گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۱)، ۷(۲): ۱۷۳-۱۸۴
مقاله پژوهشی

اثر طیف‌های مختلف نور LED بر ریشه‌زایی و رشد قلمه‌های فیکوس بنجامین

زهره اسلمی، مسعود قاسمی قهساره، سعید ریزی

گروه علوم باغبانی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
mghasemi1352@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۲

چکیده

نور خورشید تنها منبع انرژی طبیعی برای رشد گیاهان سبز است. نور طبیعی به دلایل اقتصادی منبعی مقرون به صرفه برای تولید تجاری محصول‌های کشاورزی است. اما با توجه به شرایط محیط، می‌توان از نور مصنوعی نیز برای تولید و پرورش گیاهان استفاده کرد. یکی از فعالیت‌های مهم باغبانی، افزایش رویشی گیاهان از راه ریشه‌دار کردن قلمه است. با توجه به کوتاه بودن طول قلمه و نیز اقتصادی بودن افزایش در طول سال، می‌توان از اتاقک‌های رشد طبقه‌دار که در آن‌ها شرایط بهینه برای ریشه‌زایی فراهم شده است، استفاده کرد. یکی از گیاهان زینتی درون‌خانه‌ای پرمصرف فیکوس بنجامین است که روش تجاری افزایش آن ریشه‌دار کردن قلمه است. برای بهینه‌سازی شرایط نوری لازم برای ریشه‌دار کردن و رشد قلمه‌های فیکوس بنجامین ابلق رقم Starlight اثر طیف‌های مختلف نور LED (سرخ، آبی، سرخ + آبی و سفید) بر باززایی ریشه و ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک قلمه‌های این گیاه مورد بررسی قرار گرفت. سه ماه پس از کاشت، درصد ریشه‌زایی، شاخص‌ریشه‌زایی و شاخص‌های مورفولوژیک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که به جز ویژگی طول ریشه که در نور ترکیبی LED سرخ + آبی طویل‌ترین (۱۶/۸ سانتی‌متر) بود، بیشترین تعداد انشعاب‌های ریشه (۱۲)، وزن تر ریشه (۱/۴۲ گرم)، وزن خشک ریشه (۰/۳۶ گرم) و حجم ریشه (۲/۸ سانتیمتر مکعب) مربوط به نور سفید بود. از نظر شاخص‌های رشد اندام هوایی، بیشترین سطح برگ (۱۰/۹ سانتی‌متر مربع) و وزن تر شاخساره (۴/۸۲ گرم) در نور سفید و بیشترین وزن خشک (۱/۴ گرم)، طول شاخساره (۲۳/۲ سانتی‌متر) و تعداد شاخساره جدید (۳/۶) در نور آبی+ سرخ دیده شد. بیشترین درصد ریشه‌زایی (۱۰۰٪) زیر نور سرخ و بیشترین شاخص ریشه‌زایی (۴/۵) در نور LED آبی دیده شد. بر اساس نتایج این آزمایش، برای باززایی ریشه قلمه فیکوس بنجامین ابلق، طیف نور سفید و برای رشد اندام هوایی قلمه، نور ترکیبی سرخ+ آبی نسبت به نورهای آبی و سرخ تک‌رنگ تاثیر بهتری داشته است. به‌طور کلی برای تولید قلمه‌های ریشه‌دار فیکوس بنجامین با کیفیت مطلوب، نور LED سفید توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نور مصنوعی، شاخص ریشه‌زایی، باززایی ریشه، اتاقک رشد.

مقدمه

برای افزایش ظرفیت تولید، سامانه‌های کنترل رشد با استفاده از نور مصنوعی مورد توجه قرار گرفته است. توسعه اخیر فناوری‌های راهبردی LEDها دارای پتانسیل بزرگی برای بهبود رشد گیاهان است (Darko *et al.*, 2014). یکی از فعالیت‌های مهم باغبانی افزایش رویشی گیاهان از راه ریشه‌دار کردن قلمه است. با توجه به کوتاه بودن طول قلمه و نیز اقتصادی بودن

افزایش در طول دوره سال، می‌توان از اتاقک‌های رشد طبقاتی که شرایط بهینه برای ریشه‌زایی فراهم شده است استفاده کرد و با استفاده از ارتفاع در کنار سطح محیط افزایش، این فعالیت را اقتصادی‌تر نمود.

فیکوس‌ها از تیره توت‌سانان (Moraceae) یک گروه بزرگ گیاهی هستند که حدود ۸۰۰ گونه دارند. فیکوس‌ها گیاهان بومی مناطق گرم و استوایی بوده که نور کم و دمای متغیر اتاق‌ها را تحمل کرده و در جنگل‌ها در زیر درختان دیگر به خوبی رشد و نمو می‌کنند. از گونه‌های مهم آن که به‌عنوان گیاه زینتی استفاده می‌شود فیکوس بنجامین[۱] است. نمو می‌کنند. به دلیل ظاهر زیبا و تحمل شرایط نامساعد رشد، یک گیاه درون‌خانه‌ای بسیار محبوب در مناطق معتدل است. در شرایط روشن و آفتابی بهترین عملکرد را دارد، اما سایه قابل توجهی را نیز تحمل می‌کند. مشخص شده است که *F. benjamina* به‌طور موثر فرمالدئید گازی را از هوای درون خانه حذف می‌کند (Kim *et al.*, 2008). رقم‌های متعددی از آن در دسترس هستند. رقم‌های مختلف آن دارای برگ‌ها با الگوهای رنگی مختلف هستند که از سبز روشن تا سبز تیره و اشکال مختلف ابلق سفید را شامل می‌شود. رقم ابلق Starlight از معروف‌ترین رقم‌های آن است و به مقدار زیاد به عنوان گیاه برگساره‌ای استفاده می‌شود. فیکوس بنجامین با قلمه نیمه‌چوبی برگ‌دار که در بهار و تابستان گرفته می‌شود، افزایش می‌یابد (Ghasemi Ghehsareh & Kafi, 2015). بنابراین بهینه‌سازی شرایط محیطی برای ریشه‌زایی و رشد مطلوب قلمه‌های آن برای تولیدکنندگان این گیاه اهمیت دارد.

استفاده از نور تکمیلی طی رشد قلمه‌ها در روند افزایش باعث افزایش DLI (انتگرال نور روزانه[۲]) می‌شود (Currey *et al.*, 2012; Lopez & Runkle, 2008). کیفیت نور بسته به نوع آن اثرهای ویژه‌ای بر رشد و توسعه گیاهان دارد (Briggs & Olney, 2001; Clouse, 2001; Kevin, 2000). فرایندهای مختلف تولید گیاهان با ویژگی‌های مطلوب به کنترل کیفیت نور و دانستن اینکه چه بخشی (ترکیبی) از مناطق طیفی نیاز است، مربوط می‌شود (Bantis *et al.*, 2016). کیفیت نور به‌ویژه طول موج‌های آبی و سرخ باز و بسته شدن روزنه را کنترل می‌کنند (Shimazaki, *et al.*, 2007). ثابت شده که کیفیت نور سیگنال‌هایی را تحریک می‌کند که باعث تغییرات متابولیکی می‌شود (Liu *et al.*, 2004). نور سرخ رشد گیاهان را افزایش می‌دهد زیرا طول موج‌های متناسب با پیک جذب کلروفیل و فیتوکروم هستند (Schoefs, 2002). ترکیب نوری سرخ+ آبی فعالیت فتوسنتزی بیشتری را نسبت به نور تک رنگ در گیرنده‌های نوری سبب می‌شود (Opdam *et al.*, 2005). ترکیب نور سرخ+ آبی بیشترین بهره‌وری فوتون را در مقایسه با سایر رنگ‌ها فراهم می‌کند (Nelson & Bugbee, 2014). توسعه فن‌آوری LED امکان فتوسنتز بهینه و تنظیم فیزیولوژی گیاهان را با دستکاری ویژگی‌های نور فراهم کرده است (Kim *et al.* 2019; Mitchell *et al.*, 2012). در سال‌های اخیر لامپ‌هایLED به عنوان منابع جدید نور برای تولید گیاه در محیط‌های کنترل‌شده و همچنین در پژوهش‌های فیزیولوژی گیاهی مورد توجه قرارگرفته‌اند. از مزیت‌های این لامپ‌ها نسبت به سایر منابع نوری مرسوم از جمله لامپ‌های فلورسنت، هالوژنی و سدیمی می‌توان به بهره‌وری نوری بالا، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، حجم کم، عمر طولانی، تولید گرمای کم، شدت/کیفیت نوری قابل تنظیم و نداشتن پرتو مضر فرابنفش اشاره کرد (Li *et al.*, 2013). LEDها به‌قدری کوچک شده‌اند که انعطاف‌پذیری آنها را در سیستم‌های روشنایی بهبود می‌بخشد. LEDها نسبت به لامپ‌های پرفشار[۳] و فلورسنت فاقد پرتو فروسرخ و فرابنفش هستند (Denbaars *et al.*, 2013; Nassarawa *et al.*, 2021). از آنجا که LEDها امکان کنترل دقیق طیف نور را فراهم می‌کنند، شبیه‌سازی طیف نورخورشید را امکان‌پذیر می‌سازد (Wozny & Miler, 2016). در پژوهشی، Gabryszewska & Rudeniki (۱۹۹۷) نشان دادند که در کشت بافت فیکوس بنجامین نور سرخ باعث بیشترین تعداد باززایی شاخساره شد. اگرچه رنگ نور در ریشه‌دهی ریز شاخساره‌ها اثر نداشت. با کاربرد تیمار نفتالن استیک

۱- *Ficus benjamina*
۲- Daily light integral
۳- High pressure light

اسید[1] زیر نورمصنوعی LEDهای آبی و سرخ با شدت ۳۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و همچنین نور خورشید برای ۱۶ ساعت در روز تشکیل ریشه در قلمه ریحان مشاهده شد که تیمار نفتالن استیک اسید همراه با نور آبی به‌طور معنی‌داری رشد ریشه را در مقایسه با تیمار بدون نفتالن استیک اسید در نور آبی افزایش داد. تاثیر تیمار نفتالن استیک اسید بر رشد زیر سایر انواع نور تفاوت معنی‌داری نداشت، اما قرار گرفتن طولانی مدت در معرض نور آبی باعث تاریک‌رویی[2] برگ‌های مسن شد. نتایج نشان داد استفاده از LED آبی برای قلمه‌های ریحان باعث کاهش زمان تشکیل ریشه و نیز تولید قلمه‌های متعارف در مقایسه با سایر انواع نور شد (Lim & Eom, 2013). در پژوهشی اثر چهار منبع نوری متفاوت LED به رنگ‌های سرخ، آبی، ترکیبی سرخ+ آبی با نسبت‌های (۷۰:۳۰ و ۵۰: ۵۰) و لامپ فلورسنت بر رشد شاخساره انتهایی گیاه Tsuru-rindo(*Tripterospermum japonicum*) در محیط کشت موراشیگ و اسکوگ با ۳٪ ساکاروز بررسی شد. ریشه‌زایی در نور سرخ ۱۰۰٪ بود اما در نور آبی مهار شد. تعداد ریشه، وزن تر و میزان کلروفیل در نور ترکیبی سرخ+ آبی (۷۰:۳۰) بیشترین مقدار بود (Moon *et al*., 2006). در بررسی اثر چهار منبع نوری LEDهای آبی، سرخ، ترکیب سرخ+ آبی (۱:۱) و فلورسنت در محیط آزمایشگاه بر پرآوری شاخه و ریشه‌دهی گیاه *Abeliophyllum distichum* Nakai گزارش شد که بیشترین تعداد جوانه در نور آبی و ترکیب سرخ+ آبی حاصل شد. نور آبی باعث ریشه‌دهی بیشتر شد. نور سرخ طویل شدن شاخه را تحریک کرد اما رشد ریشه را مهار نمود (Lee *et al*., 2014).

این آزمایش برای بهینه‌سازی شرایط نوری لازم برای ریشه‌دار کردن و رشد قلمه‌های فیکوس بنجامین ابلق رقم Starlight انجام شد و اثر طیف‌های مختلف نور LED (سرخ، آبی، سرخ + آبی و سفید) بر باززایی ریشه و ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی قلمه‌های این گیاه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ برای بررسی اثر طیف‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های رشد و باززایی قلمه‌های ساقه فیکوس بنجامین ابلق، در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد انجام شد. آزمایش به صورت طرح کاملا تصادفی با چهار تیمار نور LED سفید، سرخ، آبی، و ترکیب آنها به‌صورت ۵۰٪ سرخ و ۵۰٪ آبی در سه تکرار و هر تکرار شامل ۱۰ قلمه انجام شد. آزمایش در اتاقک‌های رشد با قابلیت کنترل شدت نور، فتوپریود، دما و آبیاری انجام شد. در این پژوهش قلمه‌های انتهایی ساقه فیکوس بنجامین ابلق به طول حدود ۱۲ تا ۱۵ سانتی‌متر در بستر کاشت حاوی ۵۰٪ کوکوپیت و ۵۰٪ پرلایت کشت شدند. پیش از کاشت، قلمه‌ها با محلول قارچ‌کش بنومیل با غلظت یک در هزار به مدت ده دقیقه تیمار شدند. همچنین بستر کاشت آماده شده نیز با همین قارچ‌کش یک بار آبیاری گردید. برای کمک به تحریک اولیه ریشه‌زایی، قلمه‌ها با هورمون ایندول بوتیریک اسید[3] با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌صورت فروبری سریع و به مدت سه دقیقه تیمار شدند. شدت نور اتاقک‌ها به کمک کوانتوم‌متر (Apogee Instruments MQ-500 Full Spectrum Quantum Meter) روی ۷۵ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و فتوپریود به مدت ۱۶ ساعت در شبانه‌روزتنظیم شد. دمای بستر ۲±۲۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۰٪ بود. رطوبت محیط به کمک مه‌افشان نوبتی تامین شد. پس از ریشه‌زایی و سه ماه پس از کاشت شاخص‌های طول ریشه اصلی، تعداد انشعابات ریشه، وزن تر و خشک ریشه، حجم ریشه، شاخص ریشه‌زایی، محتوای کلرفیل و کاروتنوئید برگ، ارتفاع شاخساره، تعداد جوانه‌های جانبی رویش‌یافته، تعداد برگ جدید رویش‌یافته، سطح برگ و وزن تر و خشک شاخساره اندازه‌گیری شد. میانگین سطح برگ‌ها پس از پهن کردن آنها روی یک صفحه و عکس برداری از آنها، با استفاده از نرم‌افزار Digimizer 5.4 بر حسب سانتی‌متر مربع تعیین شد.

۱- NAA ۲- Ethiolation ۳- IBA

برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ، ۰/۵ گرم از بافت تازه پهنک برگ را در هاون با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ سائیده و پس از انتقال به فالکون ۱۰ میلی‌لیتری و رساندن حجم آن به ۱۰ میلی‌لیتر با استون، نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و مقدار جذب عصاره با اسپکتروفتومتر (PG Instruments -T60- UV-VIS) در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. سپس مقدار کلرفیل *a*، *b* و کلرفیل کل (TChl) و همچنین کاروتنوئیدها (Car) با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Lichtenthaler, 1987).

$$\text{Chl } a \ (\mu g/ml) = (12.25 \times A_{663}) - (2.79 \times A_{645})$$
$$\text{Chl } b \ (\mu g/ml) = (21.50 \times A_{646}) - (5.10 \times A_{663})$$
$$\text{TChl } (\mu g/ml) = \text{chl } a + \text{chl } b$$
$$\text{Car } (\mu g/ml) = (1000 \times A_{470}) - (1.82 \times \text{Chl } a) - (85.02 \times \text{Chl } b)/198$$

که A_{663}، A_{646} و A_{470} به ترتیب جذب در طول موج ۶۶۳، ۶۴۶ و۴۷۰/۲ نانومتر است. برای تبدیل میکروگرم بر میلی‌لیتر به میلی‌گرم بر گرم، عدد حاصل از روابط بالا در V/1000W ضرب شد که W؛ وزن تر نمونه به گرم و V؛ حجم نهایی استون۸۰٪ به میلی‌لیتر است.

برای تعیین کیفیت ریشه‌ها، شاخص ریشه‌زایی محاسبه شد. برای این منظور قلمه‌ها از نظر چشمی به پنج گروه شامل قلمه‌های با ریشه سنگین، متوسط و ضعیف، قلمه‌های بدون ریشه اما زنده و قلمه‌های مرده دسته‌بندی شدند. برای هر گروه یک ضریب به عنوان وزن ریشه‌زایی در نظر گرفته شد. شماره ۵ برای ریشه‌زایی سنگین، ۴ برای ریشه‌زایی متوسط و ۳ برای ریشه‌زایی ضعیف بود. ضریب ۲ برای قلمه‌های بدون ریشه اما زنده و ضریب ۱ برای قلمه‌های مرده استفاده شد (Criley, 2011; Ghasemi Ghehsareh, & Khosh-Khui, 2019). در پایان داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و میانگین داده‌ها با آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) شاخص‌های طول ریشه، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه به‌طور بسیار معنی‌دار در سطح ۱٪ و تعداد انشعابات ریشه و حجم ریشه به‌طور معنی‌دار در سطح ۵٪ زیر تاثیر تیمارهای اعمال شده قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس اثر طیف‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های رشد اندام هوایی نشان داد که به جز تعداد برگ‌های جدید رویش یافته روی قلمه‌ها در طول آزمایش، بر سایر شاخص‌های رشد اندام هوایی معنی‌دار بود. تیمارها بر شاخص‌های ارتفاع شاخساره، سطح برگ و وزن تر شاخساره دارای اثر معنی‌دار در سطح ۵٪ و در شاخص‌های تعداد برگ، وزن خشک شاخساره و تعداد انشعابات جدید شاخساره اثر بسیار معنی‌دار در سطح ۱٪ داشتند. همچنین طیف‌های مختلف نور LED مورد آزمایش بر محتوای رنگدانه‌های نوری باعث اثر معنی‌دار روی محتوای کلروفیل کل، کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئیدهای برگ در سطح ۱٪ شد.

شاخص‌های رشد ریشه

مقایسه میانگین شاخص‌های رشد ریشه (جدول ۲) نشان داد که بیشترین طول ریشه (۱۶/۸ سانتی‌متر) در تیمار ترکیبی سرخ+ آبی حاصل شد که تفاوت زیادی با نور آبی نداشت. کمترین طول ریشه (۷/۹ سانتی‌متر) در نور سرخ مشاهده شد. بیشترین تعداد انشعابات ریشه در نور سفید (۱۲ عدد) و کمترین انشعابات ریشه در نور آبی (۸/۶ عدد) مشاهده شد. از نظر تعداد انشعابات ریشه در بین تیمارهای سرخ، آبی و ترکیبی سرخ + آبی تفاوت معنی‌دار نبود. بر اساس مقایسه میانگین‌ها بیشترین وزن تر ریشه در نور سفید (۱/۴۲ گرم) و کمترین آن در نور سرخ (۰/۹۳ گرم) مشاهده شد که با نور آبی تک رنگ تفاوت معنی‌داری نداشت.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر طیف‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک قلمه‌های فیکوس بنجامین.

Table 1. Analysis of variance effect of different spectra of LED light on morphophysiological indexes of *Ficus benjamina* cuttings.

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	طول ریشه Root length	تعداد انشعابات ریشه Number of root branches	وزن تر ریشه Root fresh weigh	وزن خشک ریشه Root dry weight	حجم ریشه Root volume	طول شاخساره Shoot length	تعداد انشعابات جدید شاخساره Number of new branches of the shoot	سطح برگ LAI	تعداد برگ رویش‌یافته Number of grown leaves	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	کلروفیل *a* Chlorophyll *a*	کلروفیل *b* Chlorophyll *b*	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoids
		میانگین مربعات Mean Squares														
Treat	3	42.46**	5.97*	0.15**	0.01**	0.38*	2.70*	0.87**	2.61*	3.03ns	1.40*	0.08**	0.01**	0.01**	0.01**	0.08**
Error	8	143.2	1.04	0.01	0.0005	0.090	0.41	0.05	0.52	0.93	0.22	0.01	0.00007	0.0005	0.0005	0.0003
CV (%)		497.11	10.23	10.13	8.22	12.55	2.92	8.09	7.4	15.43	11.19	6.75	6.46	10.19	6.55	6.03

**، * و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ و ۵٪ و نبود معنی‌داری.

**: Significant at 1% level, *: Significant at 5% level. ns: no significant.

بیشترین وزن خشک ریشه (۰/۳۶ گرم) در نور سفید و کمترین وزن خشک ریشه (۰/۲۱ گرم) در نور سرخ مشاهده شد. بین تیمارهای مختلف نور آبی، سرخ و ترکیب سرخ + آبی تفاوت معنی‌داری در وزن خشک ریشه وجود نداشت. بیشترین مقدار حجم ریشه (۲/۸ سانتی‌متر مکعب) در نور سفید و پس از آن در ترکیب نور سرخ + آبی حاصل شد و کمترین حجم ریشه (۲/۱ سانتی‌متر مکعب) در تیمارهای با نور تک رنگ آبی و سرخ مشاهده شد.

محاسبه شاخص ریشه‌زایی قلمه‌های فیکوس بنجامین نشان داد که بیشترین شاخص ریشه‌زایی در نور LED آبی مشاهده شد و کمترین آن مربوط به نور ترکیبی سرخ + آبی بود. بیشترین درصد ریشه‌زایی (۱۰۰٪) زیر نور سرخ و کمترین آن زیر نور سرخ + آبی به دست آمد (شکل ۱).

شاخص‌های رشد اندام هوایی

نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به شاخص‌های رشد اندام هوایی نشان داد که بیشترین طول شاخساره (۲۳/۲ سانتی‌متر) در نور ترکیبی سرخ + آبی حاصل شد و کمترین مقدار (۲۱/۱ سانتی‌متر) در نور سرخ مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای نور سفید و آبی نداشت. بیشترین تعداد شاخساره جانبی جدید (۳/۶) در زیر ترکیب نور سرخ + آبی و کمترین تعداد شاخساره جدید (۲/۵) در نور سفید و نور آبی مشاهده شد که با نور سرخ تفاوت معنی‌دار نداشتند. بیشترین سطح برگ (۱۰/۹ سانتی‌متر مربع) در زیر نور سفید حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با ترکیب نور آبی + سرخ نداشت. کمترین سطح برگ (۸/۸ سانتی‌متر مربع) در قلمه‌های نگهداری شده زیر نور آبی مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین‌های وزن تر شاخساره نشان داد که بیشترین وزن تر (۴/۸۲ گرم) مربوط به نور سفید و کمترین مقدار (۳/۴۴ گرم) مربوط به نور سرخ بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین وزن خشک شاخساره (۱/۴ گرم) در تیمار سرخ + آبی و کمترین وزن خشک شاخساره (۱/۰۴ گرم) در نور سرخ مشاهده شد.

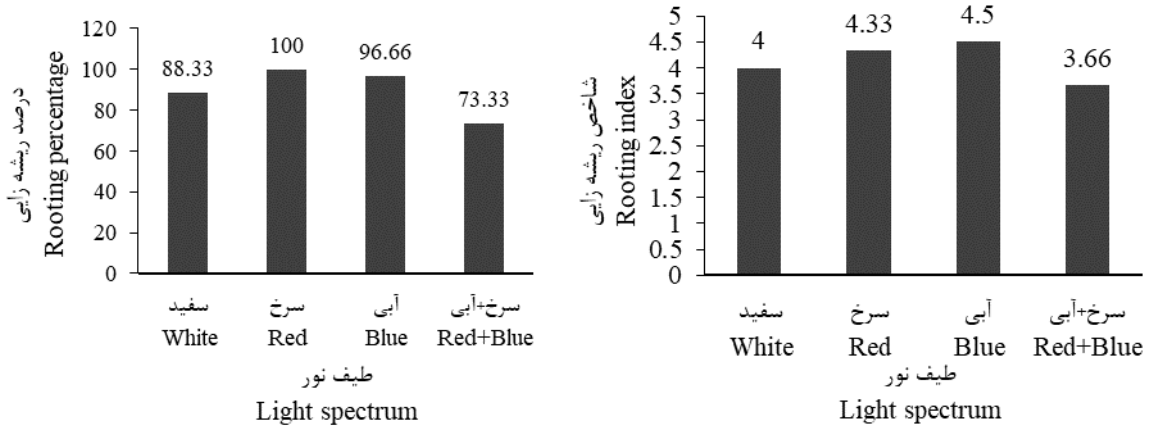
جدول ۲. نتایج مقایسه میانگین اثر طیف‌های مختلف نور LED بر شاخص های رشد ریشه قلمه‌های فیکوس بنجامین.

Table 2. The effect of different spectra of LED light on root growth indices of *Ficus benjamina* cuttings.

تیمار نوری Light treatment	طول ریشه Root length (cm)	تعداد انشعابات ریشه Number of root branches	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)	حجم ریشه Root volume (cm^3)
سفید White	12 [b]	11.9 [a]	1.42 [a]	0.36 [a]	2.8 [a]
سرخ Red	7.9 [c]	9.7 [b]	0.93 [c]	0.21 [b]	2.1 [b]
آبی Blue	14.1 [ab]	8.6 [b]	1 [c]	0.24 [b]	2.1 [b]
سرخ + آبی Blue + Red	16.8 [a]	9.7 [b]	1.20 [b]	.25 [b]	2.6 [ab]

در هر ستون میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different (P<0.05) based on LSD test.



شکل ۱. اثر طیف‌های مختلف نور ال ای دی بر درصد ریشه‌دهی (چپ) و شاخص ریشه‌زایی (راست) قلمه فیکوس بنجامین.

Figure 1. The effect of different LED light spectrums on rooting percentage (left) and rooting index (right) of *Ficus benjamina* cuttings.

جدول ۳. اثر طیف‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های رشد اندام هوایی قلمه‌های فیکوس بنجامین.

Table 3. The effect of different spectra of LED light on aerial growth indices of *Ficus benjamina* cuttings.

وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight (g)	سطح برگ LA (cm^2)	تعداد انشعابات جدید شاخساره Number of new branches of the shoot	طول شاخساره Shoot length (cm)	تیمار نوری Light treatment
1.33 ab	4.82 a	10.9 a	2.5 b	21.2 b	سفید White
1.04 c	3.44 c	9.2 bc	2.9 b	21.1 b	سرخ Red
1.18 bc	3.85 bc	8.8 c	2.5 b	21.7 b	آبی Blue
1.4 a	4.59 ab	10.2 ab	3.6 a	23.2 a	سرخ + آبی Blue + Red

در هر ستون میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different (P<0.05) based on LSD test.

رنگدانه‌های برگ

بیشترین کلروفیل *a* (۰/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در نور سرخ و کمترین مقدار آن (۰/۰۹ میلی‌گرم بر گرم) در نور سفید مشاهده شد که با نور ترکیبی سرخ + آبی تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین مقدار کلروفیل *b* در نور ترکیبی سرخ + آبی (۰/۳ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین مقدار در نور سفید (۰/۱۶ میلی‌گرم بر گرم) وجود داشته است تفاوت مقدار کلروفیل *b* بین تیمارهای نور آبی و سرخ معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار کلروفیل کل (۰/۴۱ میلی‌گرم بر گرم) در نور سرخ مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای آبی و نور ترکیبی سرخ + آبی نداشت اما کمترین مقدار کلروفیل کل (۰/۲۶ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به نور سفید بود.

بیشترین محتوای کاروتنوئید برگ (۰/۵ میلی‌گرم بر گرم) در نور سفید و کمترین مقدار آن (۰/۱۷ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به ترکیب نوری آبی + سرخ بود که با نورهای تک رنگ آبی و سرخ تفاوت معنی‌داری نداشت.

جدول ۴. اثر طیف‌های مختلف نور LED بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ قلمه‌های فیکوس بنجامین.

Table 4. The effect of different LED light spectra on the content of photosynthetic pigments in the leaves of *Ficus benjamina* cuttings.

تیمار نوری Light treatment	کلروفیل *a* Chlorophyll *a* (mg/g)	کلروفیل *b* Chlorophyll *b* (mg/g)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g)	کاروتنوئید Carotenoids (mg/g)
سفید White	0.09 c	0.16 c	0.26 b	0.5 a
سرخ Red	0.19 a	0.21 b	0.41 a	0.19 b
آبی Blue	0.15 b	0.25 b	0.39 a	0.18 b
سرخ+آبی Blue+Red	0.11 c	0.3 a	0.39 a	0.17 b

در هر ستون میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different (P<0.05) based on LSD test.

بحث

نتایج این آزمایش نشان داد بیشترین طول ریشه فیکوس بنجامین در ترکیب نوری سرخ + آبی حاصل شد که تفاوت زیادی با نور آبی تک رنگ نداشت. کمترین طول ریشه در نور سرخ مشاهده شد. که با نتایج دیگر پژهشگران همسو بود. در قلمه‌های گل مینای دائمی (Michaelmas daisy) بیشترین طول ریشه زیر لامپ‌های LED آبی، سفید+ آبی و سفید و کمترین مقدار زیر نور سرخ حاصل شده است (Schroeter-zakrzewska & Kleiber, 2014). در ژربرا نیز نور آبی باعث افزایش طول ریشه شده در حالی که نور سرخ آن را مهار کرده است (Gabryszewska & Rudeniki, 1995). از سوی دیگر نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین تعداد انشعابات ریشه فیکوس بنجامین مربوط به نور سفید بود و نورهای آبی، سرخ و ترکیب آنها تعداد ریشه کمتری را باعث شد. غلظت کم هورمون اکسین در ریشه باعث تحریک ساختن هورمون اتیلن می‌شود و همچنین پروتون‌دهی و اسیدی کردن محیط ریشه و یا کلسیم سیتوزولی رشد طولی ریشه را کاهش می‌دهد ولی باعث تحریک رشد ریشه‌های جانبی می‌شود (Taiz *et al.*, 2015).

بیشترین وزن تر ریشه فیکوس بنجامین در نور LED سفید و پس از آن در نور ترکیبی سرخ + آبی و کمترین مقدار آن در نور سرخ حاصل شد. از نظر حجم ریشه نیز بیشترین مقدار مربوط به نور سفید بود که با سایر پژوهش‌ها همسو است. در قلمه‌های گوجه‌فرنگی گزارش شده است که زیر تابش نور سفید ریشه‌زایی موثرتری داشته‌اند در حالی که تشکیل ریشه در تاریکی، نور

سرخ یا آبی کاهش یافته است (Tyburski & Tretyn, 2004). در وانیل[1] نیز بیشترین وزن تر و خشک ریشه در نور فلورسنت و LED سفید گزارش شده است (Bello-Bello *et al*., 2016).

بیشترین شاخص ریشه‌زایی قلمه های فیکوس بنجامین مربوط به نور آبی و سپس نور سرخ بود و کمترین آن در ترکیب نور سرخ + آبی مشاهده شد. در مورد درصد ریشه‌زایی نیز بیشترین مقدار در نور سرخ و پس از آن در نور آبی به‌دست آمد. در این مورد نیز ترکیب سرخ + آبی نسبت به سایر تیمارها کمتر بود. تعداد قلمه‌های ریشه‌دار شده در درخت توس[2] در نور سرخ بیشترین و در نور آبی کمترین بود (Pinker, *et al*. 1989). استفاده از LED آبی برای قلمه‌های ریحان باعث کاهش زمان تشکیل ریشه و نیز تولید قلمه‌های متعارف در مقایسه با سایر انواع نور شده است (Lim & Eom, 2013). زیر لامپ‌های LED ساطع کننده نور سرخ تعداد بیشتری از قلمه‌های انگور ریشه‌دار شده است (Poudel *et al*., 2008). بنابراین با درنظر گرفتن مجموع ویژگی‌های درصد قلمه‌های ریشه‌دار شده، کیفیت ریشه‌ها (شاخص ریشه‌زایی) و نیز ویژگی‌های وزن و تعداد انشعابات ریشه‌ها می‌توان گفت نور سفید نسبت به سایر تیمارها نتایج قابل قبولی را در ریشه‌زایی قلمه‌ها باعث شده است.

بیشترین طول شاخساره در ترکیب نوری آبی + سرخ به دست آمد و بین نورهای سفید، سرخ و آبی تفاوت معنی‌دار نبود. ارتفاع شاخساره زیر نور ترکیبی سرخ + آبی در گیاه بلوبری افزایش یافت (Hung *et al*., 2016). در وانیل بیشترین طول شاخه به ترتیب در نور ترکیبی سرخ+ آبی (۱:۱) و نور آبی حاصل شده است (Bello-*Bello et al*., 2016). بیشترین سطح برگ فیکوس بنجامین در نور سفید و نور ترکیبی سرخ + آبی و کمترین مقدار آن در نور آبی مشاهده گردید. گزارش شده است که در توت‌فرنگی نور ترکیبی سرخ+ آبی باعث افزایش سطح ویژه برگ (سطح برگ به وزن ماده خشک گیاه) نسبت به نور سرخ تک رنگ شد (Samuoliene *et al*., 2010). اظهار شده است که نور سرخ به همراه نور آبی و نور فروسرخ سطح برگ و تعداد برگ را در مقایسه با نور سرخ یا نور آبی تک رنگ افزایش می‌دهد (Chung *et al*., 2010). همچنین بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی فیکوس بنجامین در نور سفید و ترکیب سرخ+ آبی و کمترین مقدار آن در نور سرخ مشاهده شد. بیشترین وزن تر و وزن خشک شاخه در وانیل در نور LED ترکیبی سرخ + آبی (۱:۱) نسبت به نور ال ای دی سفید، سرخ، آبی و لامپ فلورسنت حاصل شد (Bello-Bello *et al*., 2016). همچنین افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی کاهوی رشد یافته زیر نور LED سرخ+ آبی+ سفید نسبت به ترکیب آبی+ سرخ و نور فلورسنت گزارش شده است (Lin *et al*., 2013). در پژوهشی در گیاه بگونیا، وزن خشک شاخساره پس از قرار گرفتن گیاه در معرض نور آبی در مقایسه با نور طبیعی کاهش یافت (Mortensen, 1990). در ارکیده سیمبیدیوم[3] در شرایط درون شیشه‌ای وزن تر و خشک گیاهان در ترکیب نورهای ۷۵٪ آبی+ ۲۵٪ سرخ LED بیشتر از نورهای سرخ و آبی به تنهایی بوده است (Tanaka, *et al*. 1998).

بیشترین مقدار کلروفیل *a* فیکوس بنجامین در نور سرخ و کمترین مقدار در نور سفید، بیشترین کلروفیل *b* فیکوس بنجامین در نور ترکیبی سرخ + آبی و کمترین میزان در نور سفید مشاهده شد. در کلم نشان داده‌اند که بیشترین مقدار کلروفیل *a* و *b* مربوط به نور سرخ (۶۴۰ نانومتر) نسبت به نورهای فروسرخ (۷۳۰ نانومتر)، سبز (۵۲۵ نانومتر)، آبی (۴۴۰ نانومتر) و بنفش (۴۰۰ نانومتر) بود (Lefsrud *et al*., 2008). پژوهشی در *Tripterospermum japonicum* نشان داد میزان کلروفیل در نور ترکیبی سرخ + آبی (۵۰:۵۰) نسبت به تیمارهای سرخ+ آبی (۳۰:۷۰)، آبی، سرخ و فلورسنت بیشترین مقدار بود (Moon *et al*., 2006). بیشترین مقدار کلروفیل کل فیکوس بنجامین در نور سرخ و کمترین آن در نور سفید مشاهده شد. برای سنتز کلرفیل *a* نور سرخ و برای

۱- *Vanilla planifolia* Andrews ۲- *Betula pendula* ROTH ۳- *Cymbidium*

سنتز کلرفیل *b* نور آبی اثر مثبت دارد. بنابراین به نظر می‌رسد گیاه در شرایط نوری مختلف (غالب بودن نور سرخ یا آبی) مقدار کلرفیل کل را به سود گیاه تنظیم می‌کند. بنابراین بهبود رشد اندام هوایی در ترکیب نور آبی و سرخ می‌تواند به محتوای کلرفیل برگ مربوط باشد اما با این وجود تفاوت رشد گیاهان زیر نورهای مختلف را شاید بتوان به اثرات دیگر آنها در گیاه مثل باز و بسته شدن روزنه‌ها و دیگر واکنش‌های فیزیولوژیکی مرتبط به طیف‌های نور مرتبط دانست. طبق نتایج، بیشترین مقدار کاروتنوئید فیکوس بنجامین در نور سفید و با اختلاف زیاد نسبت به دیگر تیمارها مشاهده شد. در گیاهچه وانیل بیشترین مقدار کاروتنوئید زیر نور LED آبی، سفید و ترکیبی سرخ+ آبی (۱:۱) حاصل شده است (Ramrez-Mosqueda *et al*., 2017). همچنین در ارکیده *Doritaenopsis* در محیط آزمایشگاه بیوسنتز کاروتنوئید در زیر نور LED ترکیبی سرخ + آبی نسبت به نور تک رنگ LED سرخ و آبی و لامپ فلورسنت افزایش یافت (Shin *et al*., 2008). مقدار کاروتنوئید برگ کاهو زیر نور فلورسنت سرخ و فلورسنت آبی بیشترین و در LED سرخ و فلورسنت سفید کمترین مقدار را داشته است (Chen, 2014). میزان کاروتنوئید، آنتوسیانین و گزانتوفیل برگ‌های کاهو (*L. sativa* 'Red Cross') در نور آبی در مقایسه با لامپ‌های فلورسنت سفید خنک افزایش یافته است (Li & Kubota, 2009). بنابراین نتایج نشان‌دهنده تفاوت گیاهان مختلف در سنتز رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در شرایط نوری مختلف است. بررسی شاخص‌های رشد اندام هوایی قلمه‌های فیکوس بنجامین زیر تیمارهای نوری مورد آزمایش نشان داد که از نظر طول شاخساره، سطح برگ، تعداد انشعابات و وزن تر و خشک شاخساره ترکیب نور سرخ + آبی بهتر بود. همچنین از نظر شاخص‌های سطح برگ، و وزن تر و خشک شاخساره بین نور ترکیبی سرخ + آبی و نور سفید تفاوت معنی‌دار نبود.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش بیانگر این بود که کیفیت‌های مختلف نور یک فاکتور محیطی موثر بر رشد و نمو ریشه و اندام هوایی گیاهان است و این نشان می‌دهد که در گیاهان به واسطه گیرنده‌های نوری، بخش زیادی از تغییرات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و آناتومی به تغییرات در کیفیت نور بستگی دارد و تعیین طیف نور بهینه خاص یک گونه، برای رشد حداکثری گیاه مهم است.

بر اساس نتایج آزمایش در فیکوس بنجامین، به جز ویژگی طول ریشه که در نور ترکیبی LED سرخ + آبی طویل‌تر بود، در سایر شاخص‌های رشد ریشه بیشترین مقدارها مربوط به نور سفید بود. از نظر شاخص‌های رشد اندام هوایی طول شاخساره، سطح برگ، تعداد انشعابات و وزن تر و خشک شاخساره در ترکیب نور سرخ + آبی بهتر بود که البته از نظر شاخص‌های سطح برگ و وزن تر و خشک شاخساره بین نور ترکیبی سرخ + آبی و نور سفید تفاوت معنی‌دار نبود. بنابراین برای تولید قلمه‌های ریشه‌دار فیکوس بنجامین با کیفیت مطلوب، نور LED سفید با شدت ۷۵ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و نورگاه ۱۶ ساعت در شبانه‌روز قابل توصیه است. بر اساس نتایج مربوط به رشد اندام هوایی کاربرد نورهای آبی و سرخ همراه با نور سفید به‌نظر می‌رسد بتواند هر دو ویژگی ریشه‌زایی و رشد شاخساره را بهبود بخشد.

منابع

Bantis, F., Ouzounis, T., Radoglou, K. (2016). Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. *Scientia Horticulturae*, *198*, 277–283.

Bello-Bello, J.J., Martinez-Estrada, E., Caamal-Velazquez, J.H., Morales- Ramos, V. (2016). Effect of LED light quality on *In vitro* shoot proliferation and growth of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews). *African Journal of Biotechnology*, *15*, 272–277.

Briggs, W.R., Olney, M.A. (2001). Photoreceptors in plant photomorphogenesis to date, five photochromes, two cryptochrome, one phototropin and one superchrome. *Plant Physiology, 125*, 85–88.

Chen, X., Guo, W., Xu, X., Wang, L., Qiao, X. (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.

Chung, J.P., Huang, C.Y., Dai, T.E. (2010). Spectral effects on embryogenesis and plantlet growth of *Oncidium* 'Gower Ramsey'. *Scientia Horticulturae, 124*, 511–516.

Clouse, S.D. (2001). Integration of light and brassinosteroid signals in etiolated seedling growth. *Trends Plant Science, 6*, 443–445.

Criley R.A. (2011). Rooting Cuttings of Tropical Plants. In: Beyl C.A., Trigiano, R.N. (eds.). *Plant Propagation, Concepts and Laboratory Exercises*. CRC Press, Taylor and Francis Group, New York, London, pp. 213-224.

Currey, C.J., Hutchinson, V.A., Lopez, R.G. (2012). Growth, morphology, and quality of rooted cuttings of several herbaceous annual bedding plants are influenced by photosynthetic daily light integral during root development. *HortScience, 47*(1), 25-30.

Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B., Sabzalian, M.R. (2014). Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transaction of the Royal Society B: Biological Sciences, 369*(1640), 20130243.

Denbaars, S.P., Feezell, D., Kelchner, K., Pimputkar, S., Pan, C.C., Yen, C.C., Tanaka, S., Zhao, Y., Pfaff, N., Farrell, R., Iza, M (2013). Development of gallium-nitride-based lightemitting diodes (LEDs) and laser diodes for energy-efficient lighting and displays. *Acta Materialia, 61*(3), 945–951.

Gabryszewska, E., Rudnicki, R. (1995). The influence of light quality on the shoot proliferation and rooting of *Gerbera Jamesonii* in vitro. *Acta Agrobotanica, 48*(2), 105-111.

Gabryszewska, E., Rudeniki, R. (1997). The effects of light quality on the growth and development of shoots and roots of *Ficus benjamina in vitro*. *Acta Horticulturae, 418*, 163-168.

Ghasemi Ghehsare, M., Kafi, M. (2015). *Scientific and Practical Floriculture* (Volume II). Author Publisher: 313p. (In Persian).

Ghasemi Ghehsareh, M., Khosh-Khui, M. (2019). The effect of cutting type, leaf area, leaf number, putrescine and indole-3-Butyric acid on the rooting of Ficus cuttings (*Ficus elastica* Roxb. ex Hornem.). *Advances in Horticultural Science, 33*(1), 3-11.

Hung, C.D., Hong, C.H., Kim, S.K., Lee, K.H., Park, J.Y., Dung, C.D., Nam, M.W., Choi, D.H., Lee, H.I. (2016). In vitro proliferation and ex vitro rooting of microshoots of commercially important rabbit eye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) using spectral lights. *Scientia Horticulturae, 211*, 248–254.

Kevin, W. (2000). 'Photo-manipulation-boxes': An instrument for the study of plant photobiology. *Plant Photobiology. 26*(3), 15.

Kim, H.J., Lin, M.Y., Mitchell, C.A. (2019). Light spectral and thermal properties govern biomass allocation in tomato through morphological and physiological changes. *Environmental and Experimental Botany, 157*, 228-240.

Kim, K.J., Kil, M.J., Song, J.S., Yoo, E.H., Son, K.C., Kays, S.J. (2008). Efficiency of volatile formaldehyde removal by indoor plants: contribution of aerial plant parts versus the root zone. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 133*(4), 521-526.

Lee, N.N., Choi, Y.E., Moon, H.K. (2014). Effect of LEDs on shoot multiplication and rooting of rare plant *Abeliophyllum distichum* Nakai. *Journal of Plant Biotechnology, 41*, 94–99.

Lefsrud, M.G., Kopsell, D.A., Sams, C.E. (2008). Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience, 43*, 2243–2244.

Li, H., Tang, C., Xu, Z. (2013). The effect of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis *in vitro*. *Scientia Horticalturae, 150*, 117-124.

Li, Q., Kubota, C. (2009). Effects of supplemental light quality in growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany, 67*, 59–64.

Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembrane. *Methods in Enzymology, 148*, 350-382.

Lim, Y.J., Eom, S.H. (2013). Effect of different light type on root formation of *Ocimum basilicum* L. Cuttings. *Scientia Horticulturae, 164*, 552-555.

Lin, K.H., Huang, M.Y., Huang, W.D., Hsu, M.H., Yang, Z.W., Yang, C.M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). *Scientia Horticulturae, 150*, 86–91.

Liu, Y., Roof, S., Ye, Z., Barry, C., van, Tuinen, A., Vrebalov, J. (2004). Manipulation of light signal transduction as a means of modifying fruit nutritional quality in tomato. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 101*, 9897–9902.

Lopez, R.G., Runkle, E.S. (2008). Photosynthetic daily light integral during propagation influences rooting and growth of cuttings and subsequent development of New Guinea impatiens and petunia. *HortScience, 43*(7), 2052-2059.

Mitchell, C., Both, A.J., Bourget, M., Burr, J., Kubota, C., Lopez, R., Morrow, R., Runkle, E. (2012). LEDs: The future of greenhouse lighting. *Chronica Horticulturae, 52*, 1-9.

Moon, H.K., Park, S.U., Kim, Y.W., Kim, C.H.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.

Mortensen, L.M. (1990). Effects of temperature and light quality on growth and flowering of *Begonia·hiemalis* Fotsch and *Campanula isophylla* Moretti. *Scientia Horticulturae, 44*, 309–314.

Nassarawa, S. S., Abdelshafy, A. M., Xu, Y., Li, L., Luo, Z. (2021). Effect of light-emitting diodes (LEDs) on the quality of fruits and vegetables during postharvest period: A review. *Food and Bioprocess Technology, 14*, 388-414.

Nelson, J.A., Bugbee, B. (2014). Economic analysis of greenhouse lighting: light emitting diodes vs. high intensity discharge fixtures. *PLoS ONE, 9*(6), e99010. doi:10.1371/journal.pone.0099010.

Opdam, J.G., Schoonderbeek, G.G., Heller, E.B., Gelder, A. (2005). Closed greenhouse: a starting point for sustainable entrepreneurship in horticulture. *Acta Horticulturae, 691*, 517–524.

Pinker, I., Zoglauer, K., Coring, H. (1989). Influence of light on adventitious root formation in birch shoot cultures *in vitro*. *Biologia Plantarum, 31*, 254-260.

Poudel, P.R., Kataoka, I., Mochioka, R. (2008). Effect of red and blue-light emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell, Tissue and Orang Culture, 92*, 147-153.

Ramrez-Mosqueda, M.A., Iglesia-Andrea, L.G., Luan-Sanchez, I.J. (2017). Light quality affects growth and development of in vitro plantlet of *Vanilla planifolia* Jacks. *South African Journal of Botany, 109*, 288-293.

Samuoliene, G., Brazaityte, A., Urbonaviciute, A., Šabajeviene, G., Duchovskis, P. (2010). The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. *Zemdirbyste-Agriculture, 97*, 99-104.

Schoefs, B. (2002). Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. *Trends in Food Science and Technology, 13*(11), 361-371.

Schroeter-zakrzewska, A., Kleiber, T. (2014). The effect of light color and type of lamps on rooting and nutrient status in cutting of Michaelmas daisy. *Bulgarian Journal of Agricultural Science, 6*, 1426-1434.

Shimazaki, K., Doi, M., Assmann, S.M., Kinoshita, T. (2007). Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant Biology, 58*, 219–247.

Shin, K.S., Murthy, H.N., Hue, J.W., Hahn, E.J., Paek, K.Y. (2008). The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured Doritaenopsis plants. *Acta Physiologiae Plantarum, 30*, 339-343.

Tanaka, M., Takamura, T., Watanabe, H., Endo, M., Yanagi, T., Okamoto, K. (1998). In vitro growth of Cymbidium plantlets cultured under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 73*, 39–44.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (Ed. 6). Sinauer Associates Incorporated. 761p.

Tyburski, J., Tretyn, A. (2004). The role of light and polar auxin transport in root regeneration from hypocotyls of tomato seedling cuttings. *Plant Growth Regulation, 42*, 39-38.

Wozny, A., Miler, N. (2016). LEDs application on ex vitro rooting and acclimatization of chrysanthemum (*Chrysanthemum* × *grandiflorum* Ramat. / Kitam.). *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 19*(4), 1-7.

Flower and Ornamental Plants (2023), 7(2):173-184
Research article

The effect of different LED light spectrums on rooting and growth of benjamin fig cuttings

Zohreh Aslami, Masoud Ghasemi Ghehsareh*, Saeid Reezi

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord
mghasemi1352@gmail.com

Abstract

Sunlight is the only source of natural energy for the growth of plants. Natural light is a cost- effective source for commercial agricultural production for economic reasons. But according to the environmental conditions, artificial light can also be used for cultivation of plants. One of the important horticultural activities is vegetative propagation of plants by rooting of cuttings. Due to the short length of cuttings and the economic nature of propagation throughout the year, it is possible to use multi-tier growth chambers in which optimal conditions are provided for rooting. One of the widely used indoor ornamental plants is Benjamin fig, whose commercial propagation method is by rooting of cuttings. In order to optimize the light conditions necessary for the rooting and growth of *Ficus benjamina* 'Starlight' cuttings, the effect of different LED light spectrums (red, blue, red + blue and white) on root regeneration and growth of its cuttings was studied. Three months after planting, rooting percentage, rooting index and morphological indices were measured. The results showed that except for the root length trait which was the longest (16.8 cm) in the combined light of red + blue LED, the highest number of root branches (12), root fresh weight (1.42 g), Root dry weight (0.36 g) and root volume (2.8 cm3) were related to white light. In terms of shoot growth indices, the highest leaf area (10.9 cm2) and shoot fresh weight (4.82 g) were observed in white light and the highest shoot dry weight (1.4 g), shoot length (23.2 cm) and shoot number (3/6) were observed in blue + red light. The highest rooting percentage (100%) was observed under red light and the highest rooting index (4.5) was related to blue LED light. Based on the results of this experiment, the white light spectrum has a better effect on the root growth of the cuttings, and for the growth of the aerial parts of the cuttings, the combined red + blue light has a better effect than the blue and red monochromic LEDs. In general, white LED light is recommended to produce rooted Benjamin fig cuttings with good quality.

Keywords: Artificial light, rooting index, root regeneration, growth chamber.