گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۱)، ۷(۲): ۲۱۳-۲۳۸
مقاله پژوهشی

بهبود شاخص‌های رشد رویشی و تسریع گلدهی دانهال‌های اطلسی با استفاده از تغییر تدریجی ترکیب طیفی نور در دوران رشد

آزاده رشیدی[۱]، علی تهرانی فر[۱]*، لیلا سمیعی[۲]

۱. گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

۲. پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

tehranifar@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۲

چکیده

با توجه به تأثیر برخی از طیف‌های نوری مانند آبی و قرمز بر ساخت و فعالیت رنگدانه‌های مختلف گیاهی، در سال‌های اخیر شیوه‌های متفاوتی از کاربرد لامپ‌های ال ای دی در محیط‌های پرورش گیاهان و برای بهبود رشد گیاهان بررسی شده است. هدف از انجام این پژوهش، مقایسه تأثیر ترکیب‌های طیفی نور با اجزایی ثابت و یا متغیر، نور لامپ فلورسنت و نور لامپ پرفشار سدیم بر شاخص‌های رویشی نشاء اطلسی، کارایی مصرف انرژی در طی رشد نشاء و تغییر رفتار رویشی و زایشی گیاهان بالغ بود. نشاءهای اطلسی به مدت ۲۸ روز زیر تیمارهای نوری مختلف قرار گرفتند. در برخی از تیمارهای نوری، نسبت ترکیب نورهای آبی: قرمز (شامل ۱۵٪ آبی: ۸۵٪ قرمز، ۳۰٪ آبی :۷۰٪ قرمز و۴۵٪ آبی: ۵۵٪ قرمز) در طی دوران رشد نشاءها ثابت بود. در برخی دیگر از تیمارهای نوری، درصد نورهای آبی و قرمز برابر برنامه زمان‌بندی تغییر کرد که شامل افزایش تدریجی میزان نور قرمز و یا کاهش تدریجی آن بود. همچنین تأثیر نور لامپ‌های فلورسنت و پرفشار سدیم نیز بررسی شد. پس از پایان دوره رشد نشاءها زیر رژیم‌های مختلف نوری، گیاهان به گلخانه‌ای با شرایط محیطی یکسان منتقل شدند تا رشد رویشی و زایشی گیاهان بالغ سنجیده شود. نتایج بیانگر بهبود شاخص‌های رشد گیاهان اطلسی با ایجاد تغییرهای تدریجی در ترکیب طیفی در طی رشد نشاءها بود. وزن‌های خشک و تر شاخساره و ریشه، سطح و تعداد برگ، محتوی رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید و کارایی مصرف انرژی در تیمار نوری که در ابتدا نور آبی تک‌رنگ حضور داشت و سپس میزان نور قرمز به‌تدریج افزایش یافته بود، به شکل معنی‌دار بیش از سایر تیمارهای نوری بود. از سوی دیگر دیده شد که شاخص‌های رشد رویشی گیاهان بالغ زیر تأثیر ترکیب طیفی به‌کاررفته در دوران نشاء قرار گرفت و گیاهان بالغی که نشاهای آن‌ها در ابتدای رشد تحت تأثیر نور آبی تک‌رنگ بودند و به‌تدریج از مقدار نور آبی محیط کاسته شده بود، دارای وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، حجم ریشه، تعداد و طول شاخه‌های جانبی بیشتری در مقایسه با سایر گیاهان بودند. همچنین دیده شد که اگرچه تغییرهای ترکیب طیفی نور در طی رشد نشاء بر زمان گلدهی گیاهان بالغ به شکل معنی‌دار تأثیرگذار است اما تفاوتی معنی‌دار میان برخی از تیمارهای نوری (نسبت ثابت ۴۵٪ آبی: ۵۵٪ قرمز، نور لامپ پرفشار سدیم و افزایش تدریجی میزان نور قرمز) دیده نشد. ایجاد تغییر در ترکیب طیفی نور در طی دوران رشد نشاءها، توانست افزون بر افزایش کیفیت رویشی نشاءها و گلدهی گیاهان بالغ، کارایی مصرف انرژی را به شکل قابل‌توجهی افرایش دهد که این

موضوع در روند تولید محصول‌های گلخانه‌ای از منظر اقتصادی نیز قابل‌توجه است. نتایج این پژوهش بیانگر آینده‌ای متفاوت در نحوه کاربرد سامانه‌های نوردهی در محیط پرورش گیاهان است.

واژه‌های کلیدی: ریخت‌زایی وابسته به نور، کارایی انرژی، گلدهی، سامانه نوردهی.

مقدمه

در سال‌های اخیر کاربرد منابع نور مصنوعی برای بهبود رشد گیاهان در محیط‌هایی مانند گلخانه‌ها و اتاقک‌های رشد، موردتوجه بسیاری از پرورش‌دهندگان قرارگرفته است و این مسئله منجر به گسترش پژوهش‌های مربوط به چگونگی تأثیر ویژگی‌های مختلف نور (مدت‌زمان حضور نور، شدت آن و ترکیب طیفی) بر جنبه‌های مختلف رشد رویشی و زایشی گیاهان شده است (Bantis *et al*., 2018; Park *et al*., 2022). نتایج پژوهش‌های مرتبط با ترکیب‌های طیفی نور بیانگر این است که در میان دامنه نور مرئی (۷۰۰-۴۰۰ نانومتر)، نورهای آبی (۵۰۰-۴۰۰ نانومتر) و قرمز (۷۰۰-۶۰۰ نانومتر) بیش از سایر طیف‌های نوری در ساخت و فعالیت رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهان ازجمله کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها[۱] و در نتیجه بهبود شاخص‌های رشد رویشی گیاهان مؤثر هستند (Zheng & van Labeke, 2017; Poel & Runkle, 2017; Simkin *et al*., 2022). بنابراین می‌توان انتظار داشت که با حضور چنین طیف‌هایی در محیط پرورش گیاهان، شاخص‌های رشد آنان بهبود یابد و نتایج پژوهش‌های مختلف نیز تأییدکننده چنین فرضیه‌ای هستند. به‌عنوان‌مثال، بهبود شاخص‌های رشد رویشی گیاهانی زینتی مانند اطلسی[۲]، شمعدانی[۳]، جعفری[۴]، حنا[۵]، مریم‌گلی[۶]، رز[۷] و داوودی[۸] با کاربرد ترکیب نورهای آبی و قرمز گزارش‌شده است (Heo *et al*., 2002; Currey & Lopez, 2013; Ouzounis *et al*., 2014b; Owen & Lopez, 2017; Kong *et al*., 2018). بااین‌حال نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که هر یک از گونه‌های گیاهی برای بهبود رشد، به میزان خاص و متفاوتی از نسبت ترکیب نورهای آبی: قرمز نیاز دارند تا در مقایسه با نورهای رایج (نور لامپ‌های فلورسنت یا پرفشار سدیم) عملکرد بهتری داشته باشند.

از سوی دیگر در پژوهش‌های گذشته، تأثیر نسبت‌های ثابت از ترکیب نورهای آبی: قرمز موردبررسی قرارگرفته است (Bantis *et al*., 2018; Zheng *et al*., 2019) و تغییر تدریجی در ترکیب طیفی نور در طی دوران رشد گیاهان کمتر موردتوجه قرارگرفته است. مطالعات محدود در رابطه با شیوه نوردهی متغیر که به‌صورت محدود بر روی سبزی‌هایی مانند کاهو (*Lactuca sativa*) انجام‌گرفته است، نشان داده که کاربرد متناوب نورهای آبی و قرمز در مقایسه با کاربرد ثابت و یکنواخت طیف‌های نور به نفع رشد رویشی کاهو بوده است (Kuno *et al*., 2017; Chen *et al*., 2019; Masuda *et al*., 2021; Ohtake *et al*., 2021). نتایج قابل‌توجه چنین پژوهش‌هایی این احتمال را مطرح می‌کند که با تغییر تدریجی نسبت نورهای آبی: قرمز به‌جای نسبت ثابت از این نورها در طی دوران رشد گیاهان، امکان بهبود رشد گیاهان وجود دارد.

۱- Chlorophylls and carotenoids

۲- *Petunia* × *hybrida* ‘Duvet Red’

۳- *Pelargonium* × *hortorum* ‘Pinto Premium Salmon’

۴- *Tagetes erecta* ‘Antigua Orange’

۵- *Impatiens hawkeri* ‘Celebrette Frost’

۶- *Salvia splendens* ‘Red Vista’

۷- *Rosa* × *hybrida* ‘Scarlet’

۸- *Chrysanthemum morifolum* ‘Coral Charm’

نورهای آبی و قرمز افزون بر فعالیت رنگدانه‌های فتوسنتزی، تأثیر قابل‌توجهی بر ساخت و فعالیت سایر رنگدانه‌های گیرنده نور ماند فیتوکروم‌ها و کریپتوکروم‌ها[1] دارند. با توجه به اینکه بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاهان ازجمله جوانه‌زنی، رشد زایشی و پاسخ به برخی تنش‌های محیطی به نحوه فعالیت گیرنده‌های نور بستگی دارد، بنابراین سعی بر آن بوده است تا با تغییر ترکیب طیفی نور محیط، پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان مانند گلدهی، به شیوه‌ای دقیق‌تر کنترل شود. به‌عنوان‌مثال و بر اساس پژوهش‌های انجام‌گرفته، نورهای قرمز، قرمز دور و آبی بیش از سایر طیف‌های نوری، در تحریک بیان ژن‌های مرتبط با گلدهی مؤثر هستند. به همین منظور، در برخی از پژوهش‌ها سعی شده است تا تأثیر تغییر نسبت نور قرمز : قرمز دور بر فرایند گلدهی مورد مطالعه قرار گیرد که ازجمله این گیاهان می‌توان به بنت قنسول(Islam *et al*., 2012)، گل حنا، شمعدانی، اطلسی، گل میمون (Kohler & Lopez, 2021) و آرابیدوپسیس (King *et al*., 2008) اشاره کرد. همچنین تحریک گلدهی گیاهانی مانند داوودی (Jeong *et al*., 2014) و اطلسی (Fukuda & Olsen, 2011; Gautam *et al*., 2015) تحت نور آبی گزارش شده است.

شرایط محیطی رشد از جمله کیفیت و کمیت نور بر چگونگی رشد نشاء گیاهان و توانایی آنها برای سازگاری مناسب پس از جابجایی تأثیر می‌گذارد. پژوهش‌هایی مبنی بر چگونگی تأثیر ترکیب‌های طیفی بر رشد نشاء برخی گیاهان زینتی مانند داوودی (Zheng *et al*., 2020)، گل حنا، شمعدانی و اطلسی (Currey & Lopez, 2013; Kohler & Lopez, 2021) انجام گرفته است و به نظر می‌رسد که حضور نورهای آبی و قرمز به بهبود وضعیت رشد نشاءها و یکنواختی رویش آنان کمک می‌کند. با این حال اطلاعات اندکی در دسترس است که کیفیت و کمیت نور در طی دوران رشد نشاء چگونه می‌تواند بر رشد رویشی و یا رشد زایشی گیاهان بالغ تأثیر بگذارد.

لامپ‌های ال ای دی ازجمله منابع نوری هستند که در چند دهه اخیر به دلایل گوناگون مورد توجه و استقبال پژوهشگران قرار گرفته‌اند. به‌عنوان‌مثال از آنجایی که این لامپ‌ها بر خلاف سایر منابع نور مصنوعی، توانایی تولید طیف‌های مشخص از نور را دارند، بنابراین این امکان وجود دارد که با استفاده از این لامپ‌ها کنترل دقیق‌تری بر توزیع طیفی موجود در محیط رویش گیاهان داشت. از سوی دیگر لامپ‌های ال ای دی در مقایسه با لامپ‌های فلورسنت و پرفشار سدیم مقدار بیشتری از انرژی الکتریکی را به نور تبدیل می‌کنند، گرمای کمتری تولید می‌کنند، عمر بیشتری دارند و توانایی کار با ولتاژهای پایین را نیز دارند. بنابراین کاربرد لامپ‌های ال ای دی می‌تواند از نظر اقتصادی به نفع تولیدکنندگان باشد (Sipos *et al*., 2020; Fujiwara, 2020). تاکنون، پژوهش‌های اندکی در رابطه با چگونگی تأثیر کاربرد لامپ‌های ال ای دی در محیط پرورش گیاهان بر میزان مصرف برق و کارایی مصرف انرژی انجام پذیرفته است.

با توجه به اطلاعات فوق، در این پژوهش سعی شده است تا تأثیر تغییرات تدریجی در ترکیب طیفی نور در طی رشد نشاء اطلسی به‌عنوان گیاه مدل بررسی گردد و مشخص شود که آیا چنین شیوه نوردهی در مقایسه با کاربرد نسبت‌های ثابت نور آبی: قرمز در طی فرایند رشد نشاءها منجر به بهبود شاخص‌های رشد می‌شوند یا خیر؟ میزان مصرف برق و کارایی انرژی تحت تیمارهای نوری اعمال‌شده از دیگر مواد موردمطالعه در پژوهش پیش رو است. همچنین چگونگی تأثیر ترکیب‌های طیفی متفاوت در طی دوران رشد نشاء بر نحوه رشد رویشی و زایشی گیاهان بالغ از دیگر اهداف این مطالعه است.

۱- Phytochromes and cryptochromes

مواد و روش‌ها

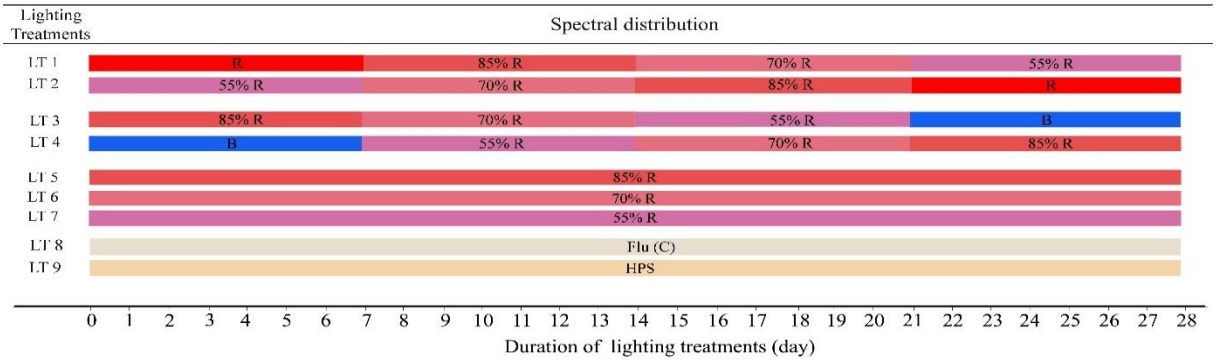
آماده‌سازی ماده گیاهی

بذرهای گیاه اطلسی (*Petunia× hybrida* 'Shock Wave') در سینی‌های کشت ۲۰ خانه (ابعاد خانه برابر با ۵ × ۵ سانتی‌متر) حاوی کوکوپیت کاشته شدند. سینی‌ها در اتاق رشد با شرایط محیطی کنترل‌شده شامل دمای ۲۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵۵٪ و دی‌اکسید کربن ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و با نور طبیعی غیرمستقیم به‌شدت ۲۰ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه قرار گرفتند. هنگامی‌که دو برگ حقیقی مشاهده شد سینی‌ها برای انجام تیمارهای نوری موردنظر به اتاقک‌های کاشت منتقل شدند.

طراحی آزمایش و تیمارها

برای بررسی اثر ترکیب‌های مختلف طیف‌های نور بر شاخص‌های رویشی نشاءهای اطلسی، آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. هر تکرار شامل یک عدد سینی کاشت با ۲۰ خانه بود. تیمارهای نوری و تغییرات اعمال‌شده در هر یک از ترکیب‌های طیفی در طی ۲۸ روز از رشد نشاء در شکل شماره ۱ نشان داده شده‌اند. در چهار تیمار اول، تغییرات تدریجی در نسبت نورهای آبی : قرمز در طی دوران رشد نشاءها اعمال شد. در این تیمارها، پس از سپری شدن ۷ روز از اعمال ترکیب طیفی موردنظر، سینی‌های کاشت به اتاقک کاشت با نسبت‌های متفاوت آبی: قرمز منتقل شدند. در تیمارهای شماره ۱ و ۳، افزایش تدریجی نور آبی اعمال شد، درحالی‌که در تیمارهای شماره ۲ و ۴ کاهش تدریجی نور آبی انجام پذیرفت.

برخلاف تیمارهای نوری شماره ۱ تا ۴، تیمارهای نوری شماره ۵ تا ۷ شامل نسبتی ثابت از ترکیب نوری آبی: قرمز در طی دوران رشد نشاءها بودند. تیمار نوری شماره ۵ شامل ۱۵٪ آبی: ۸۵٪ قرمز، تیمار نوری شماره ۶ شامل ۳۰٪ آبی :۷۰٪ قرمز و تیمار نوری شماره ۷ شامل ۴۵٪ آبی: ۵۵٪ قرمز بود. همچنین تیمار نوری شماره ۸ و ۹ شامل نور لامپ‌های فلورسنت (شاهد) و پرفشار سدیم بودند. پس از طی شدن ۲۸ روز، از هر تکرار ۱۵ نشاء (۴۵ نشاء از هر تیمار نوری) به شکل تصادفی برای داده‌برداری انتخاب شدند و مابقی آنان، ۵ نشاء از هر تکرار (۱۵ نشاء از هر تیمار نوری) به محیط گلخانه با شرایط محیطی کاملاً مشابه منتقل شدند تا تأثیر اعمال تیمارهای نوری مختلف در دوران رشد نشاء، بر نحوه رشد و گلدهی گیاهان بالغ موردبررسی قرار گیرد.



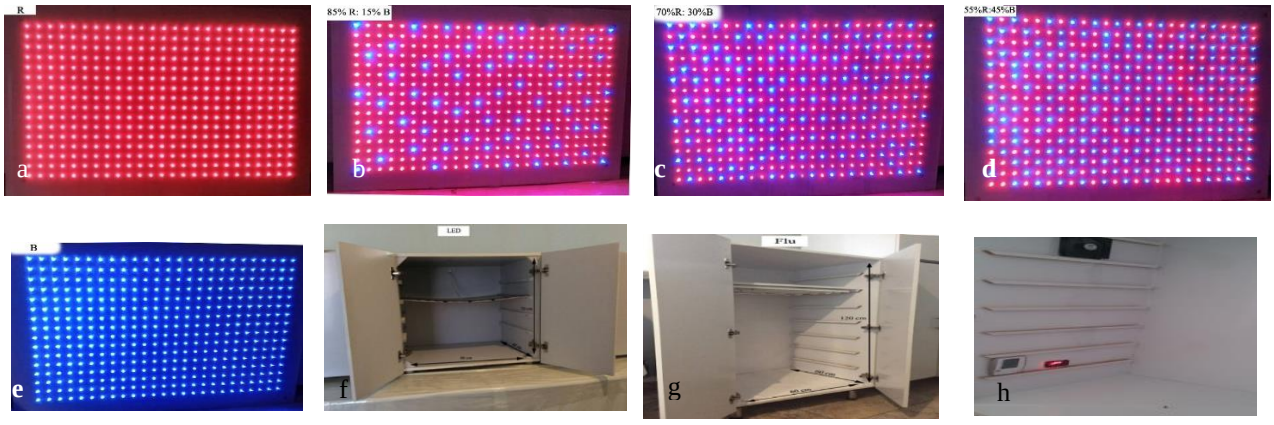
شکل ۱- برنامه زمان‌بندی ایجاد تغییر تدریجی در نسبت‌های نورهای آبی و قرمز در طی رشد نشاء اطلسی به مدت ۲۸ روز، C: تیمار شاهد.

Figure 1- The schedule to modifying the ratios of blue and red lights during seedling stage for 28 days, C: Control treatment.

ساختار اتاقک‌های رشد و سامانه نوردهی

برای تهیه نسبت‌های مختلف آبی : قرمز از لامپ‌های ال ای دی قرمز با طول‌موج ۶۲۵ نانومتر و آبی با طول‌موج ۴۷۶ نانومتر (شرکت سنیانگ لایت[۱]، کشور چین) استفاده شد که به تعداد متفاوت بر روی صفحاتی از جنس پلاستیک شیشه مانند[۲] (سایز ۵۵ × ۴۵ سانتی‌متر) نصب شدند تا نسبت‌های مختلف آبی: قرمز به شرح ۱۰۰٪ قرمز، ۱۵٪ آبی: ۸۵٪ قرمز و ۳۰٪ آبی: ۷۰٪ قرمز، ۴۵٪ آبی: ۵۵٪ قرمز و ۱۰۰٪ آبی به دست آیند (شکل۲). لامپ فلورسنت (۳۶ وات، شرکت سان‌شاین، ایران) و لامپ پرفشار سدیم (۷۰ وات، شرکت نور افشار ایران) نیز مورداستفاده قرار گرفتند. لامپ‌های فلورسنت و پرفشار سدیم نیز بر روی صفحه‌های پلاستیک شیشه مانند (سایز ۵۵ ×۴۵) سانتی‌متر نصب شدند.

برای هر یک از ترکیب‌های نوری آبی: قرمز و همچنین لامپ‌های فلورسنت و پرفشار سدیم اتاقک‌های کاشت جداگانه و مستقل مورداستفاده قرار گرفت. اندازه اتاقک‌هایی که صفحات حاوی لامپ‌های ال ای دی در آن‌ها قرار گرفتند برابر با ۷۰×۶۰×۶۰ سانتی‌متر و اندازه اتاقک‌هایی که صفحات حاوی لامپ‌های فلورسنت و پرفشار سدیم در آن‌ها قرار گرفتند ۱۲۰×۶۰×۶۰ سانتی‌متر بود. صفحات حاوی لامپ‌ها در داخل اتاقک‌ها قرار داده شدند و با کمک ریل‌های موجود بر روی دیواره اتاقک‌ها، فاصله صفحات حاوی لامپ‌ها با سطح سینی‌های کاشت به‌گونه‌ای تنظیم شد که شدت نور در سطح سینی‌های کاشت در تمامی تیمارهای نوری، برابر و یکسان (۱۴۰ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه) بود (شکل ۲). همچنین برای تجزیه ترکیب طیفی موجود در هر یک از اتاقک‌ها از دستگاه اسپکترومتر (سکونیک مدل سی-۷۰۰[۳]، ایالات‌متحده آمریکا) استفاده شد (شکل ۳).

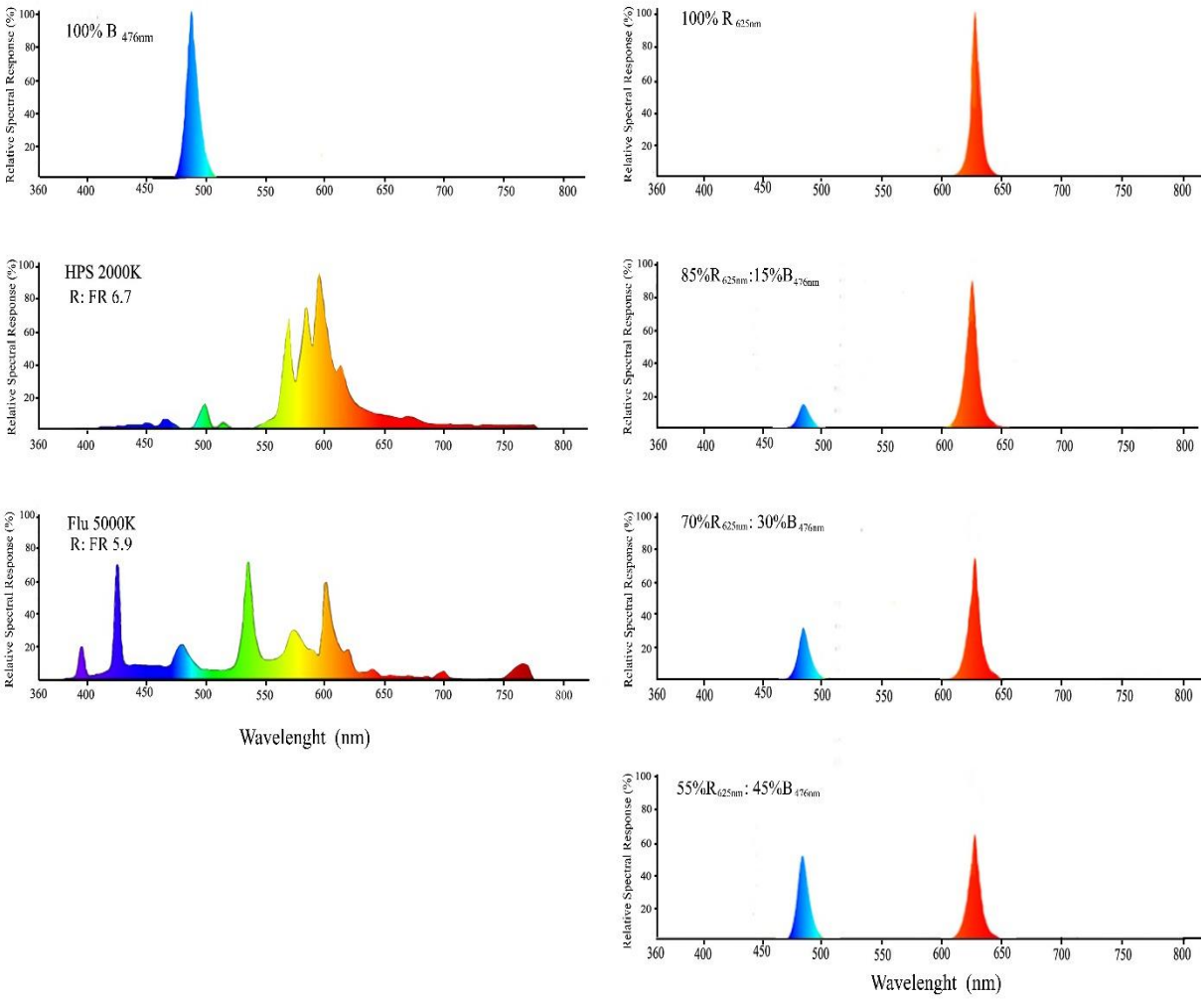


شکل ۲- لامپ‌های ال ای دی قرمز (۶۲۵ نانومتر) و آبی (۴۷۶ نانومتر) به تعداد متفاوت بر روی صفحه‌های جداگانه پلاستیک شیشه مانند نصب شدند تا نسبت‌های آبی: قرمز موردنیاز به دست آید(a-e). اتاقک‌های کشت مورداستفاده برای صفحه‌های ال ای دی(f)، لامپ‌های فلورسنت و پرفشار سدیم (g)، سامانه تهویه متصل به ترموستات کنترل دما و رطوبت برای خروج دما و رطوبت اضافه از اتاقک‌ها (h).

Figure 2- Red (625 nm) and blue (476 nm) LED lamps were installed on different plexiglass plates to obtain the required blue: red ratios (a-e). Growth chambers used for LEDs (f), fluorescent and HPS lamps(g), and ventilation system was connected to a temperature control thermostat to remove excess temperature and humidity from chambers(h).

۱- SENYANG LIGHT ۲- Plexiglass ۳- Sekonic, C-700

طول مدت‌زمان روشن بودن منابع نوری در تمامی اتاقک‌های کاشت ۱۶ ساعت (از ساعت ۷ صبح الی ۱۱ شب) بود. مقدار مصرف برق هر یک از اتاقک‌ها با استفاده از وات‌متر پریزدار (شرکت یونی-تی، مدل یو تی ۲۳۰ بی، هنگ‌کنگ[۱]) اندازه‌گیری شد. در طی دوران رشد نشاءها، دمای هوا ۱ ±۲۳ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ±۶۵٪ و دی‌اکسید کربن ۵۰±۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. برای اندازه‌گیری مقدار دی‌اکسید کربن از دستگاه سنج‌گر دی‌اکسید کربن (مارمونیکس مدل ام[۲]-۲۰۰۰، کانادا) و برای کنترل دقیق‌تر دما و رطوبت از یک سیستم خودکار استفاده شد (سیستم کنترلی پالس سلکت[۳]، ایران). این سیستم در صورت نیاز و با بکار انداختن سیستم تهویه، دما و رطوبت اضافه را از هر یک از اتاقک‌ها خارج می‌کرد (شکل ۲).



شکل ۳- توزیع طیفی تیمارهای نوری بکارگرفته شده در طی رشد نشاءها. شدت نور در هر یک از تیمارهای نوری برابر با ۱۴۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه بود.

Figure 3- Spectral distribution of light treatments used during seedling growth. The light intensity in each of the light treatments was equal to 140 µmol $m^{-2}s^{-1}$.

۱- UT230B, UNI-T CO., Hong Kong ۲- Marmonix M-2000 ۳- Pulselect control system Ltd., Iran

انتقال به گلدان و شرایط گلخانه

پس از طی شدن ۲۸ روز و اتمام برنامه اعمال تیمارهای نوری بر نشاءها، ۱۵ نشاء باقی‌مانده از هر یک از تیمارهای نوری به گلدان‌هایی با اندازه دهانه ۱۰ سانتی‌متر در بستر تهیه‌شده از مخلوط ۶۰٪ کوکوپیت، ۱۰٪ پیت خزه، ۱۵٪ پرلایت و ۱۵٪ ورمی‌کمپوست بودند، منتقل شدند و تمامی گلدان‌ها در گلخانه‌ای با شرایط محیطی یکسان قرار گرفتند. در این گلخانه دما ۱ ± ۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت ۵ ±۵۵٪، شدت نور ۱۸۰ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه و دی‌اکسید کربن ۵۰ ±۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. پس از گذشت ۹۰ روز، شاخص‌های رویشی و زمان گلدهی گیاهان داده‌برداری شدند تا مشخص شود که اعمال تیمارهای نوری با ترکیب‌های طیفی متفاوت در طی دوران رشد نشاء چه تأثیری بر رشد گیاهان بالغ داشته است. تعداد روزها پس از شروع اعمال تیمارهای نوری بر نشاءها تا مشاهده اولین غنچه گل در گیاهان بالغ به‌عنوان معیار زمان گلدهی در نظر گرفته شد.

داده‌برداری

در این آزمایش، داده‌برداری در دو مرحله انجام گرفت. در مرحله اول، پس از آنکه نشاءها به مدت ۲۸ روز تحت تأثیر تیمارهای نوری قرار گرفتند، داده‌برداری انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، ابتدا اندام هوایی و ریشه گیاهان به‌صورت جداگانه با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ توزین شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفت و نمونه‌ها دوباره توزین شدند. طول ساقه و ریشه با خط کش اندازه‌گیری شد. برای تعیین محتوی کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید برگ از روش آرنون (۱۹۴۹) و سیانی (۲۰۰۶) استفاده شد. فرمول‌های (۱) تا (۳) برای اندازه‌گیری شاخص سلامت، ضریب استحکام گیاه و کارایی مصرف انرژی استفاده شد (Fan *et al*., 2013; Kohler & Lopez, 2021):

$$\text{کارایی انرژی} = \frac{\text{وزن خشک (میلی‌گرم)}}{\text{مصرف میزان برق (کیلو وات ساعت)}} \quad (۱)$$

$$\text{شاخص سلامتی} = [\frac{\text{قطر ساقه (میلی‌متر)}}{\text{ارتفاع ساقه سانتی‌متر)}}] \times \text{وزن خشک (میلی‌گرم)} \quad (۲)$$

$$\text{ضریب استحکام} = \frac{\text{طول ساقه (سانتی‌متر)}}{\text{قطر ساقه (میلی‌متر)}} \quad (۳)$$

داده‌برداری مرحله دوم ۶۰ روز پس از انتقال نشاءهای رشد یافته تحت تیمارهای مختلف نوری به گلخانه انجام پذیرفت و صفاتی مانند وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، طول ساقه و طول ریشه، حجم ریشه، زمان گلدهی گیاهان بررسی شد. برای اندازه‌گیری حجم ریشه هر ریشه داخل استوانه مدرج با سطح مشخصی از آب قرار داده شد و با توجه حجم آب، حجم ریشه بر اساس سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد. تجزیه واریانس داده‌ها (ANOVA, $P \leq 0.05$) با استفاده از نرم‌افزار JMP (نسخه ۱۳) انجام گرفت و از آزمون توکی در سطح احتمال ۰/۰۵ برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تیمارهای نوری متفاوت در طی دوران رشد نشاءها، تأثیر معنی‌دار بر ویژگی‌های رویشی مورد مطالعه نشاءها (جدول ۱) و صفات رویشی و زمان گلدهی گیاهان بالغ (جدول ۲) داشت. نتایج نشان داد که ایجاد تغییرات تدریجی در ترکیب طیفی نور در طی دوران رشد نشاءها در مقایسه با نسبت‌های ثابت آبی: قرمز، منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه، ریشه و وزن خشک کل نشاءها شد. در تیمار نوری که در ابتدای رشد نشاءها نور تک طیف آبی حضور داشت و سپس مقدار نور آبی کاهش و مقدار نور قرمز افزایش یافت (تیمار نوری شماره ۴) بیشترین وزن تر (۲/۹ گرم) و خشک ساقه (۰/۵ گرم)، وزن تر (۰/۳۸ گرم) و خشک ریشه (۰/۰۸ گرم)، وزن تر(۳/۳ گرم) و خشک کل (۰/۵۸ گرم) حاصل شد (جدول ۳). در میان طیف‌های نور، نور آبی به‌عنوان نور مؤثر بر ریخت‌زایی شناخته می‌شود درحالی‌که نور قرمز در فتوسنتز و افزایش وزن توده گیاهی مؤثر است (Kuno *et al.*, 2017). بنابراین انتظار بر آن است تا با کاربرد نورهای آبی و قرمز و یا ایجاد تغییر در کمیت در نسبت نوری، رشد و توسعه اندام‌های مختلف گیاهان تحت تأثیر قرار گیرد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمارهای نور در طی رشد نشاء اطلسی بر برخی صفات مورد بررسی.

Table 1- Variance analysis of lighting treatment effect during seedling stage on the vegetative traits of *Petunia× hybrida.*

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square									
		وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر کل Total fresh weight	وزن خشک کل Total dry weight	طول ساقه Stem length	طول ریشه Root length	تعداد برگ Leaf number	سطح برگ Leaf area
LT	8	2.2**	0.063594**	0.041**	0.00204*	2.709**	0.082457**	2.59287**	9.00565*	4.33**	5.38**
error	18	0.0004	0.000012	0.000082	0.000001	0.00039	0.000012	0.03259	0.02741	0.3	0.007
%CV		1.25	4	6.2	3.2	1.12	1.1	7.4	3.1	11	3

* و ** به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ می‌باشد. LT: تیمار نوری.

* and ** represent significant difference at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively. LT=Light treatment.

جدول ۱- ادامه.

Table 1- continued.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square							
		شاخص سلامتی Health index	ضریب استحکام Sturdiness quotient	مصرف برق Electric power consumption	کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Total Chl	کاروتنوئید Car
LT	8	0.111948**	1.17205**	1511451**	1.06585**	0.132671**	0.018368**	0.240252**	0.034906**
error	18	0.000785	0.26155	0.037037	0.00050	0.000246	0.000070	0.000100	0.000030
%CV		9.7	9.4	0.03	8.2	1.9	5.9	1.1	2.7

* و ** به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ می‌باشد. LT: تیمار نوری.

* and ** represent significant difference at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively. LT=Light treatment.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کاربرد تیمارهای نور در طی رشد نشاء اطلسی بر برخی از شاخص‌های رشد رویشی و زایشی گیاهان بالغ.

Table 2- Variance analysis of lighting treatment effect during seedling stage on the vegetative and reproductive traits of mature *Petunia× hybrida.*

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	Mean square										
		وزن تر شاخسار Shoot fresh weight	وزن خشک شاخسار Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	حجم ریشه Root valium	وزن تر کل Total fresh weight	وزن خشک کل Total dry weight	طول ساقه اصلی Main Stem length	طول ساقه‌های جانبی Lateral stem length	تعداد ساقه های جانبی Lateral root number	زمان مشاهده اولین غنچه Time to flower
LT	8	53.2708**	0.163242**	7.16333**	0.051233**	7.64083**	83.2300**	0.315950**	30.7593**	9.69676**	15.7037**	87.7315**
error	18	0.6111	0.002641	0.01000	0.000078	0.01000	0.5989	0.002926	0.7593	0.73148	0.7037	1.5185
%CV		2.3	3.8	2.2	3		2	2.6	8.9	8.9	9.6	1.6

* و ** بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ می باشد. LT: تیمار نوری.

* and ** represent significant difference at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively. LT=Light treatment.

.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای نور در طی دوران رشد بر برخی صفات رویشی نشاء اطلسی.

Table 3- The mean comparison of lighting treatment effect during the seedling growth on some vegetative traits of *Petunia× hybrida* seedlings.

تیمار نوری Lighting treatment (LT)	وزن تر شاخساره (گرم) Shoot fresh weight(mg)	وزن خشک شاخساره (گرم) Shoot dry weight(mg)	وزن تر ریشه (گرم) Root dry weight(mg)	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight(mg)	وزن تر کل(گرم) Total fresh weight (mg)	وزن خشک کل(گرم) Total dry weight (mg)	طول شاخساره (سانتی متر) Shoot length (cm)	طول ریشه (سانتی متر) Root length (cm)	تعداد برگ Leaf number	سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf area (cm^2)
LT 1	1.9 c	0.33 c	0.068 d	0.014 f	2 c	0.344 c	2.1 c	5.5 cd	4.3 bc	2.9 d
LT 2	1.2 e	0.20 e	0.210 b	0.051 b	1.4 f	0.251 f	3.1 b	5.5 cd	4.3 bc	1.8 e
LT 3	1.7 d	0.30 d	0.124 c	0.026 e	1.9 d	0.326 d	4.2 a	5.3 d	4.3 bc	3.8 b
LT 4	2.9 a	0.50 a	0.382 a	0.083 a	3.3 a	0.583 a	3.3 b	7.5 a	7.3 a	4.7 a
LT 5	2.1 b	0.36 b	0.204 b	0.042 d	2.3 b	0.402 b	2.4 c	6.4 b	5.6 b	3.5 c
LT 6	2.1 b	0.36 b	0.206 b	0.043 c	2.3 b	0.403 b	2.4 c	6.7 b	5.3 b	3.3 c
LT 7	1.7 d	0.30 d	0.064 d	0.013 g	1.8 e	0.313 e	2.3 c	5.8 c	4.6 bc	2.6 d
LT 8(C)	0.18 g	0.03 g	0.024 e	0.005 h	0.2 h	0.035 h	1.3 d	2.4 e	3.3 c	0.5 g
LT 9	0.52 f	0.09 f	0.016 e	0.003 i	0.5 g	0.093 g	1.3 d	2.6 e	3.6 c	1.1 f

وجود حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵٪ بر پایه آزمون توکی است، LT: تیمار نوری، C: تیمار شاهد،

میانگین محاسبه برای صفات وزن وزنی، مربوط به ۲۰ عدد نشاء است، و میانگین محاسبه شده برای سایر صفات مربوط به ۱ عدد نشاء است.

In each column means followed by the same letters are not significantly different ($P\leq0.05$) based on Tukey test. LT: Lighting treatment. C: Control treatment. The means realated to weight traits belong to 20 seedlings, and the means related to other traits belong to one seedling.

گزارش‌های مختلفی وجود دارد مبنی بر اینکه کاربرد نسبت‌هایی از ترکیب نورهای آبی: قرمز در طی رشد نشاءهای گیاهانی مانند گل جعفری فرانسوی، شمعدانی، گل حنا، اطلسی، گل میمونی و پریوش در مقایسه با نور لامپ‌های فلورسنت و پرفشار سدیم منجر به بهبود رشد و نموی این گیاهان و افزایش وزن توده گیاهی شده است (Randall & Lopez, 2015; van Iersel, 2017; Park & Runkle, 2018b; Zheng *et al*., 2019; Craver *et al*., 2020; Kohler & Lopez, 2021; Zhen *et al*., 2022). پژوهش‌های یادشده با مشاهدات ما همخوانی داشت زیرا ما دریافتیم که مقدار وزن تر و خشک توده گیاهی تحت تیمارهای نوری که شامل نسبت‌های ثابتی از ترکیب‌های نوری آبی: قرمز در طی دوران رشد نشاءها بودند به شکل معنی‌دار بیش از وزن تر و خشک نمونه‌هایی بود که تحت نور لامپ‌های فلورسنت و پرفشار سدیم رشد کرده بودند (جدول ۳). همچنین مشاهدات ما بیانگر این بود که در میان تیمارهایی که نسبت‌هایی ثابت از ترکیب‌های نوری آبی: قرمز در طی دوران رشد نشاءها داشتند (تیمارهای شماره ۵ الی ۷)، نشاءهایی که تحت ترکیب نوری آبی: قرمز با درصد بالاتری از نور آبی رشد کرده بودند (ترکیب نوری ۴۵٪ آبی: ۵۵٪ قرمز)، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه کمتری در مقایسه با نمونه‌هایی داشتند که زیر ترکیب‌های نوری ٪۳۰ آبی: ۷۰٪ قرمز و ۱۵٪ آبی: ۸۵٪ قرمز رشد کرده بودند. این نتیجه با مشاهدات Craver و همکاران (۲۰۲۰) در رابطه با نشاء اطلسی رقم 'Dreamed Midnight' و Wollaeger و Runkle (۲۰۱۵) در رابطه با نشاءهای اطلسی رقم 'Wave Pink'، گل حنا رقم 'SuperElfin XP Red' و مریم‌گلی رقم 'Vista Red' همخوانی داشت. بااین‌حال، Currey و Lopez (۲۰۱۳) در رابطه با نشاء اطلسی رقم 'Suncatcher Midnight Blue' خلاف مشاهده ما را گزارش کردند و افزایش مقدار نور آبی را به نفع رشد وزنی نشاءهای تحت آزمایش دانستند.

از سوی دیگر، نتایج این آزمایش بیانگر افزایش معنی‌دار رشد و نمو و درنتیجه وزن تر و خشک توده گیاهی تحت تأثیر تغییرات تدریجی ترکیب نوری در طی دوره رشد نشاء در مقایسه با کاربرد نسبت‌های ثابت از ترکیب‌های نوری آبی : قرمز بود (جدول شماره ۳). علت دقیق علمی این مسئله که چرا ایجاد تغییر در درصد نورهای آبی و قرمز می‌تواند منجر به بهبود و افزایش رشد گیاهان شود هنوز ناشناخته است (Ohtake *et al*., 2021). برخی از پژوهشگران بالاتر بودن محصول کوانتومی نور قرمز در مقایسه با نور آبی را عامل افزایش رشد وزنی در صورت افزایش میزان نور قرمز محیط دانسته‌اند (Takasu *et al*., 2019) و این با مشاهدات ما در این آزمایش همخوانی داشت زیرا افزایش تدریجی میزان نور قرمز به نفع افزایش وزن تر و خشک بود.

نتایج این آزمایش بیانگر این مسئله بود که رشد وزنی ریشه تحت تأثیر کیفیت و کمیت نور قرار گرفت و تغییرات تدریجی در کیفیت نور در طی رشد نشاء منجر به افزایش وزن تر و خشک ریشه و رشد طولی ریشه شد(جدول ۳). چگونگی رشد ریشه در نشاء گیاهان از عوامل مهمی است که خوگیری آنان را پس از انتقال به محیط رشد اصلی و همچنین رشد نهایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zadworny *et al*., 202l; Park *et al*., 2022). کیفیت و کمیت نور از دو طریق می‌تواند رشد ریشه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. مسیر اول از طریق فتوسنتز و انتقال کربوهیدرات به ریشه و فراهم آوردن انرژی موردنیاز برای تکثیر یاخته‌ای و درنتیجه توسعه ریشه است و مسیر دوم از طریق ساخت و انتقال هورمون‌هایی مانند اکسین که با واسطه تحریک فعالیت رنگدانه‌هایی مانند کریپتوکروم‌ها و فیتوکروم‌ها می‌باشد. به‌بیان‌دیگر، کریپتوکروم‌ها و فیتوکروم‌ها با دریافت علائم

نوری محیط، بر ساخت و نحوه عملکرد ترکیب‌های پروتئینی مانند HY5[۱] و PIFs[۲] تأثیر می‌گذارند. این ترکیب‌ها به‌نوبه خود، بیان ژن‌های مسئول ساخت و انتقال اکسین‌ها به سمت ریشه را تنظیم می‌کنند و در نهایت رشد و توسعه ریشه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (van Gelderen *et al*., 2018; Jing & Lin, 2020). همچنین چگونگی تأثیر نورهای آبی و قرمز بر شکل‌گیری و توسعه ریشه در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است. به‌عنوان‌مثال نور آبی محرک رشد و توسعه ریشه گیاهانی مانند آرابیدوپسیس[۳] و رزماری[۴] است (Canamero *et al*., 2006; Gill *et al*., 2021). درحالی‌که در گیاهانی مانند آنتوریوم[۵] و پنبه الیاف[۶] حضور نور قرمز به نفع رشد ریشه بوده است (Budiarto, 2010; Li *et al*., 2010). مشاهدات ما در رابطه با نشاء اطلسی نشان داد که افزایش حضور نور قرمز به نفع رشد و افزایش وزن ریشه بود.

نتایج این آزمایش نشان داد که بیشترین رشد طولی ساقه‌ها (۴/۲ سانتی‌متر) هنگامی حاصل شد که در طی رشد نشاءها، به‌تدریج بر مقدار نور آبی افزوده شد و در انتهای مدت‌زمان پرورش نشاءها، نور آبی تک‌رنگ به کار رفت (تیمار نوری شماره ۳) و رشد طولی این نشاءها ۳/۲ برابر تیمار شاهد (نور لامپ فلورسنت) بود (جدول ۳). از سوی دیگر نتایج این آزمایش نشان داد که نیازهای نوری ریشه برای دستیابی به حداکثر رشد طولی با نیازهای نوری ساقه متفاوت بود. زیرا بیشترین رشد طولی ریشه (۷/۵ سانتی‌متر) تحت تیمار نوری حاصل شد که کاهش تدریجی نور آبی در آن وجود داشت (تیمار نوری شماره۴) و در مقایسه با تیمار شاهد، ۳ برابر بیشتر رشد کرده بود. نتایج این آزمایش نشان داد که تغییرات تدریجی در میزان حضور نورهای آبی و قرمز در طی دوران رشد نشاءها، تأثیر معنی‌داری در طول ساقه ایجاد کرد اما برخلاف یافته‌های ما، Poel و Runkle (۲۰۱۷) گزارش کردند که تغییر مقدار نور آبی در طی رشد اطلسی رقم 'Single Dream White' تأثیر معنی‌دار بر رشد طولی نداشت. از سوی دیگر نتایج آزمایش ما نشان داد که در میان تیمارهایی نوری که نسبت‌های ثابتی از ترکیب‌های نوری آبی: قرمز در طی دوران رشد نشاء اعمال شد (تیمارهای نوری شماره ۵ الی ۷) تفاوتی در میان طول ساقه نشاءها نبود. این نتیجه موافق با مشاهدات Currey و Lopez (۲۰۱۳) بود که مطرح کردند کاربرد ترکیب‌های نوری ۱۵درصد آبی: ۸۵٪ قرمز و ۳۰٪ آبی: ۷۰٪ قرمز منجر به تفاوت معنی‌دار در طول ساقه اطلسی رقم 'Suncatcher Midnight Blue' نشدند. اما برخلاف مشاهدات ما، Craver و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد مقادیر بیشتری از نور آبی در مقایسه با حضور درصدهای پایین‌تر از این نور منجر به کاهش معنی‌دار طول ساقه اطلسی رقم 'Dream Midnight' شد.

فعالیت فیتوکروم‌ها و کریپتوکورم‌ها از طریق تولید و انتقال تنظیم‌کننده‌های رشد از قبیل اسید جیبرلیک، اسید ایندول استیک و اسید آبسیزیک می‌تواند رشد طولی اندام‌های مختلف گیاه، ازجمله ساقه را تحت تأثیر قرار دهد (Islam *et al*., 2014; Kong *et al*., 2018). پژوهش‌های پیشین به این مسئله اشاره کرده‌اند که واکنش رشد طولی ساقه گیاهان در برابر هر یک از طیف‌های نوری به گونه گیاهی و سایر شرایط نور محیط ازجمله شدت نور و مدت زمان حضور نور بستگی دارد و می‌توان شاهد واکنش‌های متفاوت رشد طولی ساقه گونه‌های مختلف گیاهی تحت شرایط نوری یکسان و مشابه بود (Folta & Spalding., 2001; Heo *et al*., 2002; Kim *et al*., 2004; Fukuda & Olsen, 2011; Islam *et al*., 2012; Jeong *et al*., 2014). از سوی دیگر، پژوهش‌های اندکی به تفاوت نیازهای نوری اندام‌های ساقه و ریشه برای دستیابی به حداکثر رشد

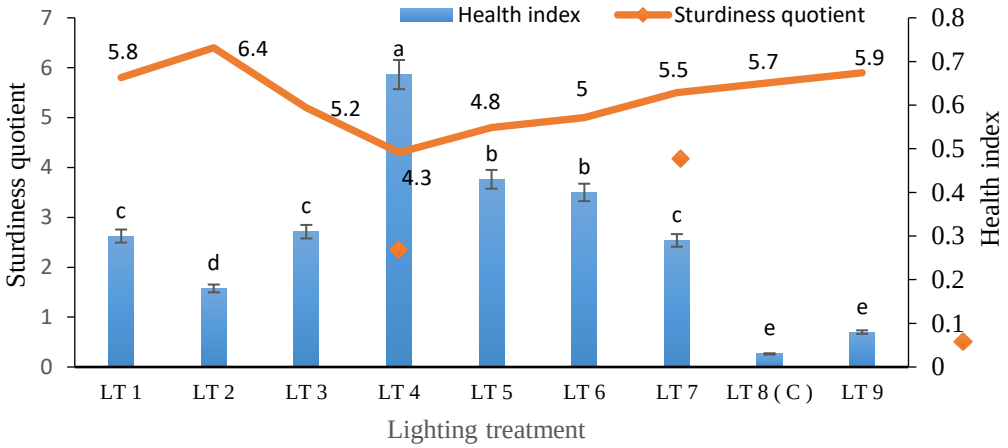
۱- Elongated Hypocotyl 5
۲- Phytochrome Translator Interacting Factors
۳- *Arabidopsis thaliana*
۴- *Rosmarinus officinalis*
۵- *Anthurium andreanum*
۶- *Gossypium hirsutum*

طولی اشاره کرده‌اند. نتایج آزمایش ما نشان داد که نیاز نوری اندام‌های ساقه و ریشه یک گونه مشخص گیاهی مانند اطلسی برای دستیابی به بیشترین رشد طولی، متفاوت از یکدیگر بود. کاهش تدریجی نور قرمز (افزایش تدریجی نور آبی) به نفع افزایش معنی‌دار رشد طولی ساقه بود درحالی‌که بیشترین رشد طولی ریشه با افزایش تدریجی نور قرمز (کاهش تدریجی نور آبی) حاصل شد.

در این آزمایش بیشترین تعداد برگ (۷/۳ عدد) و همچنین بیشترین سطح برگ (۴/۷ سانتی‌متر مربع) تحت تیمار نوری شماره ۴ حاصل شد (جدول ۳). به بیان دیگر وجود نور تک رنگ آبی در ابتدای رشد نشاءها و سپس افزایش تدریجی میزان نور قرمز منجر به دستیابی به بیشترین تعداد برگ‌ها و همچنین افزایش سطح برگ شد که در مقایسه با شاهد (نور لامپ فلورسنت) به ترتیب به میزان ۲ و ۸/۵ برابر بیشتر بودند. نورهای آبی و قرمز از طریق پروسه‌های فتوسنتز و ریخت‌زایی بر رشد و توسعه برگ‌ها تأثیرگذار هستند (Gao *et al*., 2021). اگرچه پژوهشگران نور آبی را بر ریخت‌زایی برگ‌ها مؤثرتر از نور قرمز می‌دانند، اما برخی از آن‌ها اعلام کرده‌اند که امکان دارد مقادیر نامناسب نور آبی به دلیل کاهش عمل فتوسنتز منجر به کاهش تعداد برگ گیاهان تحت آزمایش شود (Hogewoning *et al*., 2010; Savvides *et al*., 2012; Wang *et al*., 2015; Snowden *et al*., 2016). نتایج ما در رابطه با تأثیر معنی‌دار مقادیر مختلف نور آبی بر تعداد برگ نشاءهای اطلسی موافق با مشاهدات Fukuda و همکاران (۲۰۱۵ و ۲۰۱۶) بود که اعلام کردند تعداد برگ‌های اطلسی ارقام 'Merlin blue Moon' و 'Baccarat Blue' تحت تأثیر مقادیر مختلف نور آبی موجود در محیط قرار گرفت. برخلاف نتایج پژوهش حاضر که بیانگر تأثیر معنی‌دار مقدار مختلف نور آبی بر سطح برگ بود، Poel و Runkle (۲۰۱۷) گزارش کردند که ایجاد تغییر در مقدار نور آبی، تأثیری بر سطح برگ اطلسی رقم 'Single Dream White' نداشت. همچنین ما مشاهده کردیم که تغییر تدریجی مقدار نور آبی به نفع تعداد برگ نشاءهای مورد مطالعه بود درحالی‌که برخلاف نتایج ما، Wollaeger و Runkle (۲۰۱۵) اعلام کردند که درصدهای مختلف از نور آبی تأثیری بر تعداد برگ اطلسی رقم 'Wave Pink' نداشت.

در این پژوهش مشاهده شد نشاءهایی که در ابتدای دوران رشد تحت تأثیر نور آبی تک رنگ و سپس افزایش تدریجی نور قرمز بودند (تیمار شماره ۴) شاخص سلامتی بالاتری (۰/۶۷) در مقایسه با سایر تیمارهای نوری داشتند که ۲۲ برابر بیش از تیمار شاهد رشد کرده بودند (شکل ۴). همچنین تمام تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش به‌استثنای نمونه‌هایی که در انتهای دوران رشد، تحت نور قرمز تک رنگ بودند (تیمار نوری شماره ۲) ضریب استحکام قابل‌قبول (۶<) داشتند (شکل ۴). صفاتی مانند شاخص سلامتی و ضریب استحکام برای ارزیابی وضعیت رشد نشاها و قدرت رویشی آنان ارزشمند است و ضریب استحکام بیش از عدد ۶ به معنی نشاهایی ضعیف با قطر ساقه نامناسب است (Jaenicke, 1999; Takoutsing *et al*., 2014). در این پژوهش مشاهده شد نشاءهایی که تحت تیمار نوری شماره ۴ پرورش‌یافته بودند، افزون بر ضریب استحکام قابل‌قبول (۶<)، دارای بالاترین شاخص سلامتی در میان سایر تیمارهای نوری بودند. در پژوهش‌های پیشین که در رابطه با نحوه تأثیر کیفیت و کمیت نور بر رشد نشای گیاهان انجام‌شده است، رابطه بین شدت نور و ضریب استحکام مورد مطالعه قرارگرفته است. نتایج این پژوهش‌ها بیانگر رابطه خطی مثبت بین این دو صفت بود. به بیان دیگر با افزایش شدت نور محیط، ضریب استحکام گیاهان مورد مطالعه افزایش یافت و این مطالعات پیشنهاد کردند که بهتر است بین سایر ویژگی‌های نور (مانند ترکیب‌های طیفی) و ضریب استحکام مطالعات بیشتری صورت گیرد (Fausey *et al*., 2005; Currey *et al*., 2012;

Kohler & Lopez, 2021) و نتایج آزمایش ما بیانگر این مسئله بود که تغییر ترکیب طیفی نور محیط به شکل معنی‌دار بر استحکام ساقه نشاها مؤثر بود و افزایش مقدار نور قرمز در طی دوره رشد نشاءها منجر به افزایش ضریب استحکام شد.



شکل ۴- اثر تیمارهای نوری مختلف در طی مرحله رشد نشاء بر شاخص سلامتی و ضریب استحکام نشاء گل اطلسی. LT: تیمار نوری. C: تیمار شاهد. ستون‌ها با یک حرف مشترک بر اساس آزمون توکی (در سطح ۵٪) تفاوت معنی‌دار ندارند. نوارهای خطا بیانگر خطای استاندارد میانگین‌ها است.

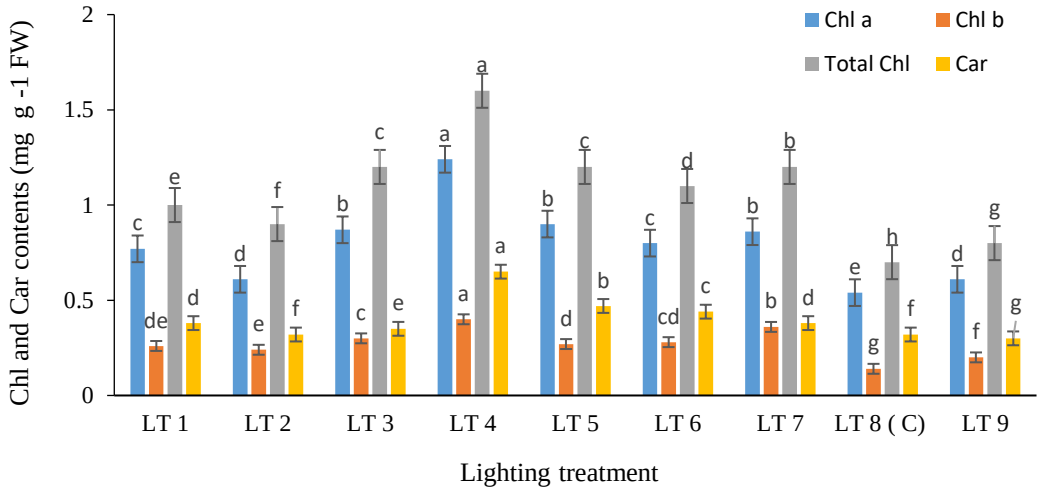
Figure 4- The effect of different lighting treatments during seedling growth on the health index and sturdiness quotient of *Petunia ×hybrida* seedlings. LT: Lighting treatment. C: Control treatment. Columns with the same letter are not signifivantly different using Tukey test (P<0.05). Error bars represent the standard error of the means.

نتایج این آزمایش نشان داد که تغییرات تدریجی در مقدار حضور نورهای آبی و قرمز در طی دوره رشد نشاء منجر به افزایش معنی‌دار محتویات رنگدانه‌های فتوسنتزی در مقایسه با تیمارهای نوری با نسبت ثابت نورهای آبی: قرمز و همچنین نور لامپ‌های فلورسنت و پرفشار سدیم شد. نشاءهای تحت تیمار نوری شماره ۴ (حضور نور آبی تک طیف در ابتدای رشد و سپس کاهش تدریجی نور آبی و افزایش تدریجی نور قرمز) دارای بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به ترتیب به مقدار ۱/۲۴، ۰/۴، ۱/۶ و ۰/۶۵ میلی‌گرم در گرم ماده تازه گیاهی بودند که به ترتیب ۲/۲۹، ۲/۸، ۲/۲ و ۲ برابر بیش از شاهد (نور لامپ فلورسنت) بود (شکل ۵) . نتایج ما موافق با مشاهدات Wollaeger و Runkle بود (۲۰۱۵) که مشاهده کردند مقادیر متفاوت از نور آبی بر محتویات کلروفیل کل اطلسی رقم ‘Wave Pink’ تأثیر معنی‌دار داشت اگرچه که این پژوهشگران چنین مسئله را در رابطه با نشاءهای مریم‌گلی رقم ‘Vista Red’ و گل حنا رقم ‘Super Elfin XP Red’ مشاهده نکردند. نور قرمز نقش مهمی در توسعه سیستم فتوسنتزی و ذخیره کربوهیدرات‌ها دارد درحالی‌که نور آبی در ساخت کلروفیل و جلوگیری از تجزیه آن از طریق تحریک سنتز سیتوکنین‌ها نقش دارد. کلروفیل و کاروتنوئیدها نقش اصلی را در انجام فتوسنتز و ساخت کربوهیدرات‌ها ایفا می‌کنند بنابراین افزایش این رنگدانه‌ها رابطه مستقیمی با افزایش توده وزنی دارد (Wang *et* al., 2015; Yue *et al*., 2021). نتایج ما نشان داد که نشاءهای تحت تیمار نوری شماره ۴ که بیشترین محتویات رنگدانه‌های فتوسنتزی را داشتند، دارای بیشترین وزن تر و خشک کل نیز بودند (جدول ۳ و شکل ۵).

نتایج این آزمایش نشان داد که به‌کارگیری لامپ‌های ال ای دی در مقایسه با لامپ‌های فلورسنت (شاهد) و پرفشار سدیم به شکل معنی‌دار منجر به کاهش مصرف برق شد و کمترین میزان مصرف برق (۲۷۳ کیلووات ساعت) به ترکیب نوری ۴۵٪ آبی: ۵۵٪ قرمز (تیمار نوری شماره ۷) و بیشترین میزان مصرف برق نیز به لامپ پرفشار سدیم (۲۰۱۶ کیلووات ساعت) تعلق داشت (شکل ۶). همچنین مشاهده شد که بیشترین کارایی مصرف انرژی (۱/۹۳ گرم بر کیلووات‌ساعت) به تیمار نوری شماره ۴ تعلق داشت که در این تیمار نوری با نور تک طیف آبی شروع شده و سپس نور آبی به‌تدریج کاهش و نور قرمز افزایش یافته بود و کارایی مصرف انرژی تحت این تیمار در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۹۶ برابری نشان داد (شکل ۷). توانایی لامپ‌های ال ای دی آبی و قرمز در تبدیل الکتریسیته به نور متفاوت است. لامپ‌های قرمز ۳۸٪ و لامپ‌های آبی ۵۰٪ از الکتریسیته را به نور تبدیل می‌کنند (Currey & Lopez, 2013) و به همین دلیل ایجاد تغییر در مقدار حضور لامپ‌های آبی و قرمز در ساختار سامانه‌های نوردهی که ترکیبی هستند، می‌تواند در میزان مصرف برق مؤثر باشد و نتایج آزمایش ما نیز بیانگر این مسئله بود. از سوی دیگر با افزایش مقدار ماده خشک تولید شده در ازای برق مصرف شده، کارایی مصرف انرژی افزایش می‌یابد (Kusuma *et al*., 2020). نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش مقدار حضور نور آبی، از مصرف برق کاسته شد. از سوی دیگر، نشاءهای پرورش‌یافته در تیمار نوری شماره ۴ دارای ماده خشک بیشتری در مقایسه با سایر تیمارهای نوری بودند. بنابراین شاهد برتری کارایی مصرف انرژی در این تیمار نوری در مقایسه با سایر تیمارهای نوری بودیم. همچنین در این پژوهش مشاهده شد که در میان تیمارهای نوری با نسبت‌های ثابت ترکیب‌های نوری آبی: قرمز (تیمارهای نوری شماره ۵ تا ۷)، ترکیب نوری که مقدار بالاتری از نور آبی را داشت (۴۵٪ آبی: ۵۵٪ قرمز) در مقایسه با ترکیب‌های نوری با مقدار پایین‌تر از نور آبی (تیمارهای نوری ۳۰٪ آبی: ۷۰٪ قرمز و ۱۵درصد آبی: ۸۵٪ قرمز)، کارایی مصرف انرژی بالاتری داشت. در این رابطه، نتایج پژوهش‌های Chen و همکاران بر گیاه کاهو با نتایج ما همخوانی نداشت.

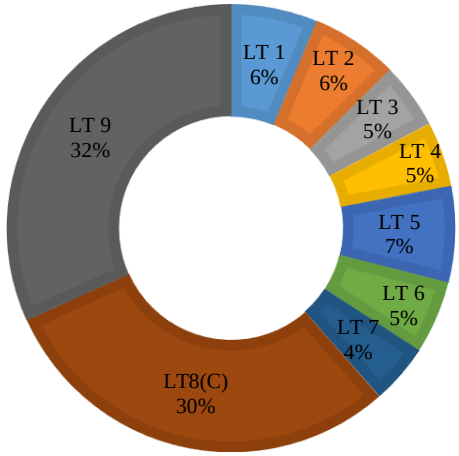
تأثیر تیمارهای نوری در طی دوران رشد نشاءها بر رشد و زمان گلدهی گیاهان بالغ

نتایج این آزمایش بیانگر تأثیر معنی‌دار تیمارهای نوری متفاوت در طی دوران رشد نشاءها بر شاخص‌های رشد رویشی و زمان گلدهی گیاهان بالغ بود (جدول‌های ۲ و ۴). بیشترین وزن تر و خشک ساقه (به ترتیب ۴۰ و ۲/۳۳ گرم)، وزن تر و خشک ریشه (به ترتیب ۷/۳ و ۰/۵۲ گرم) و بالاترین حجم ریشه (۷/۴ سانتی‌متر مکعب) در گیاهان بالغی مشاهده شد که نشاء آنها در ابتدای رویش از نور آبی تک رنگ برخوردار بودند و به‌تدریج از مقدار نور آبی کاسته و به مقدار نور قرمز افزوده شد (تیمار نوری شماره ۴). همچنین با مراجعه به جدول ۳، می‌توان مشاهده کرد که این گیاهان در دوران رشد نشاءهایشان و در مقایسه با دیگر تیمارهای نوری، دارای رشد رویشی بیشتری بودند. این نتایج موافق با نظر پژوهشگرانی است که کیفیت رشد نشاءها را مؤثر بر چگونگی رشد گیاهان بالغ می‌دانند (Duryea, 1984; Johkan *et al*., 2010; Qin & Leskovar, 2020).



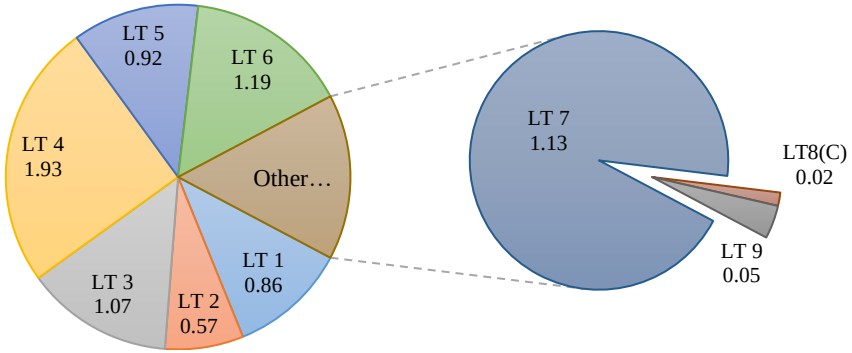
شکل ۵- اثر تیمارهای نوری بر محتویات کلروفیل **a** ، کلروفیل **b**، کلروفیل کل و کاروتنوئید نشاءها در انتهای روز ۲۸ از رشد. **LT**: تیمار نوری.**C**: تیمار شاهد. ستون‌ها با یک حرف مشترک بر اساس آزمون توکی (در سطح۵٪) تفاوت معنی‌دار ندارند. نوارهای خطا بیانگر خطای استاندارد میانگین‌ها است

Figure 5- The effect of lighting treatments on the Chl a, Chl b, total Chl, and Car contents of the seedlings at the end of 28th day of growth. LT: Lighting treatment, C: Control treatment. Columns with the same letter are not signifivantly different using Tukey test (P<0.05). Error bars represent the standard error of the means.



شکل۶ - مقدار مصرف برق لامپ در هر یک از تیمارهای نوری برای تولید شدت نور یکسان (۱۴۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) در طی رشد نشاءها.**LT** : تیمار نوری. **C**: تیمار شاهد.

Figure 6- The amount of electricity that the lamps consumed in each lighting treatment to generate the same level of light intensity (140µ mol $m^{-2}s^{-1}$) during the seedling stage. LT: Lighting treatment. C: Control treatment.



شکل ۷– اثر کاربرد تیمارهای نوری مختلف در طی رشد نشاءها بر کارایی مصرف انرژی (میلی‌گرم بر کیلووات ساعت). **LT**: تیمار نوری.**C** : تیمار شاهد.

Figure 7- The effect of different lighting treatment during seedling growth on energy use efficiency (mg kWh^{-1}). LT: Lighting treatment, C: Control treatment.

در گیاهان منتقل‌شده به گلخانه مشاهده شد که رشد طولی ساقه اصلی و میانگین رشد طولی ساقه‌های جانبی گیاهان بالغ، به شکل معنی‌دار تحت تأثیر کاربرد ترکیب‌های نوری متفاوت در طی دوران رشد نشاءها قرار گرفت (جدول شماره ۲). بیشترین طول ساقه اصلی گیاه بالغ (۱۶ سانتی‌متر) در نمونه‌هایی مشاهده شد که نشاء آنها زیر نور لامپ پرفشار سدیم رشد کرده بودند و کمترین رشد طولی ساقه اصلی گیاهان بالغ(۵ سانتی‌متر) در نمونه‌هایی مشاهده شد که نشاء آنها در طی رشد ۲۸ روزه تحت تیمار نوری نسبت ثابت ۱۵٪ آبی: ۸۵٪ قرمز (تیمار نوری شماره ۵) قرار داشتند (جدول ۴).

از سوی دیگر بیشترین میانگین رشد طولی ساقه‌های جانبی گیاهان بالغ (۱۲ سانتی‌متر) در گیاهانی مشاهده شد که نشاء آنها تحت تیمار نوری ۱۵٪ آبی: ۸۵٪ قرمز بود (تیمار شماره ۵) و کمترین میانگین رشد طولی ساقه‌های جانبی گیاهان بالغ (۶ سانتی‌متر) در نمونه‌هایی مشاهده شد که نشاء آنها تحت تیمار نوری لامپ پرفشار سدیم (تیمار نوری شماره ۹) رشد کرده بودند (جدول ۴). همچنین تیمارهای نوری که در طی دوران رشد نشاء اعمال‌شده بود بر شکل‌گیری ساقه‌های جانبی و درنتیجه شکل ظاهری گیاهان تأثیرگذار بود (شکل ۸) و بیشترین تعداد ساقه‌های جانبی در گیاهانی تشکیل شد که نشاءهای آنها در ابتدای رشد از نور آبی تک رنگ برخوردار بودند اما به‌تدریج از مقدار نور آبی کاسته شد و مقدار نور قرمز افزایش یافت (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمار نوری در طی دوران رشد نشاء بر برخی صفات رویشی و زایشی گیاهان بالغ اطلسی.

Table 4- the mean comparison of lighting treatment effect during seedling stage on some of the vegetative and reproductive traits of the mature *Petunia× hybrida.*

تیمار نوری Lighting treatment (LT)	وزن تر شاخساره (گرم) Shoot fresh weight(g)	وزن خشک ساقه (گرم) shoot dry weigh(mg)	وزن تر ریشه (گرم) Root fresh weight(g)	وزن خشک ریشه (گرم) root dry weight(mg)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب) Root volume(cm3)	وزن ترکل (گرم) Total fresh weight(g)	وزن خشک کل (گرم) total dry weight(mg)	طول ساقه اصلی (سانتی‌متر) Main stem length	طول ساقه‌های فرعی (سانتی‌متر) Lateral stem length (cm)	تعداد ساقه های فرعی Lateral stem number
LT 1	33.8 c	1.73 cd	3.3 f	0.197 e	3. de	37. e	1.93 de	8 cde	10. a-d	10 b
LT 2	33.5 c	1.68 cd	5.5 b	0.447 b	5. b	39. d	2.13 bc	10 b	9.5 bcd	7 cd
LT 3	30.8 d	1.63 d	5.2 c	0.407 c	5. b	36. e	2.04 cd	10 b	8.5 cd	7 cd
LT 4	40.0 a	2.33 a	7.3 a	0.527 a	7. a	47. a	2.86 a	6 de	11. ab	13 a
LT 5	37.5 b	1.80 bc	3.3 f	0.197 e	3. de	40. c	2.00 cd	5 e	12. a	10 b
LT 6	38.8 ab	1.94 b	4.4 d	0.264 d	4. c	43. b	2.21 b	8 bcd	10. a-d	9 bc
LT 7	32.5 cd	1.64 d	3.8 e	0.244 d	3. d	36. e	1.89 de	10 bc	8.0 de	8 bc
LT	27.0 e	1.62 d	2.2 g	0.174 e	2. f	29. g	1.79 e	9 bc	10. abc	6 d
LT 9	31.0 d	1.64 d	3.2 f	0.197 e	3. e	34. f	1.84 e	16 a	6.0 e	6 d

وجود حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵٪ بر پایه آزمون توکی است. LT: تیمار نوری، C: تیمار شاهد.

In each column means followed by the same letters are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on Tukey test. LT: Lighting treatment, C: Control treatment.

شکل ۸- تیمارهای نوری مختلف که به مدت ۲۸ روز بر نشاءها اعمال شد منجر به ظاهر متفاوت گیاهان بالغ شد. همه گیاهان پس از انتقال نشاءها تحت شرایط محیطی یکسان به مدت ۶۰ روز رشد کردند.

Figure 8- Different light treatments were applied to seedlings for 28 days, resulting in different appearances of mature plants. The mature plants were all grown under the same environmental conditions for 60 days.

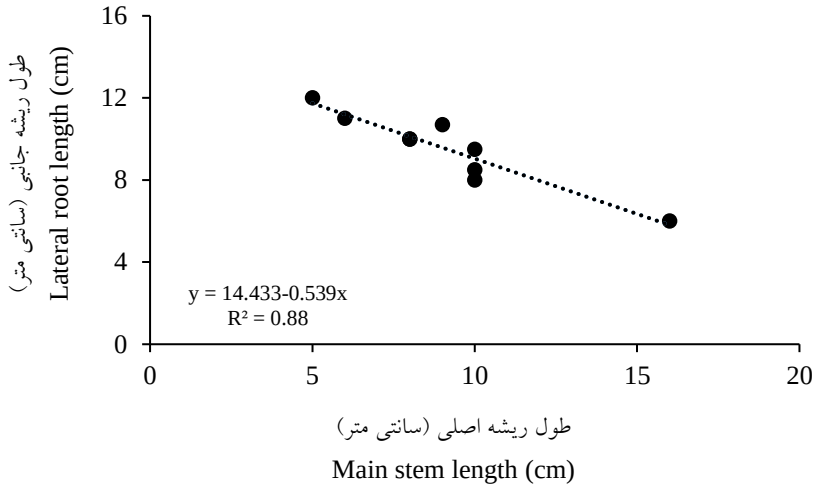
شکل ۹ بیانگر رابطه خطی معکوس بین رشد طولی ساقه اصلی و رشد طولی ساقه‌های فرعی است و تیمارهای نوری بکار رفته در طی دوره رشد نشاء که رشد طولی ساقه اصلی گیاهان بالغ را تحریک کردند، مانع از رشد طولی ساقه‌های فرعی شدند. ترکیب‌های طیفی نور اثر قابل‌توجهی بر رشد طولی ساقه گیاهان دارند و با توجه به نتایج متضاد حاصل از پژوهش‌های پیشین در رابطه با نحوه تأثیر طیف‌های نوری بر رشد طولی ساقه، به نظر می‌رسد که چگونگی تأثیر هر یک از طیف‌های نور بستگی به حضور و یا عدم حضور سایر طیف‌های نور محیط رشد گیاه دارد (Fukuda *et al*., 2011; Islam *et al*., 2012; Jeong *et al*., 2014; Park & Runkle, 2017). نتایج این آزمایش نشان داد گیاهان بالغی که نشاء آنها زیر نور لامپ پرفشار سدیم پرورش‌یافته بودند بیشترین رشد طولی ساقه اصلی را داشتند. اگرچه نور لامپ پرفشار سدیم دارای مقادیری از نور قرمز فروسرخ است که می‌تواند منجر به افزایش طول ساقه شود اما در بررسی تأثیر نور فروسرخ بر افزایش طول ساقه گیاهان، باید به نسبت نور قرمز :قرمز فروسرخ و همچنین نور آبی نیز توجه کرد. تغییر نسبت نور قرمز: قرمز فروسرخ بر مقدار تجمع هورمون اسید آبسیزیک در جوانه‌های رویشی و رشد طولی ساقه‌ها مؤثر است (Holalu *et al*., 2017) و این انتظار وجود دارد که با افزایش مقدار نور قرمز فروسرخ و درنتیجه کاهش نسبت نور قرمز: قرمز فروسرخ رشد طولی ساقه افزایش یابد (Kurepin *et al*., 2006). اما باید به نقش نور آبی نیز توجه کرد. نور آبی در مقایسه با نور قرمز فروسرخ می‌تواند از طریق فعالیت کریپتوکروم‌ها و درنتیجه کاهش تولید و عملکرد هورمون جیبرلین، اثر بازدارنده بر رشد طولی ساقه داشته باشد (Kurepin *et al*., 2006; Lau & Deng, 2010; OuYang *et al*., 2015). بنابراین رشد طولی نهایی ساقه بستگی به فعالیت‌های متفاوت و گاه متضاد طیف‌های مختلف نور محیط و تعادل نهایی بین هورمون‌ها دارد. نتایج این پژوهش نشان داد اگرچه نور لامپ پرفشار سدیم دارای نسبت بالاتری از نور قرمز: قرمز دور در مقایسه با نور لامپ فلورسنت بود اما مقدار کمتری نور آبی داشت که درمجموع باعث شد طول ساقه گیاهانی که نشاء آن تحت نور لامپ پرفشار سدیم رشد کرده بودند، بیشتر باشد (شکل ۲ و جدول ۴).

مشاهده‌های ما موافق با نتایج پژوهش‌های پیشین بود که مطرح کردند تغییرات تدریجی ترکیب طیف نور به‌ویژه نورهای آبی و قرمز بر رابطه رشدی بین ساقه‌های اصلی و فرعی مؤثر است (Runkle & Heins, 2001; Gautam *et al*., 2015; Andres & Koskela, 2022). شرایط نوری که تحریک‌کننده رشد ساقه اصلی است می‌تواند به‌عنوان مانعی برای شکل‌گیری و رشد شاخه‌های فرعی عمل کند و دلیل این رخداد را تأثیر کیفیت و کمیت نور بر قدرت چیرگی جوانه انتهایی اعلام کرده‌اند (Kaczperski *et al*., 1991; Warner, 2010; Haliapas *et al*., 2008; Drummond *et al*., 2015). زیرا فعالیت رنگدانه‌هایی مانند فیتوکروم‌ها و کریپتوکروم‌ها تحت شرایط نوری مختلف، بر فعالیت ترکیب‌های پروتئینی ازجمله *PIF* و *HY5* و *BBXs*[1] تأثیر می‌گذارد. این ترکیب‌های پروتئینی به‌نوبه خود، سطح بیان ژن کاهش‌دهنده غالبت انتهایی[2] که ساخت و انتقال هورمون‌های سیتوکنین و اکسین را کنترل می‌کنند، تغییر می‌دهد و از این طریق بر قدرت فعالیت جوانه انتهایی تأثیرگذارند (Simons *et al*., 2007; Jing & Lin,

۱- B-Box Containing Proteins

۲- Decreased Apical Dominance (DAD)

2020). نتایج این آزمایش نیز نشان داد که هرگونه تغییر ترکیب طیفی نور می‌تواند رشد طولی ساقه اصلی و همچنین رشد طولی ساقه‌های جانبی را به دلیل ضعیف شدن چیرگی جوانه انتهای ساقه اصلی تحت تأثیر قرار دهد.



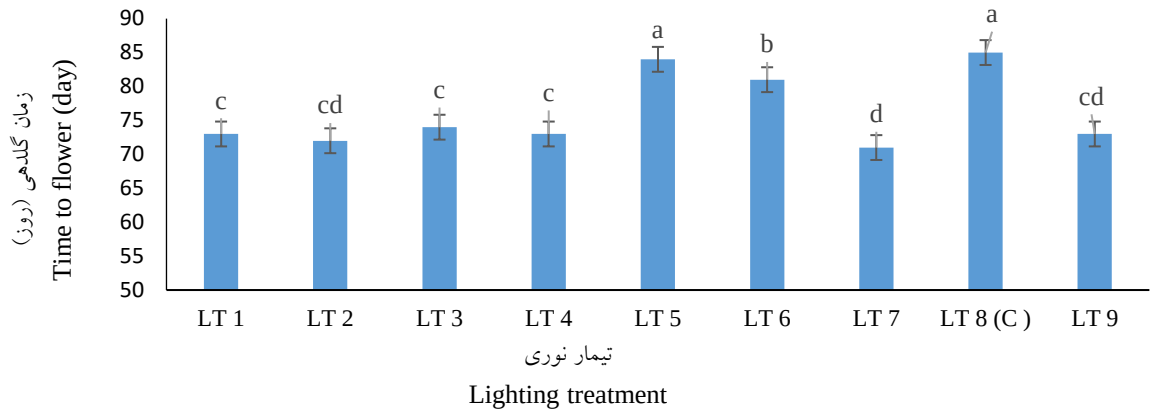
شکل ۹- رابطه خطی بین رشد طولی ساقه اصلی و ساقه های فرعی. خط رگرسیون در نقاطی رسم شده است که تأثیر رشد طولی ساقه اصلی در سطح ۵٪ معنی دار بوده است. ضریب تبیین برای رگرسیون به صورت R^2 نمایش داده شده است.

Figure 9- Linear relationship between lateral branch length to main stem longitudinal growth. Regression line is shown where the effect of main stem longitudinal growth is significant at $p \leq 0.05$ and there is significant linear. The coefficient of determination for the regression is shown as R^2.

نتایج این آزمایش بیانگر این مسئله بود که تغییر طیفی نور در طی دوران رشد نشاء، بر زمان گلدهی گیاهان بالغ به شکل معنی‌دار مؤثر بود اما ایجاد تغییرات تدریجی در ترکیب طیفی نور در طی رویش نشاءها لازمه دستیابی به کوتاه‌ترین زمان گلدهی نبود زیرا زمان گلدهی بین تیمارهای شماره دو (افزایش تدریجی نور قرمز و حضور نور قرمز تک رنگ در انتهای دوران رشد نشاء)، ترکیب طیفی با نسبت ثابت ۴۵٪ آبی: ۵۵٪ قرمز و نور لامپ پرفشار سدیم دارای تفاوت معنی‌دار نبود (شکل ۱۰). نتایج تحقیقات پیشین به این واقعیت اشاره کرده‌اند که شرایط نور محیطی بر گلدهی گیاهان مؤثر است. به‌عنوان مثال به تأثیر کیفیت نور بر گلدهی گیاهانی مانند شمعدانی[۱]، داوودی[۲]، رز[۳]، شاه‌پسند[۴]، گل میمون[۵]، ارکیده[۶] و قرنفل[۷] اشاره شده است (Meng & Runkle, 2014; Ouzonus *et al*.,2014b, 2015; Owen & Lopez, 2017; Poel & Runkle, 2017). در پژوهش‌های یادشده، تیمارهای نوری در تمامی طول مدت زمان رشد گیاهان اعمال شده است و کمتر به این مسئله پرداخت شده است که کاربرد تیمارهای نوری متفاوت در طی دوران رشد نشاء، چه تأثیری بر روند گلدهی گیاهان بالغ خواهد داشت. مشاهدات ما در رابطه با چگونگی تأثیر کیفیت نور

۱- *Pelargonium ×hortorum* ‘Blach Velvet’
۲- *Chrysanthemum morifolium* ‘Coral Charm’
۳- *Rosa hybrida* ‘Scarlet’
۴- *Verbena ×hybrida* ‘ Obseccion’
۵- *Antirrhinum majus* ‘Liberty Classic’
۶- *Phalanopsis hybrida* ‘Vivien’
۷- *Dianthus chinensis* ‘Telstar Crimson’

در دوران رشد نشاء بر زمان گلدهی گیاهان بالغ با نتایج گزارش شده از سوی Kohler و همکاران (۲۰۲۱) در رابطه با اطلسی رقم 'Wave Carmine Velour' همسو بود که تغییر ترکیب‌های طیفی در طی دوران نشاء را مؤثر بر گلدهی اعلام کردند. از سوی دیگر، پائول و رانکل (۲۰۱۷) نظری مخالف نتایج ما را گزارش کرده‌اند زیرا آنان باوجود تغییر ترکیب‌های طیفی در طی دوران رشد نشاء، تفاوت معنی‌دار در زمان گلدهی اطلسی رقم 'Single Dream White' مشاهده نکردند.



شکل ۱۰- اثر توزیع طیفی نور در طی دوران رشد نشاء بر زمان گلدهی گیاهان بالغ اطلسی،C: تیمار شاهد. ستون‌ها با یک حرف مشترک بر اساس آزمون توکی (در سطح ۵٪) تفاوت معنی‌دار ندارند. نوارهای خطا بیانگر خطای استاندارد میانگین‌ها است.

Figure 10- The effect of spectral distribution of during seedling stage on the time to flower of mature plants of *Petunia* × *hybrida*, C: Control treatment. Columns with the same letter are not signifivantly different using Tukey test (*P*<0.05). Error bars represent the standard error of the means.

تأثیر ترکیب‌های طیفی نور در طی دوران نشاء بر زمان گلدهی گیاهان بالغ به دلیل تغییر در نحوه فعالیت رنگدانه‌های گیرنده نور اعلام‌شده است. گزارش‌شده است که نور آبی به شکل مستقیم و از طریق سرکوب مسیرهایی که فعالیت فیتوکروم‌ها را تحریک می‌کنند، می‌تواند منجر به تحریک گلدهی شود (Sullivan *et al*., 2016; Wang *et al*., 2017). همچنین فعالیت رنگدانه‌هایی مانند کریپتوکروم‌ها به دلیل تغییر مقدار نور آبی در ترکیب طیفی نور محیط می‌تواند بر بیان ژن‌های تحریک‌کننده گلدهی ازجمله *FBP20*، *FT* و *CO* [۱] تأثیر بگذارد (Kim *et al*., 2008; Fukuda *et al*., 2016). نور قرمز مانند نور آبی بر گلدهی مؤثر است. این نور از طریق تحریک فعالیت برخی از انواع فیتوکروم‌ها (*PhyB*) می‌تواند منجر به سرکوب شدن برخی از محرک‌های گلدهی شود و از این طریق گلدهی را به تعویق اندازد و به همین دلیل تغییر در میزان حضور نور قرمز در محیط رشد گیاهان بر زمان گلدهی آنها نقش دارد (Wang *et al*., 2014; Park & Runkle, 2019). همچنین Gautam و همکاران (۲۰۱۵) و Fukuda و همکاران (۲۰۱۵، ۲۰۱۶) اعلام کردند که کیفیت و کمیت هر یک از نورهای آبی و قرمز در مراحل ابتدایی رشد می‌تواند چگونگی ساخت و

۱- Floral Binding Protein 20 (Fbp20), Flowering Locus T (Ft), Constans (CO) genes

انتقال تنظیم‌کننده‌های رشد و درنتیجه چگونگی تحریک گلدهی را تحت تأثیر قرار دهد که مطابق با مشاهدات ما در این آزمایش بود زیرا تغییر در ویژگی‌های کیفیتی نور در مقطع زمانی رشد نشاءها، زمان گلدهی گیاهان بالغ را به شکل معنی‌دار تحت تأثیر قرارداد. در این آزمایش، گیاهانی که در طی دوران رشد نشاءها تحت نور پرفشار سدیم بودند گلدهی زودتر از سایر تیمارها نشان دادند. لامپ‌های پرفشار سدیم دارای مقادیر قابل‌توجهی نور قرمز فروسرخ هستند و نور قرمز فروسرخ که از طریق تحریک بیان ژن‌های *FT* و *CO* بر گلدهی مؤثر است (King *et al.*, 2008). نتایج ما موافق با نتایج Park و Runkle (۲۰۱۹) بود که افزایش میزان حضور نور قرمز فروسرخ را مؤثر بر گلدهی اطلسی رقم 'Wave Blue'اعلام کردند.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که تغییر تدریجی در نسبت نورهای آبی و قرمز در دوران رشد نشاء توانست در مقایسه با کاربرد ترکیب‌های نوری که دارای نسبت ثابتی از نورهای آبی و قرمز بودند و همچنین در مقایسه با نور لامپ‌های فلورسنت و پرفشار سدیم، منجر به افزایش شاخص‌های رشد رویشی نشاءهای اطلسی شود. در این آزمایش کاربرد نور آبی تک رنگ در ابتدای دوران رشد نشاء و پس‌ازآن افزایش تدریجی نور قرمز و درنهایت کاربرد نسبت نوری ۸۵٪ قرمز: ۱۵٪ آبی در انتهای دوره رشد نشاء منجر به افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، تعداد برگ و سطح برگ نشاء در مقایسه با سایر تیمارهای نوری شد. نتایج نشان داد نیازهای نوری گیاه برای توسعه و رشد طولی ساقه و ریشه متفاوت است و افزایش تدریجی نور قرمز و کاربرد نسبت نوری ۸۵٪ قرمز: ۱۵٪ آبی در انتهای دوره پرورش نشاء به نفع رشد طولی ریشه بود درحالی‌که کاهش تدریجی نور قرمز و کاربرد نور آبی تک رنگ در انتهای دوره پرورش نشاء منجر به بیشترین رشد طولی ساقه شد. مصرف برق و کارایی انرژی نیز به شکل معنی‌دار تحت تأثیر شیوه نوردهی قرار گرفت به گونه‌ای که تدریجی نور قرمز در طی دوره رشد نشاء و کاربرد نسبت نوری ٪۸۵ قرمز: ۱۵٪ آبی در انتهای اعمال تیمار نوری موجب کاهش مصرف برق و افزایش کارایی انرژی شد. از سوی دیگر، تغییر ترکیب‌های طیفی در دوران رشد و نموی نشاء، رشد رویشی و گلدهی گیاهان بالغ را به شکل معنی‌داری تحت تأثیر قرارداد و شاخص‌های رویشی گیاهان بالغی را که نشاء آن‌ها که تحت افزایش تدریجی نور قرمز بود به شکل معنی‌داری در مقایسه با سایر تیمارهای نوری افزایش نشان داد. نتایج این آزمایش بیانگر این است که تغییر شیوه‌های نوردهی به نفع بهبود رشد رویشی گیاهان است و می‌توان کنترل بیشتری بر نحوه رشد و گلدهی گیاهان از طریق تغییر در ترکیب‌های طیفی موجود در محیط رشد گیاهان داشت و همچنین علاوه بر کاهش مصرف برق و ارتقاء کارایی انرژی، به دلیل کاربرد دقیق و مناسب طیف‌های نور، آسیبی به رشد و نموی گیاهان وارد نمی‌شود.

سپاسگزاری

نتایج این مقاله بخشی از پژوهش انجام پذیرفته (شماره طرح ۵۰۴۰۸) در دانشگاه فردوسی مشهد است.

منابع

Andres, J., Koskela, E. (2022). Axillary bud fate shapes plant architecture in horticultural crop. *Horticulturae*, *8*(2), 130, dio: 10.3390/horticulturae8020130

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts Poly phenol oxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiology*, doi: 10.1104/pp.24.1.1

Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N., Radoglou, K. (2018). Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Scientia Horticulturae*, *235*, 437-451, doi: 10.1016/j.scienta.2018.02.058

Budiarto, K. (2010). Spectral quality affects morphogenesis on Anthurium plantlet during in vitro culture. *Asian Journal of Applied Science*, *32*, 234-240, doi: 10.17503/agrivita.v32i3.20

Canamero, R.C., Bakrim, N., Bouly, J.P, Garay, A., Dudkin, E.E., Habricot, Y. (2006). Cryptochromes photoreceptors cry1 and cry2 antagonistically regulate primary root elongation in *Arabidopsis thaliana*. *Planta*, *224*, 995– 1003, doi: 10.1007/s00425-006-0280-6

Chen, X., Wang, L., Li, T., Yang, Q., Gun, W. (2019). Sugar accumulation and growth of lettuce exposed to different lighting modes of red and blue LED light. *Scientific Report*, *9*(1), 6926, doi: 10.1038/S41598-019-43498-8

Craver, J.K., Nemali, K.S., Lopez, R.G. (2020). Acclimation of growth and photosynthesis in petunia seedlings exposed to high-intensity blue radiation. J*ournal of the American Society for Horticultural Science*, *145*(3), doi: 10.21273/JASHS04799-19

Currey, C.J., Lopez, R.G. (2013). Cuttings of impatient, pelargonium, and petunia propagated under light-emitting diodes and high-pressure sodium lamps have comparable growth, morphology, gas exchange, and post-transplant performance. *HortScience*, *48*(4), 428-434, doi: 10.21273/HORTSCI.48.4.428

Drummond, R.S.M., Janssen, B, J., Luo, Z., Oplaat, C., Ledger, S.E., Wohlers, M.W., Snowden, K.C. (2015). Environmental Control of Branching in Petunia. *Plant Physiology*, *168*(2), 735–751, doi: 10.1104/pp.15.00486

Duryea, M.L. (1984). Nursery Cultural Practices: Impacts on Seedling Quality. In: Duryea, M.L., Landis, T.D., Perry, C.R. (eds) Forestry Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. *Forestry Sciences*, doi: 10.1007/978-94-009-6110-4_15.

Dutta Gupta, S. Light Emitting Diodes for Agriculture. Springer, Singapore. Pages: 59-80. ISBN 978-981-10-5806-6, doi.org. 10.1007/978-981-10-5807-3_4.

Fan, X., Xu, Z., Liu, X., Tang, C., Wang, L. (2013). Effect of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturea*, *153*, 50-55, doi: 10.1016/j.scienta.2013.01.017

Fausey, B.A., Heins, R.D., Cameron, A.C. (2005). Daily light integral affects flowering and quality of greenhouse grown Achillea, Gaura, and Lavandula. *HortScience*, *40*, 114-118, doi: 10.21273/HORTSCI.40.1.114

Folta, K.M., Spalding, E.P. (2001). Unexpected roles for cryptochrome 2 and phototropinrevealed by high-resolution analysis of blue light-mediated hypocotyl growth inhibition. *Plant Journal*, *26*, 471-478, doi: 10.1046/j.1365-313x.2001.01038.x

Fujiwara, K. (2020). Chapter 8- Light sources. Esitor (s): Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M., Plant Factory (Second edition). Academic Press, London, England, Pages 139-151. ISBN 9780128166918, doi: 10.1016/B978-0-12-816691-8.00008-X

Fukuda, N. Ajima, C, Yukawa, T., Olsen, J.E. (2015). Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin. *Environmental and Experimental Botany*, *121*, 102-111, doi: 10.1016/j.envexpbot.2015.06.014

Fukuda, N., Olsen, J.E. (2011). Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of FBP28 in petunia. *Acta Horticulturae*, *907*, 361–366, doi: 10.17660/ActaHortic.2011.907.59

Fukuda, N., Ishii, Y., Ezura, H., Olsen, J.E. (2011). Effect of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of FBP28 in petunia. *Acta Horticulturae*, *907*, 361–366, doi: 10.17660/*Acta Horticulturae*, 2011.907.59

Fukuda, N., Oba, H., Mizuta, D., Yoshida, H., Olsen, J.E. (2016). Timing of blue and red-light exposure and CPPU application during the raising of seedlings can control flowering timing of petunia. *Acta Horticulturae*, 1134, 171–178, doi: 10.17660/ActaHortic.2016.1134.23

Gao, X., Zhang, C., Lu, C., Wang, M., Xie, N., Chen, J., Li, Y., Chen, J., Shen, C. (2021). Disruption of photomorphogenesis leads to abnormal chloroplast development and leaf variegation in *Camellia sinensis*. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 720800. doi: 10.3389/fpls.2021.720800

Gautam, P., Terfa, M.T., Olsen, J.E., Torre, S. (2015). Red and blue effects on morphology and flowering of Petunia × hybrida. *Scientia Horticulturae*, doi: 10.1016/j.scienta.2015.01.004

Gil, C.S., Kwon, S.J., Jeong, H.Y., Lee, C., Lee, O.J., Eom, S.H. (2021). Blue Light Upregulates Auxin Signaling and Stimulates Root Formation in Irregular Rooting of Rosemary Cuttings. *Agronomy*, *11*(9), 1725. doi: 10.3390/agronomy11091725

Haliapas, S., Yupsanis, T.A., Syros, T.D., Kofidis, G. (2008). *Petunia* × *hybrida* during transition to flowering as affected by light intensity and quality treatments. *Acta Physiologiae Plantarum*, *30*, 807, doi: 10.1007/s11738-008-0185-z

Heo, J., Lee, C., Chakrabarty, D., Paek, K. (2002). Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light- Emitting Diode. *Plant Growth Regulations*, *38*, 225-230. doi: 10.1023/A:1021523832488

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, doi: /10.1093/jxb/erq132

Holalu, V.S., Finlayson, S.A. (2013). The ratio of red light to far red light alters *Arabidopsis* axillary bud growth and abscisic acid signalling before stem auxin changes. Journal. *of Experimental. Botany*, *68*(5), 943–952. doi: /10.1093/jxb/erw479.

Islam, M.A., Kuwar, G., Clarke, J.L., Blystad, D.R., Gislerod, H., Olsen, J. E., Torre, S. (2012). Artificial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue light results in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps. *Scientia Horticulturae*, *147*, 136-143, doi: 10.1016/j.scienta.2012.08.03

Islam, M.A., Tarkowská, D., Clarke, J.L., Blystad, D.R., Gislerod, H.R., Torre, Olsen, J.E. (2014). Impact of end-of-day red and far-red light on plant morphology and hormone physiology of poinsettia. *Scientia Horticulturae*, *174*, 77-86, doi: 10.1016/j.scienta.2014.05.013

Islam, M.A., Kuwar, G., Clarke, J.L., Blystad, D.R., Gislerod, H., Olsen, J.E., and Torre, S. (2012). Artificial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue light results in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps. *Scientia Horticulturae*, *147*, 136-143, doi: 10.1016/j.scienta.2012.08.034

Jaenicke, H. (1999). Good tree nursery practices: practical guidelines for research nurseries. ICRAF, Nairobi, pp 8–15.

Jeong, S.W., Hogewoning, S.H., and Ieperen, W. (2014). Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut chrysanthemum, *Scientia Horticulturae*, *165*, 69-74, doi: 10.1016/j.scienta. 2013.11.006

Jing, Y. and Lin, R. (2020). Transcriptional regulatory network of the light signaling pathways. *New Phytologist*, *227*(3), 683-697, doi:10.1111/nph.16602

Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., Yoshihara, T. (2010). Blue Light-emitting Diode Light Irradiation of Seedlings Improves Seedling Quality and Growth after Transplanting in Red Leaf Lettuce, *HortScience horts*,*45*(2), *1809-1814*, doi: 10.21273/HORTSCI.45.12.1809.

Kaczperski, M.P., Carlson, W.H., Karlsson, M.G. (1991). Growth and Development of Petunia × hybrids as a Function of Temperature and Irradiance. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *116*(2), 232-237, doi:10.21273/JASHS.116.2.232.

Kim, S.Y., Yu, X., Michaels, S.D. (2008). Regulation of CONSTANS and FLOWERING LOCUS T expression in response to changing light quality. *Plant physiology*, 148(1), 269–279, doi:10.1104/pp.108.122606.

Kim, S.J., Hahn, E, J., Heo, J. W., Paek, K.Y. (2004). Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*, *101*(1-2), 143–151, doi: 10.1016/j.scienta.2003.10.003

King, R.W., Hisamatsu, T., Goldschmidt, E.E., Blundell, C. (2008). The nature of floral signals in *Arabidopsis*. I. Photosynthesis and a far-red photoresponse independently regulate flowering by increasing expression of FLOWERING LOCUS T *(*FT*), Journal of Experimental Botany*, *59* (14), 3811–3820, doi:10.1093/jxb/ern231

Kohler, A., Lopez, R.G. (2021). Duration of light-emitting diode (LED) supplemental lighting providing far-red radiation during seedling production influences subsequent time to flower of long-day annuals, *Scientia Horticulturae*, *281*, 109956, doi: 10.1016/j.scienta.2021.109956

Kong, Y., Stasiak, M., Dixon, M.A., Zheng, Y. (2018). Blue light associated with low phytochrome activity can promote elongation growth as shade-avoidance response: A comparison with red light in four bedding plant species. *Environmental and Experimental Botany*, *155*, 345–359, doi:10.1016/j.envexpbot.2018.07.021

Kuno, Y., Shimizu, H., Nakashima, H., Miyasaka, J., Ohdoi, K. (2017). Effect of irradiation patterns and light quality of red and blue light-emitting diodes on growth of leaf lettuce (Lactuca sativa L. 'Greenwave'. *Environmental Control in Biology*, *55*(3), 129-135, doi:10.2525/ecb.55.129

Kurepin, L.V., Walton, L.J., Reid, D.M. (2006). Interaction of red to far red-light ratio and ethylene in regulating stem elongation of Helianthus annuus. *Plant Growth Regulation*, *51*(1), *53–61*, https://doi.org/10.1007/s10725-006-9147-x

Kusuma, P., Pattison, P.M., Bugbee, B. (2020). From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. *Horticulture Research*, *7*, 56, doi:10.1038/s41438-020-0283-7

Li, H., Xu, Z., Tang, C. (2010). Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *103*, 155-163, doi:10.1007/s11240-010-9763-z

Lau, O.S., Deng, X.W. (2010). Plant hormone signaling lightens up: integrators of light and hormones. Current Opinion in Plant Biology, *13* (5), 571-577, https://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.07.001

Masuda, K., Nakashima, H., Miyasaka, J. Ohdio, K. (2021). Qualification of the alternating and simultaneous red and blue irradiations on plant morphology and shoot fresh weight in leaf lettuce 'Greenwave'. *Environmental Control in Biology*, 59(4), 181-190, doi:10.2525/ecb.59.181

Meng, Q., Runkle, E.S. (2014). Controlling Flowering of Photoperiodic Ornamental Crops with Light-emitting Diode Lamps: A Coordinated Grower Trial, *HortTechnology hortte*, *24*(6), 702-711, doi:10.21273/HORTTECH.24.6.702

Ohtake, N., Ishikura, M. Suzuki, H. Asachi, S., Yamori, W. (2021). Alternating red/blue light increases leaf thickness and mesophyll cell density in the early growth stage, improving photosynthesis and plant growth in lettuce. *Environmental Control in Biology*, *53*(12), 1804-1809, doi:10.2525/ecb.59.59

OuYang, F., Mao J.F., Wang, J., Zhang, S., Li, Y. (2015) Transcriptome analysis reveals that red and blue light regulate growth and phytohormone metabolism in Norway sprouce [Picea abies (L.) Karst.]. PLOS ONE, *10*(8), e0127896, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127896

Ouzounis, T., Fretté, X., Rosenqvist, E., Ottosen, C.O. (2014b). Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. *Journal of Plant Physiology*, *171*, 1491–1499, doi: 10.1016/j.jplph.2014.06.012.

Ouzounis, T., Rosenqvist, E., Ottosen, C.O. (2015). Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism. *Hortscience*, *50*(8), 1128-1135, doi: 10.21273/HORTSCI.50.8.1128

Owen, W.G., Lopez, R.G. (2017). Geranium and purple fountain grass leaf pigmentation is influenced by end-day-production supplemental lighting with red and blue light-emitting diodes. *HortScience*, *52*(2), 236-244, doi:10.21273/HORTSCI11098-16

Park, Y., Runkle, E.S. (2017). Far-red radiation promotes growth of seedlings by increasing leaf expansion and whole-plant net assimilation. *Environmental and Experimental Botany*, *168*, 103871, http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.12.013

Park, Y., Runkle, E.S. (2018b). Spectral effects of the light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photon efficiency: white versus blue plus red radiation. *PLOS ONE*, *13*(8), e0202386, doi: 10.1371/journal.pone.0202386

Park, Y., Gomez, C., Runkle, E.S. (2022). Chapter 19 - Indoor production of ornamental seedlings, vegetable transplants, and microgreens, Editor(s): Toyoki Kozai, Genhua Niu, Joseph Masabni, Plant Factory Basics, Applications and Advances. Academic Press, Pages 351-375, ISBN 9780323851527, doi:10.1016/B978-0-323-85152-7.00020-3

Park, Y., Runkle, E.S. (2019). Blue radiation attenuates the effects of the red to far-red ratio on extension growth but not on flowering. *Environmental and Experimental Botany*, *168*, 103871, doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.103871

Poel, B.R., Runkle, E.S. (2017). Spectral Effects of Supplemental Greenhouse Radiation on Growth and Flowering of Annual Bedding Plants and Vegetable Transplants, *HortScience*, *52*(9), 1221-1228, doi:10.21273/HORTSCI12135-17

Qin, K., Leskovar, D.I. (2020). Humic Substances Improve Vegetable Seedling Quality and Post-Transplant Yield Performance under Stress Conditions. *Agriculture*, *10*(7), 254, doi:10.3390/agriculture10070254

Runkle, E.S. Heins, R.D. (2001). Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *126*, 275-282, doi:10.21273/JASHS.126.3.275

Savvides, A., Fanourakis, D., van Ieperen, W. (2012). Co-ordination of hydraulic and stomatal conductance across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, *63*(3), 1135–43, doi:10.1093/jxb/err348.

Saini, E.S. (2006). Labratoey manual of analytical techniques in horticulture. Agrobios. India.

Simkin, A.J., Kapoor, L., Doss, C.G.P., Hofmann, T.A., Lawson, T. Ramamoorthy, S. (2022). The role of photosynthesis related pigments in light harvesting, photoprotection and enhancement of photosynthetic yield in plants. *Photosynthesis Reseaech*, doi:10.1007/s11120-021-00892-6

Simons, J.L., Napoli, C.A., Janssen, B.J., Plummer, K.M. Snowden, K.C. (2007). Analysis of the DECREASED APICAL DOMINANCE genes of petunia in the control of axillary branching. *Plant Physiology*, *143*(2), 697-706, doi: 10.1104/pp.106.087957

Sipos, L., Boros, I.F., Gsambalik, L., Szekely, G., Jung, A. Balazs, L. (2020). Horticultural lighting system optimization: A review. *Scientia Horticulturae*, *273*, 109631, doi: 10.1016/j.scienta.2020.109631

Snowden, M.C., Cope, K.R., Bugbee, B. (2016). Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: Interactions with photon flux. *PLOS ONE*, *30*(9), 987-994, doi: 10.1371/journal.pone.0163121

Sullivan, A., Hart, J., Rasch, P., Walker, C. Christie, J. (2016). Phytochrome A mediates blue light enhancement of second positive phototropism in Arabidopsis. *Frontier in plant Science*, *7*, 290, doi:10.3389/fpls.2016.00290

Takasu, S., Shimizu, H., Nakashima, H., Miyasaka, J. Ohdoi, K. (2019). Photosynthesis and morphology of leaf lettuce (Lactuca sativa L. cv. Greenwave) grown under alternating irradiation of red and blue light. *Environmental Control in Biology*, *57*(4), 93-98, doi:10.2525/ecb.57.93

Takoutsing, B., Tchoundjeu, Z., Degrande, A. Asaah, E., Gyau, A., Nkeumoe, F. Tsobeng, A. (2014). Assessing the Quality of Seedlings in Small-scale Nurseries in the Highlands of Cameroon: The Use of Growth Characteristics and Quality Thresholds as Indicators. *Small-scale Forestry*, *13*, 65–77, doi:10.1007/s11842-013-9241-7

van Gelderen, K., Kang, C. Pierik, R. (2018). Light Signaling, Root Development, and Plasticity. *Plant Physiology*, *176* (2), 1049–1060, doi:10.1104/pp.17.01079.

van Iersel, M.W. (2017). Chapter 4- Optimizing LED lighting in controlled environment agriculture. Editor: Dutta Gupta, S. Light Emitting Diodes for Agriculture. Springer, Singapore. Pages: 59-80. ISBN 978-981-10-5806-6. doi:10.1007/978-981-10-5807-3_4

Wang, Q., Liu, Q., Wang, X., Zuo, Z., Oka, Y. Lin, C. (2017). New insights into the mechanisms of phytochrome-cryptochrome coaction. *New Phytologist*, *217*(2), 547-55, doi:10.1111/nph.14886

Wang, X.Y., Xu, X. M., Cui, J. (2015). The importance of blue light for leaf area expansion, development of photosynthetic apparatus, chloroplast ultrastructure of *Cucumis sativus* grown under weak light. *Photosynthetica*, *53*(2), 213–222, doi:10.1007/s11099-015-0083-8

Wang, X., Wang, Q., Nguyen, P., Lin, C. (2014). Cryptochrome-mediated light responses in plants. *Enzymes*, doi: 10.1016/B978-0-12-801922-1.00007-5

Warner, R. M. (2010). Temperature and Photoperiod Influence Flowering and Morphology of Four Petunia spp. *HortScience*, *45*(3), 365–368, doi: 10.21273/HORTSCI.45.3.365

Wollaeger, H.M. Runkle, E.S. (2015). Growth and acclimation of Impatiens, Salvia, Petunia, and Tomato seedlings to blue and red light. *HortScience*, *50*(4), 522-529, doi:10.21273/HORTSCI.50.4.522

Yan, Z., He, D., Niu, G., Zhou, Q., Qu, Y. (2019). Growth, nutritional quality, and energy use efficiency of hydroponic lettuce as influenced by daily light integrals exposed to white versus white plus red light-emitting diodes. *HortScience*, *54* (10), 1737–1744, doi:10.21273/HORTSCI14236-19

Yue, C., Wang, Z., Yang, P. (2021). Review: The effect of light on the key pigment compounds of photosensitive etiolated tea plant. *Botanical studies*, *62*, 21, doi:10.1186/s40529-021-00329-2

Zadworny, M., Mucha, J., Jagodziński, A.M., Kościelniak, P., Łakomy, P., Modrzejewski, M., Ufnalski, K., Żytkowiak, R., Comas, L.H. Rodríguez-Calcerrada, J. (2021). Seedling regeneration techniques affect root systems and the response of *Quercus robur* seedlings to water shortages. *Forest Ecology and Management*, *479*, 118552, doi: 10.1016/j.foreco.2020.118552

Zheng, L. van Labeke, M.C. (2017). Long-term effects of red and blue light emitting diodes on leaf anatomy and photosynthetic efficiency of three ornamental pot plants. *Frontiers in Plant Science*, 8. 917,doi:10.3389/fpls.2017.00917

Zheng, L., He, H., Song, W. (2019). Application of light-emitting diodes and the effect of light quality on horticultural crops: A review. *HortScience*, *54*(10), 1656-1661, doi:10.21273/HORTSCI14109-19

Zheng, L., Steppe, K., van Lebeke, M. C. (2020). Spectral quality of monochromatic LED affects photosynthetic accumulation to high-intensity sunlight of chrysanthemum and spathiphyllum. *Physiologia Plantarum*, *169* (1), 10-26, doi:10.1111/ppl.13067

Zhou, H., Beynon-Davies, R., Carslaw, N., Dodd, I.C., Ashworth, K. (2022). Yield, resource use efficiency or flavor: Trade-offs of varying blue-to-red lighting ratio in urban plant factories. *Scientia Horticulturae*, *295*, 110802, doi: 10.1016/j.scienta.2021.110802

Flower and Ornamental Plants (2023), 7(2): 213-238
Research article

Gradual modification of the light spectral combinations during the growth of *Petunia×hybrida* seedlings improves vegetative growth traits and accelerates flowering

Azadeh Rashidi[1], Ali Tehranifar*[1], Leila Samiei[2]
1. Horticultural Science and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad
2. Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad
tehranifar@um.ac.ir

Abstract

Due to the effect of some wavelengths of light such as blue and red on the structure and activity of different plant pigments, in recent years, different ways of using LED lamps in plant breeding environments and in order to Improve plant growth have been studied. In this study, we aim to investigate how gradual changes in spectral distribution compared to constant spectral distribution, fluorescent light, and high-pressure sodium lights affect the vegetative growth traits of petunia seedlings, energy use efficiency during the seedling growth and the change in the reproductive behavior of mature plants. Petunia seedlings were affected by different spectral distributions for 28 days. In some light treatments. In some light treatments (85%red: 15%blue, 70%red: 30%blue, and 55%red: 45%blue) while in others, the percentages of blue and red lights changed gradually according to the schedule which included a gradual increase in the amount of red light or a gradual decrease in the amount of red light. Also, the effect of fluorescent lamps (control) and high-pressure sodium was studied. At the end of the seedling stage, samples of the lighting treatments were transferred to a greenhouse with completely identical environmental conditions to determine the effect of different spectral distributions during the seedling stage on the vegetative and reproductive growth of mature plants. The results showed the improvement of the studied growth traits under the gradual changes of spectral distribution during the seedling stage. The dry weights of shoot and root, leaf area, number of leaves, contents of chlorophyll and carotenoid pigments, and energy use efficiency were significantly higher under the lighting treatment which was initially monochromatic blue light, and then the amount of red light was gradually increased. Also, it was observed that the vegetative growth and flowering of mature plants were affected by the spectral distribution used during the seedling stage. Mature plants whose seedlings were under the influence of monochromatic blue light at the beginning of their growth and the amount of blue light was gradually reduced, had a higher fresh and dry weight of shoot and root, root volume, number, and length of lateral branches. Compared to other plants, they were plants. It was also observed that although changes in the spectral composition of light during seedling growth had a significant effect on the flowering time of mature plants, there was not a significant difference between some light treatments (constant ratio of 45% blue: 55% red, high-pressure sodium lamp light and a gradual increase in the amount of red light). Modifying the spectral combinations during the seedling stage influenced their vegetative traits of them. Additionally, lighting treatments during the seedling stage affected the vegetative traits of mature plants. Further, the gradual changes in the blue and red-light proportion in spectral distribution significantly affected the energy use efficiency, which affects the reasonable economic achievements in plant production. Lighting systems could be applied to plant production differently in the future, according to the results of this study.

Keywords: Energy use efficiency, Flowering, Lighting system, Photomorphogenesis.