روزنه‌ای و کارایی مصرف آب در سطح یک درصد اثر معنی‌دار و بر میزان تعرق غیر معنی‌دار بود (جدول ۷). همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده‌شده است به ترتیب بیشترین نرخ فتوسنتز (μ Mol $co_2m^{-2}s^{-1}$ ۱۱/۰۶۵)، هدایت روزنه‌ای ($mmol\ m^{-2}s^{-1}$ ۰/۱۷۷) و CO_2 زیر روزنه‌ای (۳۸۰/۵۰۰mmolco_2)، کارایی مصرف آب ($Mmol^{-1}\ CO_2.\mu mol^{-1}\ H_2O$ ۲/۲۹۲) در بوته‌های با نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ مشاهده شد که به ترتیب باعث افزایش ۵۷/۰۱ درصدی فتوسنتز، ۶۸/۷۵ درصدی هدایت روزنه‌ای، ۵۴/۷۹ CO_2 درصدی 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 ازنظر میزان تعرق باهم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۸).

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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فتوسنتز	هدایت روزنه‌ای	co_2 زیر روزنه‌ای	کارایی مصرف آب
کیفیت نور	۵	۸/۷۱۸**	۰/۰۰۲۶**	۶۹۶۸/۳۶**	۰/۶۷۴۵**
خطای آزمایشی	۱۸	۰/۴۹	۰/۰۰۰۱	۱۳۰/۳۰	۰/۲۵۷
ضریب تغییر	–	۸/۳۳	۷/۳۴	۳/۳۹	۹/۹۳

** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

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

کیفیت نور	فتوسنتز ($\mu Mol\ CO_2\ m^{-2}s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای ($mmol\ m^{-2}s^{-1}$)	CO_2 زیر روزنه‌ای ($mmolco_2$)	کارایی مصرف آب ($Mmol^{-1}\ CO2.\mu mol^{-1}\ H_2O$)
شاهد	۷/۰۴۷^{d}	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 ۶۷٪ + آبی ۳۳٪	۸/۲۱۲^{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}	۰/۱۲۲^{c}	۳۱۵/۰۰۰^{c}	۱/۲۷۰^{de}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

بحث

رشد گیاه و فیزیولوژی آن به‌شدت تحت تأثیر طیف نوری محیط رشد قرار دارد اما مکانیسم و جزئیات اثرات مختلف طیف نور در رشد گیاه شناخته‌شده نیست. گرچه دخالت گیرنده‌های نوری و وابستگی آن‌ها به پاسخ‌های گیاه اثبات‌شده است، به نظر می‌رسد که رشد می‌تواند حاصل برهمکنش‌های مختلف و هم‌زمان گیرنده‌های نور آبی، قرمز و فیتوکروم ها باشد که بسته به نوع گونه‌ی گیاهی باعث افزایش یا کاهش رشد می‌شود (Kim et al., 2004). نور به‌عنوان 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 اثربخشی متفاوت دارند (Olle and Viršile, 2013; Yu et al., 2016). نور قرمز بر رشد و توسعه اندام‌های رویشی، فتوسنتز، سیستم انتقال الکترون، کارایی فتوشیمیایی اثرگذار می‌باشد (Yu et al., 2016). در گیاهانی که نسبت ورودی نور قرمز در آن‌ها افزایش می‌یابد، به‌عنوان یک هشدار برای رشد و گلدهی گیاه در نظر گرفته می‌شود (Cerdán and Chory, 2003). نتایج حاصل از این پژوهش نیز نشان داد که کاربرد نور قرمز موجب کاهش معنی‌دار دمبرگ، سطح

ویراستاری نشده

برگ، تعداد گل، طول دمگل، تعداد روندک، طول روندک ، قطر طوقه و تعداد برگ نسبت به سایر تیمارهای نوری شد (جدول ۲). LED های قرمز و آبی می‌تواند به‌منظور بهبود مورفولوژی گیاه مورداستفاده 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 در زمینه‌ی نقش مثبت نور آبی در فرآیندهای طویل شدن سلول و ارتقای کشیدگی عمودی ساقه به‌عنوان بخشی از مکانیسم‌هایی که گیاهان برای اجتناب از سایه سایر گیاهان همسایه اتخاذ می‌کنند توضیح داد (Huche-Thelier et al., 2016). Uddin و همکاران (۲۰۱۸) و Naznin و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر کیفیت نور بر ویژگی‌های مورفولوژیکی توت‌فرنگی مشاهده کردند که 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 مشابه تحقیق فوق در مطالعه ما نیز مشاهده شد و کاربرد نور آبی ۱۰۰٪ باعث افزایش ۲۰۰ درصدی تعداد روندک، ۱۳۱/۳۶درصدی طول روندک شد (جدول ۲).

برای دست‌یابی به عملکرد بالا تخصیص کربوهیدرات بیشتر به میوه مهم است. با بررسی اثر نور قرمز و آبی در توت‌فرنگی مشخص شد گیاهان تحت تیمار نور آبی در مقایسه با تیمار شاهد و قرمز، درصد تشکیل میوه بالاتری داشتند (Nadalini et al., 2017). در پژوهش دیگری Samuoliene و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی تأثیر دو تیمار نور قرمز و ترکیب نورهای قرمز و آبی بر عملکرد و وزن میوه توت فرنگی گزارش کردند که نور آبی باعث تولید زیست‌توده بالاتر و همچنین درصد تشکیل میوه بیشتر و در نتیجه عملکرد نهایی بالاتر در مقایسه با گیاهان تیمار نور قرمز شد. اثر مثبت نور آبی بر عملکرد میوه توت‌فرنگی در مطالعات Choi و همکاران (۲۰۱۸) نیز ذکر شده است. در پژوهشی که توسط Choi و همکاران (۲۰۱۵) 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، نور آبی در افزایش عملکرد توت‌فرنگی‌های رشد یافته در گلخانه پلاستیکی نسبت به گیاهان رشد یافته در نور طبیعی خورشید مؤثر بود که با نتایج بدست آمده از این پژوهش مطابقت داشت.

نور با تأمین انرژی موردنیاز 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 به شدت تحت تأثیر طیف‌های نوری دریافتی است و تغییرات بسیاری در فلورسانس کلروفیل ایجاد می‌شود که اولین سیگنال ثبت‌شده در آن را به‌عنوان مرحله O و شدت آن F_o در نظر گرفته می‌شود. نوری که جذب می‌شود به مرکزهای واکنش فتوسیستم دو منتقل‌شده و با شکستن دو مولکول آب، یک مولکول اکسیژن آزاد کرده و سیستم به حالت بسته درمی‌آید. این به آن معناست که کوئینون A به‌عنوان اولین پذیرنده الکترون فتوسیستم دو با دریافت یک الکترون به حداکثر حالت احیا می‌رسد و تا موقعی که این الکترون به کوئینونB نرسد؛ کوئینون A نمی‌تواند الکترون دیگری دریافت کند. پس، در طول این مدت مرکز واکنش بسته است. با بسته شدن مراکز واکنش عملکرد سیستم فتوشیمیایی کاهش‌یافته و فلورسانس افزایش می‌یابد. بالاترین میزان F_o نشانگر عدم کارایی فتوسیستم دو و بسته شدن مراکز واکنش می‌باشد (Papageorgiou et al., 2007; Falqueto et al., 2017). پارامتر TR_o/RC نشان‌دهنده‌ی نرخ الکترون‌های برانگیخته به دام افتاده به‌وسیله‌ی 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 پروتئینD1 دچار مشکل شده و انتقال الکترون به‌درستی انجام نمی‌گیرد (Parvanova et al., 2004). زمانی که گیاه تحت تأثیر نور قرمز قرار می‌گیرند فتوسنتز دچار مشکل شده و این موضوع باعث ایجاد پدیده‌ی سندروم نور قرمز در گیاه می شود. 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 کرد (Hogewoning et al., 2010). ممکن است کاهش رشد مشاهده‌شده در تیمار نور قرمز به دلیل سندرم نور قرمز باشد که توسط Hogewoning و همکاران (۲۰۱۰) گزارش‌شده است که این موضوع با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت داشت اگرچه بررسی ابعاد مختلف تیمارهای نوری بر رنگیزه های فتوسنتزی و تبادلات روزنه‌ای نیاز به بررسی بیشتری دارد (جدول‌های ۴ و ۸). به نظر می‌رسد گیاهانی که فقط در معرض نور قرمز بودند، فتوسنتزشان در

سطوح مختلف عملکردی، از تیلاکوئیدها تا سلول‌های روزنه تحت تأثیر قرارگرفته است (Trouwborst, et al., 2016). عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی در نور تک طیف قرمز کاهش می یابد و این نور با عث اختلال در رو ند انتقال الکترون خوا هد شد (Aliniaeifard 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 فتو سنتز مؤثر خواهد بود (Moosavi-Nezhad et al., 2021). در مطالعه دیگری که روی گل شاخه بریده همیشه‌بهار انجام شد، نشان داده شد که نور تک طیف قرمز به‌شدت بر کاهش کارایی فتوسنتز اثرگذار است (Aliniaeifard et al., 2018). در گل شاخه بریده میخک افزایش حداکثر بازده کوانتومی فتو سی ستم دو، تحت تأثیر نور آبی نسبت به نور قرمز گزارش شد (Aalifar et al., 2020). بر ا ساس یافته‌های این پژوهش، میزان فتو سنتز در نور قرمز ۱۰۰٪، کاهش دا شت که افزودن نور آبی به آن در تیمارهای دیگر باعث افزایش میزان فتو سنتز 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 که می‌توان آن را با افزودن نور آبی بهبود بخشید (Miao et al., 2016). باز و بسته شدن روزنه‌ها با کیفیت نور، خصو صاً نور آبی مرتبط ا ست (Shimazaki et al., 2007; Sabzalian et al., 2014) و این مو ضوع 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 موردبررسی قرار گرفت. کلروفیل رنگیزه اصلی فتوسنتزی است که به دریافت انرژی از نور کمک کرده و باعث ایجاد رنگ سبز در گیاهان می‌گردد. علاوه بر آن کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها نیز نقش حمایت‌کننده‌ای در فتوسنتز بر عهده‌دارند. کاروتنوئیدها باعث ایجاد رنگ‌های زرد و نارنجی در گیاهان می‌شوند. گیاهان برای سازگاری با رژیم‌های مختلف نوری تولید کلروفیل را تغییر می‌دهند (Hernández and Kubota, 2014). Ramalho و همکاران (۲۰۰۲)، بیان کردند که تأثیر کیفیت نور بر نمو کلروپلاست به گونه‌ی گیاهی، شدت نور و نوع سلول‌ها بستگی دارد. نور با سنتز کلروفیل رابطه‌ی تنگاتنگی دارد (Whatley and Whatley, 1982). کلروفیل پیوسته در حضور نور سنتز می‌شود و از بین می‌رود (Kramer and Kozlowski, 1979). نور آبی در مراحل اولیه‌ی نمو گیاه برای توسعه کلروپلاست و تشکیل کلروفیل در تیلاکوئید ها ضروری است. نور آبی از طریق گیرنده‌های نوری کریپتوکروم و فتوتروپین دریافت شده و باعث افزایش ساخته‌شدن کلروفیل می‌شود (Hernández and 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 and Sams, 2013)، اسفناج (Li and Kubota, 2009) و دانهال کلم (Mizuno et al., 2009) نور آبی باعث افزایش غلظت کلروفیل و کاروتنوئید شد. نوردهی تکمیلی اثر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید کل در سطح یک درصد داشت. بیشترین افزایش در تیمار نوردهی 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 معنی‌داری نبود. همچنین تیمار نور آبی ۵۰٪ و قرمز ۵۰٪ بعد از آبی ۱۰۰٪ بهترین پاسخ در افزایش رنگیزه های فتوسنتزی را داشته و باعث افزایش معنی‌دار این صفات نسبت به تیمار شاهد شده است (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 کرد (Matsuda et al., 2008). به گزارش Huche-Thelier و همکاران (۲۰۱۶) محتوای کلروفیل در برگ با افزایش میزان نور آبی افزایش یافت که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت داشت. کاروتنوئید از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی با وزن مولکولی کم است که برای محافظت ارگان‌های 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 and Foyer, 1998).

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج این پژوهش نشان داد تیمارهای نوردهی تکمیلی به‌طور معنی‌داری بر تمام صفات موردمطالعه در توت‌فرنگی اثرگذار بود. بوته‌های با نوردهی تکمیلی آبی ۱۰۰٪ و 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 می‌بخشد 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.

سپاسگزاری

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

منابع

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

References

Aalifar, M., Aliniaeifard, 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.

Aliniaeifard, 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.

Anonymous (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., Ghate, 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., Valdiviesso, 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.

Hancook., J.F. (1999) Strawberry. CABI publishing, New York, 237p.

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-Thelier, 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. and 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., and 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*) culturedin vitro under various sources of light-emitting diode (LED) irradiation. *Journal of Plant Biology*, 49(2), 174-179.

Moosavi-Nezhad, M., Salehi, R., Aliniaeifard, S., Tsaniklidis, G., Woltering, E. J., Fanourakis, D., ... & Kalaji, H. M. (2021). Blue light improves photosynthetic performance during healing and acclimatization of grafted watermelon seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(15), 8043.

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,.Atanassov, 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.

Ramalho, 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). EPU: EDUSP. São Paulo, 101 p. (Temas de Biologia, 30).

Wu, C. C., Yen, Y. H., Chang, M. Y. & Fang, W. (2012). Effects of light quality and CO_2 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. (2016). Effect of differential light quality on morphology, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity in *Camptotheca acuminata* seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation* 36, 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.

ویراستاری نشده

The effect of supplementary light quality on the morphological and photosynthetic characteristics of strawberry plants, cv. Camarosa in autumn/winter short day conditions

Extended Abstract

Introduction

Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) is a valuable product and one of the most consumed fruits in the world, which, due to its taste and nutritional value, increased demand for its production and consumption, has become one of the goals of improving food compositions. Following the expansion of off-season strawberry production in the last 20 years, its production methods in the greenhouse have been developed. The use of controlled environments gives strawberry growers the opportunity to produce fruit throughout the year and especially in the off-season. All strawberry cultivars need long day length and optimal light intensity for optimal growth and flowering. In strawberry production greenhouses, when there is not enough light or the day length is short, it is necessary to use supplementary light due to the need for strong vegetative growth to produce flowers and fruits. Light and its characteristics, including intensity, quality and duration of light radiation, play an important role in regulating growth and development, flowering and photomorphogenesis in strawberry species. The light parameter, as the main source of energy for photosynthesis, creates signals in the processes of gene expression, physiology, morphology and metabolism, and the response of plants to light is characterized by the function of photoreceptors. Camarosa strawberry is a short-day plant whose vegetative growth is influenced by day length and temperature. Considering that the knowledge of the effect of light on the control of plant growth and development, physiological reactions and production seems necessary, the present study was conducted with the aim of evaluating the effect of the quality of supplementary light on the morphological and photosynthetic reactions of Camarosa strawberry plant under greenhouse conditions.

Material and methods

This research was carried out in the autumn and winter in the research greenhouses of the Department of Horticultural Sciences, Bu-Ali Sina University. Camarosa variety strawberry plants were transferred to the greenhouse, they were cultivated in hydroponic beds with a mixture of cocopeat and perlite in the ratio of 70:30. Strawberry plants were fed with Hoagland nutrient solution once every three days. At the time of the experiment, the average day temperature of the greenhouse was 25 °C and the night temperature of the greenhouse was 15 °C. Also, the relative humidity was 70% and the period of natural lighting was 11 hours/13 hours (day/night). The experiment was conducted as a completely randomized design with six treatments and three replications. Plants under exposure treatments include: 1- 100% red light (with a wavelength of 660 nm), 2- 100% blue light (with a wavelength of 440 nm), 3- Red light 83% + blue light 17%, 4- Red light 67% + blue light 33%, 5- red light 50% + blue light 50% and 6- control (no supplementary exposure). Lighting using light emitting diodes (LED) and additionally with sunlight (800 to 1000 micromol/m^2/s) during the day for 14 hours from 5 a.m to 7 p.m and it was applied with an intensity of about 250 micromoles/m^2/s. After about one month of exposure, some morphological characteristics as well as photosynthetic parameters of strawberry plants were evaluated.

Results and discussion

The exposure treatments were effective on the morphological traits of strawberry plants, including petiole length, leaf area, number of flowers, length of flower petiole, number of runners, length of runner and crown diameter and number of leaves. The highest number of leaves, petiole length, leaf surface, number of flowers, number of runners and crown diameter without significant difference were observed in plants with blue 100% and red 50% + blue 50% supplementary exposure, respectively. Among the supplementary exposure treatments, the 100% red light treatment had the least effect on the investigated growth traits, which was not significantly different from the control treatment (no exposure) except for runner length. Supplemental exposure treatment had a significant effect on the concentration of chlorophyll a, b, total and total carotenoids. The highest increase was observed in 100% blue exposure treatment, followed by 50% blue light treatment and 50% red light treatment, which caused a significant increase in these traits compared to the control treatment. No significant difference in the amount of photosynthetic pigments was observed between the exposure treatments of red 67% + blue 33% and red 84% + blue 16%. Although the 100% red light treatment increased the amount of chlorophyll and carotenoid compared to the control treatment, this difference was not significant. The highest rate of photosynthesis, stomatal conductance, sub-stomatal co_2 and water consumption efficiency were observed in plants with 100% blue supplementary exposure, while the lowest rate was related to plants with 100% red supplementary exposure and the control. There was no significant difference between different exposure treatments in terms of sweating.

Conclusion

The results provide evidence that supplementary exposure using LEDs can activate the metabolic pathways related to the production of photosynthetic pigments, while improving stomatal exchanges and increasing the rate of photosynthesis, it improves the relative growth and morphological characteristics of Camarosa cultivar of strawberry plants.

بایگانی نشده