

مطالعه اثر مقطع زمانی کاربرد نور مکمل و ترکیب طیفی نور بر ویژگی های رویشی و زمان گل دهی اطلسی (*Petunia × hybrida*)

آزاده رشیدی^۱، علی تهرانی فرا^{۱*} و سید حسین نعمتی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۴)

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی اثر مقطع زمانی کاربرد نور مکمل و ترکیب طیفی نور بر چگونگی رشد رویشی و زایشی اطلسی (*Petunia × hybrida Super cascade Blue*) بود. به این منظور، آزمایشی در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. گیاهان پس از گذشت ۱۲ ساعت قرارگیری در گلخانه، نور تکمیلی را در دو مقطع زمانی (ساعت ۱۸ الی ۲۲ و ۲۲ الی ۲ بامداد) و با استفاده از ترکیبات متفاوت نور قرمز (۶۲۵ نانومتر) و آبی (۴۶۷ نانومتر) شامل ۱۰۰ درصد قرمز، ۱۵ درصد آبی : ۸۵ درصد قرمز، ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز و نور لامپ پرفشار سدیم (شاهد) دریافت کردند. نتایج نشان داد که در تمامی صفات رویشی مورد بررسی، برهمکنش مقطع زمانی کاربرد نور مکمل و ترکیب طیفی نور معنی دار نبود. با کاربرد نسبت نوری ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز، بیشترین وزن تر (۱۵/۷۳ گرم) و خشک (۰/۸۶ گرم) برگ سار و وزن تر (۱/۱۳ گرم) و خشک (۰/۳ گرم) ریشه، میانگین ارتفاع ساقه های جانبی (۶/۶۳ سانتی متر)، غلظت کلروفیل های a، b، کل و کاروتنوئید (به ترتیب ۱/۰۳، ۰/۳۵، ۱/۳۸ و ۰/۴۴ میلی گرم در گرم وزن تر) و با کاربرد نسبت نوری ۱۵ درصد آبی : ۸۵ درصد قرمز، بیشترین ارتفاع ساقه مرکزی (۱۴/۴ سانتی متر)، سطح برگ (۳۱۳/۰۷ سانتی متر مربع)، تعداد برگ (۸۰/۵) و تعداد ساقه جانبی (۹/۸۳) به دست آمد. همچنین، نتایج بیانگر برهمکنش معنی دار اثر مقطع زمانی کاربرد و ترکیب طیفی نور بر صفت سرعت گل دهی بود و بیشترین سرعت گل دهی (۵۶ روز پس از کاشت) با کاربرد ترکیب تیماری ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز از ساعت ۲۲ الی ۲ بامداد به دست آمد.

کلمات کلیدی: شب شکنی، نور مکمل، فتوپریود، فتومورفوزن

مقدمه

در برابر کیفیت و کمیت نور به عملکرد رنگدانه های فتوسنتزی همانند کلروفیل ها، کاروتنوئیدها و فیکوبیلین ها و رنگدانه های گیرنده نور همانند فیتوکروم ها، کریپتوکروم ها و فتوتروپین ها بستگی دارد (۱۲، ۲۲ و ۲۷). بیشترین میزان تولید و فعالیت

نور از عوامل محیطی تأثیرگذار بر رشد و توسعه گیاهان است و نحوه اثر آن از سه جنبه طول مدت حضور، شدت و ترکیبات طیفی مورد توجه قرار گرفته است (۱۵ و ۳۶). واکنش گیاهان

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

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: tehranifar2009@yahoo.com

ساعت ۲۲ الی ۲ بامداد، استفاده می‌کنند (۱۴ و ۴۹). طول مدت زمان کارکرد منابع نور مصنوعی در هر یک از دو مقطع زمانی یاد شده چهار ساعت توصیه شده است (۴، ۱۶ و ۵۴). بنابر گزارش‌های پرورش‌دهندگان بخش تجاری، انجام عمل شب‌شکنی از ساعت ۲۲ الی ۲ بامداد اثر بیشتری در عملکرد گیاهان و تحریک گل‌دهی آنان داشته است. به همین دلیل و در اکثر موارد، به منظور افزایش طول مدت حضور نور در محیط داخلی گلخانه‌ها، از منابع نور مصنوعی به صورت شب‌شکنی استفاده می‌شود. همچنین، تاکنون در نمونه کارهای پژوهشی و با وجود مساوی بودن شدت نور و مدت زمان حضور نور مکمل در هر دو روش، به کارگیری شیوه شب‌شکنی در تحریک گل‌دهی گیاهان روزبلند همانند گل انگشتانه‌ای، کوکب کوهی، ارکیده سیمبدیوم، کورئوپسیس و گل ختمی مؤثرتر اعلام شده است (۴، ۱۴، ۱۶، ۳۰، ۴۹ و ۵۹).

لامپ‌های پرفشار سدیم از منابع نور مصنوعی متداول برای تأمین نیاز نوری محصولات گلخانه‌ای هستند. اما امروزه لامپ‌های ال‌ای‌دی (LED) به دلیل ویژگی‌هایی از جمله عمر طولانی، تولید گرمای اندک در حین کار، راندمان مناسب تبدیل الکتریسیته به نور و تولید طیف‌های اختصاصی نور همانند نور قرمز و آبی مورد توجه قرار گرفته‌اند (۵۷، ۵۸ و ۶۲). بنابر این، کاربرد لامپ‌های LED می‌تواند منجر به تحریک و افزایش فعالیت رنگدانه‌های گیاهی و در نتیجه بهبود رشد گیاهان شود (۱۰ و ۲۰). تاکنون در رابطه با چگونگی تأثیر نور مکمل بر نحوه رشد رویشی و زایشی گیاهان زیتنی همانند بنفشه، گل حنا، گل جعفری، اطلسی، شمعدانی و داوودی پژوهش‌هایی انجام پذیرفته است (۲۲، ۴۶ و ۶۴). اما در رابطه با نحوه واکنش گیاهان در برابر کاربرد ترکیبات طیف‌های اختصاصی به‌عنوان نور مکمل در مقاطع مختلف شبانه‌روز اطلاعات اندکی وجود دارد.

هدف از این پژوهش، بررسی اثر کاربرد منابع نور مصنوعی با ترکیب‌های طیفی متفاوت به‌عنوان نور مکمل در دو مقطع زمانی مختلف (شب‌شکنی و انتهای روز) بر ویژگی‌های رشد

کلروفیل‌های a و b تحت تأثیر نور قرمز و آبی، فیتوکروم‌ها در نور قرمز و قرمز دور و کریپتوکروم‌ها در نور آبی گزارش شده است. بنابراین، حضور نورهای آبی و قرمز می‌تواند در ارتقا و بهبود کیفیت رشد رویشی گیاهان اثر مثبت به‌همراه داشته باشد (۴۱ و ۶۰). با وجود این، مواردی همانند گونه و رقم گیاه، مرحله رشد و نمودی آن، شدت و کیفیت نور و سایر شرایط محیطی بر پاسخ‌های فیزیولوژیک، مورفولوژیک و آناتومیک گیاهان در برابر کاربرد نسبت‌های ترکیبی طیف‌های قرمز و آبی تأثیرگذار است (۱۷، ۲۵ و ۵۶).

گیاهان زیتنی از نظر نیاز به طول مدت نور جهت گل‌دهی در سه گروه قرار می‌گیرند: روزبلند، روزکوتاه و روزخشتی (۳۷ و ۵۱). عدم رفع نیازهای نوری گیاهان فتوپریودیک، مانع از دستیابی آنان به حداکثر ظرفیت گل‌دهی می‌شود (۲۷ و ۳۷). همچنین، افزایش مناسب مدت زمان حضور نور به دلیل بهبود سرعت رشد رویشی و زایشی گیاهان روزبلند، منجر به کاهش هزینه‌های تولید می‌شود (۳۶، ۴۲ و ۵۱). مدت زمان بحرانی حضور نور برای گل‌دهی گیاهان روزبلند در بین گونه‌های مختلف بین ۱۲ الی ۱۶ ساعت و در سیستم‌های مزارع عمودی که نیاز گیاه فقط از طریق منابع مصنوعی نور تأمین می‌شود، ۱۸ ساعت در نظر گرفته می‌شود (۳، ۸ و ۵۵). علاوه بر مدت زمان حضور نور مکمل، شدت و مقطع زمانی کاربرد آن نیز اهمیت دارد. میزان شدت نور مورد نیاز طی نوردهی مکمل، بسته به هدف مورد انتظار، می‌تواند متفاوت باشد. به‌عنوان مثال، برای ایجاد پاسخ‌های فتوپریودیک، حضور نور با شدت کمتر از ۵۰-۲۵ فوت‌کندل (۱۰-۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) کفایت می‌کند. اما در صورت نیاز به انجام عمل فتوستتیز، حداقل شدت نور برابر با ۶۰۰-۳۰۰ فوت‌کندل (۱۲۰-۶۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) توصیه شده است (۱۶ و ۶۱).

در گلخانه‌های تجاری و به منظور افزایش مدت زمان حضور نور، منابع نور مصنوعی را معمولاً در دو مقطع زمانی، یعنی در انتهای روز و هنگام غروب آفتاب (Day extension) از ساعت ۱۸ الی ۲۲ و یا به صورت شب‌شکنی (Night interruption) از



شکل ۱. اتاقک‌های رشد مورد استفاده برای کاربرد نور مکمل به مدت ۴ ساعت

قرار گرفتند. پس از جوانه‌زنی بذرها و ظهور جفت برگ دوم، تیمارها اجرا شدند. به این صورت که گلدان‌ها از ساعت ۶ الی ۱۸ در گلخانه با نور طبیعی و دمای 24 ± 1 درجه سلسیوس نگهداری شدند و پس از ساعت ۱۸ و در دو گروه مجزا (گروه اول از ساعت ۱۸ الی ۲۲ و گروه دوم از ساعت ۲۲ الی ۲ بامداد) به مدت چهار ساعت و برای دریافت نور مکمل در محفظه‌های بسته (اتاقک رشد) قرار گرفتند (شکل ۱). برای تهیه ترکیبات نوری یاد شده از لامپ‌های ال‌ای‌دی (شرکت SENYANG LIGHT) با طیف قرمز (۶۲۵ نانومتر) و طیف آبی (۴۶۷ نانومتر) به تعداد ۴۰۰ عدد استفاده شد که روی صفحات پلکسی‌گلاس (Plexiglass) نصب شدند. با استفاده از ۳۴۰ عدد لامپ قرمز و ۶۰ عدد لامپ آبی، نسبت نوری ۱۵ درصد آبی : ۸۵ درصد قرمز و با کاربرد ۲۸۰ عدد لامپ قرمز و ۱۲۰ عدد لامپ آبی نسبت نوری ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز به دست آمد. لامپ‌های ال‌ای‌دی در محفظه‌های بسته و به ابعاد $70 \times 60 \times 60$ سانتی‌متر و لامپ‌های پرفشار سدیم در محفظه‌ای به ابعاد $120 \times 60 \times 60$ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. ارتفاع بیشتر محفظه حاوی لامپ‌های پرفشار سدیم مانع از رسیدن حرارت ناشی از کارکرد این لامپ‌ها به گیاهان واقع در کف

رویشی و زمان شکل‌گیری غنچه‌های گل در گیاهان اطلسی تحت تیمار و مقایسه نتایج با کاربرد نور لامپ پرفشار سدیم است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر مقطع زمانی کاربرد نور مکمل و ترکیب‌های نور بر نحوه رشد رویشی و زایشی اطلسی *Petunia × hybrida cv. Super cascade Blue* فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام پذیرفت. تیمارها شامل مقطع زمانی کاربرد نور مکمل در دو سطح (گروه اول از ساعت ۱۸ الی ۲۲ و گروه دوم از ساعت ۲۲ الی ۲ بامداد) و ترکیب‌های نوری در چهار سطح (۱۰۰ درصد قرمز، ۱۵ درصد آبی : ۸۵ درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز و نور لامپ پرفشار سدیم (شاهد)) بودند. ابتدا، گلدان‌هایی با دهانه ۱۰ سانتی‌متر با ۵۰ درصد خاک برگ، ۴۰ درصد کوکوپیت و ۱۰ درصد پرلایت پر شدند و بعد از کاشت بذر در هر گلدان، در محیطی با دمای 20 ± 0.5 سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰ درصد و با نور طبیعی، اما غیر مستقیم، به شدت ۱۰۰ فوت‌کندل (۲۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)

خشک (۳/۰ گرم) ریشه بودند که بیانگر تأثیر مثبت کاربرد همزمان نور آبی و قرمز در افزایش تجمع ماده گیاهی بود (جدول ۲). اثر مثبت به‌کارگیری نور آبی به‌همراه نور قرمز در افزایش وزن برگ‌سار و ریشه گیاهانی همچون اطلسی (۴۶)، کاج نروژی (۴۸)، کاهو و اسفناج (۴۵ و ۶۶) مطرح شده است. اما نتایج برخی پژوهش‌ها به بی‌اثر بودن نور آبی بر تغییرات وزن برخی از گیاهان همانند تربچه، سویا و گندم (۱۳ و ۲۰) و یا تأثیر منفی آن بر افزایش وزن بنفشه و گل جعفری (۲۴ و ۴۶) اشاره داشته‌اند. در این آزمایش، افزایش سطح نور آبی (کاربرد نسبت ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز) منجر به افزایش معنی‌دار وزن تر (۲/۸ درصد) و خشک (۰/۹ درصد) برگ‌سار و وزن تر (۱۵/۳ درصد) و خشک (۷/۱ درصد) ریشه گیاهان در مقایسه با نسبت نوری ۱۵ درصد آبی : ۸۵ درصد قرمز شد که این مسئله بیانگر اثر مثبت افزایش سطح حضور نور آبی در شاخص‌های وزنی گیاهان بود (جدول ۲).

گزارش‌هایی مبنی بر اثر مثبت نور آبی بر افزایش تولید سیتوکنین در گیاهان وجود دارد (۳۲) و سیتوکنین بر رشد و گسترش ریشه گیاهان مؤثر است (۵). نتایج این آزمایش نیز حاکی از اثر مثبت حضور و افزایش سطح نور آبی بر رشد و نمو ریشه گیاهان تحت آزمایش بود.

نتایج این آزمایش بیانگر تأثیر معنی‌دار ترکیب نورهای آبی و قرمز بر محتویات کلروفیل‌های a، b، کل و همچنین رنگدانه‌های کاروتنوئیدی بود (جدول ۲). کاربرد نسبت نوری ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز موجب افزایش ۳۳/۶ درصد کلروفیل a، ۸۸/۲ درصد کلروفیل b، ۴۴/۸ درصد کلروفیل کل و ۵۱ درصد کاروتنوئید در مقایسه با نور لامپ پرفشار سدیم (شاهد) شد و این گیاهان به شکل معنی‌داری وزن تر و خشک برگ‌سار و ریشه بیشتری نسبت به سایر تیمارها نشان دادند (جدول ۲). در میان رنگدانه‌های گیاهی، کلروفیل‌ها و کاروتنوئید در جذب انرژی نور نقش اصلی را ایفا می‌کنند (۲). از آنجایی که نورهای آبی و قرمز اثر مثبتی بر شکل‌گیری و عملکرد رنگدانه‌های فتوسنتزی دارند، بنابراین، به نظر می‌رسد

محفظه‌ها شد و شرایطی یکسان از نظر دما در سطح مواد گیاهی در تمامی محفظه‌ها ایجاد شد (شکل ۱). شدت نور در هنگام روشن بودن منابع نور و در تمامی ترکیبات نوری در بالاترین قسمت برگ‌سار گیاهان برابر با ۳۰۰ فوت‌کندل (۶۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و دما برابر با 18 ± 1 درجه سلسیوس بود. زمان ختم اعمال تیمارها و شروع داده‌برداری هنگامی بود که جوانه گل در ۵۰ درصد گیاهان هر تیمار تشکیل شد و صفات وزن تر و خشک برگ‌سار و ریشه، تعداد و سطح برگ، ارتفاع ساقه اصلی و ساقه‌های جانبی، محتویات کلروفیل‌های a، b و کل و کاروتنوئید اندازه‌گیری شد. ارتفاع با خط‌کش، وزن تر و خشک برگ‌سار و ریشه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱، خشک کردن بافت‌ها با استفاده از آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت و اندازه‌گیری شدت نور طی آزمایش با دستگاه نورسنج ال‌آی-کُر (LI-COR®) مدل LI-250A انجام پذیرفت. برای اندازه‌گیری تعداد و سطح برگ، ابتدا برگ‌هایی که رگبرگ اصلی آنان بیش از یک سانتی‌متر طول داشت شمارش و سپس با اسکنر شرکت اچ‌پی (hp) مدل G3110 اسکن و سپس مساحت برگ‌ها با نرم‌افزار ImageJ-Win32 اندازه‌گیری شد. به‌منظور استخراج و اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئید از روش آرنون (۱۹۴۹) استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16، مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها به‌کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

اثر ترکیب طیفی نور بر تجمع ماده گیاهی

بررسی نتایج بیانگر معنی‌دار بودن اثر عامل ترکیب طیفی نور بر صفات وزن تر و خشک برگ‌سار و ریشه در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۱). گیاهان پرورش یافته در نسبت نوری ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز دارای بیشترین وزن تر (۱۵/۷۳ گرم) و خشک (۰/۸۶ گرم) برگ‌سار و وزن تر (۱/۱۳ گرم) و

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر مرحله نوردهی و ترکیب نور بر صفات مورد مطالعه اطلسی

میانگین مربعات											
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر برگ‌سار	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک برگ‌سار	قطر طوقه	ارتفاع ساقه	ارتفاع ساقه‌های جانبی	قطر ساقه مرکزی	میانگین مربعات	منابع تغییرات
بلوک	۲	۰/۰۱۰۶**	۰/۰۰۰۸۷**	۰/۰۰۰۳۳**	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۷ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۳*	۰/۰۰۰۰۳*	منابع تغییرات
مرحله نوردهی	۱	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۴۲**	۰/۰۰۰۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	مرحله نوردهی
ترکیبات نوری	۳	۱۳/۵۲۱**	۰/۳۶۲**	۰/۱۲۱**	۰/۰۶۵**	۰/۳۵۹**	۱۹/۸۸**	۱۳/۹۴۳**	۰/۱۲۴**	۰/۱۲۴**	ترکیبات نوری
مرحله نوردهی × ترکیبات نوری	۳	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۳ ^{NS}	مرحله نوردهی × ترکیبات نوری
خطای آزمایش	۱۴	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۱۰۴	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	خطای آزمایش

NS و * به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی دار

ادامه جدول ۱.

میانگین مربعات

منابع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ	تعداد برگ	تعداد ساقه جانبی	زمان گل دهی از زمان کاشت بذر	تعداد گره تا اولین گل	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
بلوک	۲	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ ^{NS}	۱/۱۷ ^{NS}	۴/۰۴۲ ^{NS}	۰/۵۱ ^{NS}	۱/۷۲۹ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ ^{NS}
مرحله نوردهی	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ ^{NS}	۱/۰۴ ^{NS}	۰/۱۶۷ ^{NS}	۳۰/۴ ^{**}	۰/۰۲۴ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳ ^{NS}
ترکیبات نوری	۳	۲۹۶۳۶/۷ ^{**}	۴۴۶/۷ ^{**}	۱۷/۵ ^{**}	۵۴۰۶/۴ ^{**}	۸۰/۶۲۹ ^{**}	۰/۰۷۲۶ ^{**}	۰/۰۵۲۴ ^{**}	۰/۲۲۵۷ ^{**}	۰/۰۲۳۱ ^{**}
مرحله نوردهی × ترکیبات نوری	۳	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲ ^{NS}	۰/۴۹ ^{NS}	۰/۱۶۷ ^{NS}	۴/۴ ^{**}	۰/۰۰۹ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲ ^{NS}
خطای آزمایش	۱۴	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱	۳/۰۷	۱/۶۱۳	۰/۸	۰/۱۵۷	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱

* و ** PMS به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی دار

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر ترکیبات نور بر صفات مورد مطالعه اطلسی

صفت	وزن تر	وزن خشک	وزن خشک	ارتفاع ساقه	ارتفاع ساق‌های	قطر ساقه	تیمار
	وزن تر ریشه	ریشه	برگ‌سار	مرکزی	جانبی	قطر طوقه (mm)	
	(g)	(g)	(g)	(cm)	(cm)	(mm)	
ترکیبات نور							
۱۰٪ آبی: ۱۰۰٪	۱۲/۵۸۸ ^d	۰/۲۰۲ ^d	۰/۶۴۲ ^d	۱۱/۶۴۸ ^c	۳/۰۸۷ ^d	۳/۱۰ ^c	
۱۵٪ آبی: ۸۵٪	۱۵/۳۰۷ ^b	۰/۲۸۱ ^b	۰/۸۵۳ ^b	۱۴/۴۲۳ ^a	۴/۴۳۰ ^b	۳/۳۲۱ ^a	
۳۰٪ آبی: ۷۰٪	۱۵/۷۳۸ ^a	۰/۳۰۱ ^a	۰/۸۶۱ ^a	۱۳/۴۹۳ ^b	۶/۶۳۳ ^a	۳/۱۱۲ ^b	
پرفشار سدیم	۱۳/۲۱۶ ^c	۰/۲۳۶ ^c	۰/۷۳۳ ^c	۱۰/۳۷۲ ^d	۳/۸۵۳ ^c	۲/۹۷۳ ^d	

* در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

ادامه جدول ۲.

صفت	سطح برگ	تعداد	تعداد ساقه	تعداد گره	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
	(cm ²)	برگ	جانبی	تا اولین گل	(mg/g FW)			
ترکیبات نور								
۱۰٪ آبی: ۱۰۰٪	۱۶۴/۷۳۴ ^d	۶۰/۵۰۰ ^d	۶/۱۶۷ ^c	۰/۰۰ ^c	۰/۸۶۸ ^c	۰/۱۳۵ ^d	۱/۰۰۳ ^c	۰/۳۵۳ ^c
۱۵٪ آبی: ۸۵٪	۳۱۳/۰۷۹ ^a	۸۰/۵۰۰ ^a	۹/۸۳۳ ^a	۶/۳۱۷ ^b	۰/۸۹۷ ^b	۰/۲۵۱ ^b	۱/۱۴۷ ^b	۰/۳۷۰ ^b
۳۰٪ آبی: ۷۰٪	۳۰۵/۴۹۲ ^b	۷۳/۸۳۳ ^b	۷/۱۶۷ ^{bc}	۶/۲۷۷ ^b	۱/۰۳۷ ^a	۰/۳۵۲ ^a	۱/۳۸۸ ^a	۰/۴۴۷ ^a
پرفشار سدیم	۲۹۴/۹۵۵ ^c	۶۷/۰۰۰ ^c	۹/۱۶۷ ^{ab}	۸/۵۰۰ ^a	۰/۷۷۱ ^d	۰/۱۸۷ ^c	۰/۹۵۸ ^d	۰/۲۹۶ ^d

* در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

ساقه‌های جانبی (۹/۸ عدد) با نسبت نوری ۱۵ درصد آبی: ۸۵ درصد قرمز و بیشترین میانگین ارتفاع ساقه‌های جانبی (۶/۶۳ سانتی‌متر) با نسبت نوری ۳۰ درصد آبی: ۷۰ درصد قرمز به‌دست آمد. اثر مثبت نور آبی به‌همراه نور قرمز در افزایش ارتفاع گیاه اطلسی و در مقایسه با کاربرد نور قرمز در برخی تحقیقات اشاره شده است (۱۸ و ۲۱). با این وجود، اطلاعات چندانی در رابطه با نسبت مناسب نور آبی و قرمز برای افزایش ارتفاع این گیاه در دسترس نیست. نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش سطح حضور نور آبی و کاربرد نسبت نوری ۳۰ درصد آبی: ۷۰ درصد قرمز منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه مرکزی (۶/۴ درصد)، کاهش تعداد ساقه‌های جانبی (۲۷/۱ درصد) و افزایش ارتفاع ساقه‌های جانبی (۴۹/۷ درصد) در

که افزایش حضور آنان منجر به افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش شاخص‌های وزنی گیاه شود (۴۷). با وجود این، تأثیر نور آبی بر محتویات کلروفیل در گیاهان مختلف، متفاوت گزارش شده و آن را مثبت (۴۶)، منفی (۵۲) و یا بی‌اثر (۳۳) گزارش کرده‌اند.

اثر ترکیب طیفی نور بر ارتفاع ساقه‌های اصلی و جانبی و تعداد ساقه‌های جانبی

بررسی نتایج بیانگر معنی‌دار بودن اثر عامل ترکیب طیفی نور بر صفات ارتفاع ساقه مرکزی، ارتفاع ساقه‌های جانبی و تعداد ساقه‌های جانبی در سطح یک درصد بود (جدول ۱). بیشترین ارتفاع ساقه مرکزی (۱۴/۴۲ سانتی‌متر) و بیشترین تعداد

مقایسه با نسبت نوری ۱۵ درصد آبی: ۸۵ درصد قرمز شد (جدول ۲).

افزایش ارتفاع به دلیل وجود نور آبی در برخی از گیاهان همچون داوودی (۲۷)، گل جعفری (۲۴)، اطلسی (۲۱) و کاهش ارتفاع در گیاهانی همانند آراییدوپسیس (۱۹)، داوودی (۵۳) و بنت‌القنصول (۲۵) گزارش شده که بیانگر واکنش متفاوت گیاهان مختلف در برابر حضور نور آبی و تغییر ارتفاع آنان است. نور آبی بر نحوه بیان و عملکرد ژن‌های مسئول متابولیسم جبریلین اثر دارد و در برخی از گونه‌های گیاهی منجر به ایجاد سیگنال از سوی رنگدانه‌های کریپتوکروم و کاهش ساخت جبریلین و در نتیجه کاهش ارتفاع ساقه می‌شود. در حالی که در برخی دیگر از گونه‌ها، افزایش تولید جبریلین و افزایش ارتفاع در این روند روی می‌دهد. بنابراین، نحوه عملکرد و میزان فعالیت کریپتوکروم‌ها در برابر مدت زمان حضور و شدت نور آبی موجود در محیط، مسئول پاسخ‌های متفاوت از سوی گیاهان و تغییر ارتفاع آنان به دلیل حضور و یا عدم حضور نور آبی معرفی شده است (۹، ۱۱، ۲۲).

از سوی دیگر، برخی از پژوهشگران به اثر نور قرمز در کاهش غالبیت انتهایی و افزایش شاخه‌زایی و اثر نور آبی در افزایش غالبیت انتهایی و کاهش شاخه‌زایی اشاره کرده‌اند و آن را نتیجه تأثیر برهمکنش فیتوکروم‌ها و کریپتوکروم‌ها بر فتومورفوژنز می‌دانند (۲۱ و ۳۹). نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد نسبت نوری ۱۵ درصد آبی: ۸۵ درصد قرمز منجر به افزایش تعداد ساقه‌های جانبی (۵۹/۵ درصد) در مقایسه با نور قرمز شد (افزایش شاخه‌زایی). اما تغییر سطح حضور این دو طیف و کاربرد نسبت نوری ۳۰ درصد آبی: ۷۰ درصد قرمز، کاهش تعداد شاخه‌های جانبی (۲۷ درصد) را به دنبال داشت (کاهش شاخه‌زایی) و کاهش سطح حضور نور قرمز و افزایش سطح حضور نور آبی افزایش میانگین ارتفاع ساقه‌های جانبی (۴۹/۶ درصد) را نیز به دنبال داشت (جدول ۲) که این نتایج بیانگر نحوه تأثیر متقابل نورهای آبی و قرمز در تعیین نحوه تأثیر غالبیت انتهایی جوانه ساقه اصلی بر مسئله شاخه‌زایی

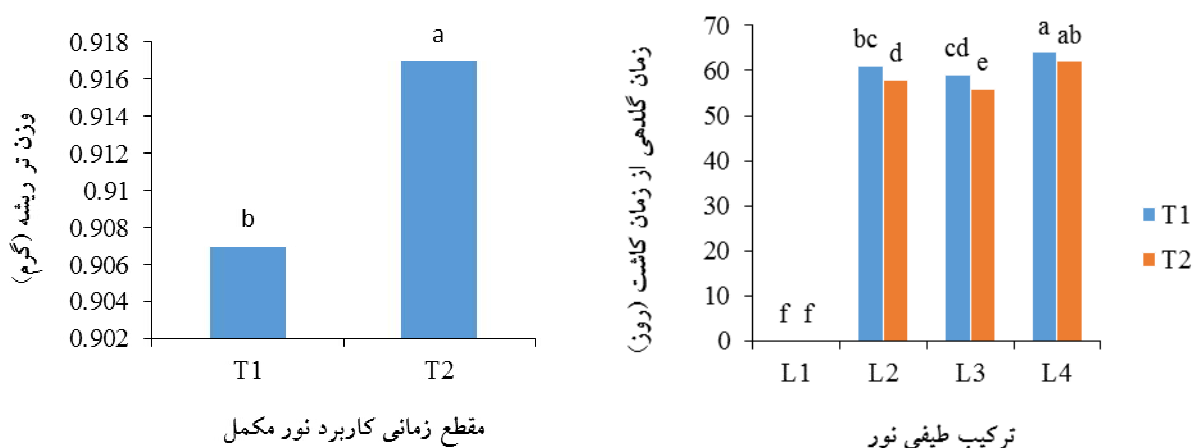
گیاهان تحت آزمایش بود.

اثر ترکیب طیفی نور بر سطح و تعداد برگ

نتایج مقایسه میانگین اثر ترکیب طیفی نور نشان داد که بیشترین سطح برگ (۳۱۳/۰۷ سانتی متر مربع) و تعداد برگ (۸۰/۵) با کاربرد نسبت نوری ۱۵ درصد آبی: ۸۵ درصد قرمز به دست آمد (جدول ۲). با افزایش سطح حضور نور آبی و کاربرد نسبت نوری ۳۰ درصد آبی: ۷۰ درصد قرمز، سطح برگ و تعداد برگ کاهش یافت (۲/۴ و ۸/۲ درصد). برگ‌ها عامل جذب نور و انجام عمل فتوسنتز هستند. بنابراین، افزایش سطح آنان منجر به افزایش غذاسازی گیاهان و در نتیجه رشد و توسعه آنان می‌شود (۱ و ۳۱). تابش نور آبی بر سطح برگ گیاهان می‌تواند اثرهای مختلفی داشته باشد. به عنوان مثال، اثر منفی کاربرد نور آبی بر سطح برگ سالویا، اطلسی و کاهو (۴۳ و ۶۳)، اثر مثبت آن بر سطح برگ رز و فلفل دلمه‌ای (۱۰ و ۵۸) و بی‌اثر بودن حضور آن بر سطح برگ گیاه گوجه‌فرنگی و اسفناج (۳۴ و ۴۳) گزارش شده است. باید توجه کرد که در آزمایش‌های یاد شده، نسبت نورهای آبی و قرمز و همچنین شدت‌های نوری به کار گرفته، متفاوت از یکدیگر بوده است و نتیجه‌گیری در رابطه با چگونگی اثر ترکیب‌های نور بر سطح برگ به تحقیقات گسترده‌تری نیاز دارد. در این پژوهش، اگرچه کاربرد نسبت نوری ۱۵ درصد آبی: ۸۵ درصد قرمز در مقایسه با ۱۰۰ درصد نور قرمز منجر به افزایش معنی‌دار سطح برگ گیاه اطلسی شد، اما افزایش سطح نور آبی و کاربرد نسبت نوری ۳۰ درصد آبی: ۷۰ درصد قرمز، کاهش معنی‌دار مساحت برگ را به دنبال داشت (جدول ۲). کاهش مساحت برگ با افزایش میزان حضور نور آبی در برگ‌های تربچه (۵۲) و اطلسی (۶۳) نیز گزارش شده است.

اثر مقطع زمانی کاربرد نور بر صفات مورد مطالعه

در میان صفات مورد مطالعه در این آزمایش، اثر عامل مقطع زمانی کاربرد نور مکمل بر صفت وزن تر ریشه و در سطح



شکل ۲. اثر مقطع زمانی کاربرد نور مکمل بر وزن تر ریشه، T1: ساعت ۱۸ الی ۲۲ و T2: ساعت ۲۲ الی ۲ بامداد (سمت چپ) و اثر متقابل مقطع زمانی کاربرد نور مکمل و ترکیب طیفی نور بر زمان گل‌دهی، L1: نور قرمز، L2: ۱۵٪ آبی: ۸۵٪ قرمز، L3: ۳۰٪ آبی: ۷۰٪ قرمز، L4: لامپ پرفشار سدیم (سمت راست)

اثر مدت زمان حضور نور و ترکیبات طیفی آن بر چگونگی گل‌دهی گیاهان امری شناخته شده است (۲۲ و ۲۴). اطلسی، گیاهی روزبلند اختیاری است که طول مدت حضور نور، شدت و کیفیت نور بر نحوه گل‌دهی آن مؤثر است و انتقال از مرحله رویشی به زایشی هنگامی روی می‌دهد که گیاه دارای ۶ عدد برگ باشد (۱۶). واکنش‌های متفاوت گیاهان در برابر کاربرد طیف‌های نوری مختلف، به دلیل عملکرد متفاوت رنگدانه‌های آنان است (۷ و ۴۰). از میان گیرنده‌های نوری، تأثیر فیتوکروم‌ها (جاذب نورهای قرمز و قرمز دور) و کریپتوکروم‌ها (جاذب نور آبی) و از میان طیف‌های نور نیز نحوه اثربخشی نورهای قرمز و قرمز دور بر فیزیولوژی گل‌دهی گیاهان بیش از سایرین بررسی شده است (۱۲، ۱۴، ۵۶ و ۵۹). نقش ترکیبی نور آبی با نور قرمز یا قرمز دور و یا اثر نور آبی بر عملکرد زایشی گیاهان به‌خوبی شناخته شده نیست (۲۷ و ۳۸).

اگرچه وجود نور آبی را به دلیل تحریک کریپتوکروم‌ها در گل‌انگیزی گیاهان مؤثر دانسته‌اند (۷، ۲۷ و ۴۰) و نقش آن را تا حدودی همانند نور قرمز دور معرفی کرده‌اند (۹ و ۲۸)، اما تعیین دقیق نقش ترکیبی آبی با قرمز یا قرمز دور و یا اثر نور آبی بر عملکرد گل‌دهی گیاهان نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد

احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که وزن تر ریشه با کاربرد نور مکمل از ساعت ۲۲ الی ۲ بامداد به‌صورت معنی‌دار بیش از زمانی بود که نور مکمل از ساعت ۱۸ الی ۲۲ به‌کار برده شد (جدول ۱ و شکل ۲). اگرچه تا کنون نور مکمل به شکل شب‌شکنی مؤثرتر از کاربرد آن در انتهای روز (پس از غروب آفتاب) در گل‌دهی گیاهان فتوپریودیک گلخانه‌ای اعلام شده (۴ و ۵۹)، اما اطلاعات اندکی در رابطه با صفات رویشی که تحت تأثیر این مسئله قرار می‌گیرند، وجود دارد. نتایج این آزمایش نشان داد که از میان صفات رویشی مورد مطالعه، وزن تر ریشه تحت تأثیر مقطع زمانی کاربرد نور مکمل قرار گرفت.

اثر برهمکنش مقطع زمانی کاربرد نور مکمل و ترکیب طیفی نور بر سرعت گل‌دهی

نتایج بیانگر معنی‌داری اثر برهمکنش مقطع زمانی کاربرد نور مکمل و ترکیب طیفی نور بر صفت سرعت گل‌دهی در سطح احتمال یک درصد بود و غنچه‌های گل با کاربرد نسبت نوری ۳۰ درصد آبی: ۷۰ درصد قرمز از ساعت ۲۲ الی ۲ بامداد و با اختلافی معنی‌دار در مقایسه با سایر تیمارهای ترکیبی زودتر ظاهر شدند (جدول ۱ و شکل ۲).

قرار گرفت (شکل ۲). به‌عنوان مثال، شکل‌گیری غنچه‌های گل با کاربرد ترکیب تیماری ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز از ساعت ۱۸ الی ۲۲ به شکل معنی‌داری سریع‌تر از کاربرد نور لامپ پرفشار سدیم از ساعت ۲۲ الی ۲ بامداد بود. مسئله‌ای مشابه در رابطه با گیاه اکرا (*Abelmoschus esculentus*) نیز مطرح شده است؛ زیرا به‌کارگیری نور آبی پس از غروب آفتاب، گل‌دهی را در این گیاه به تأخیر انداخت. اما زمانی که به نحوه شب‌شکنی استفاده شد، اثری در این مسئله نداشت (۲۳). بنابراین، اگرچه لامپ‌های پرفشار سدیم از جمله متداول‌ترین منابع نور مصنوعی در دنیای تجاری پرورش گل‌ها و گیاهان‌اند که به‌منظور تأمین نیاز نوری گیاهان و بخصوص به شکل شب‌شکنی از آنها استفاده می‌شود، اما نتایج این پژوهش نشان داد که اولاً کاربرد نسبت‌های خاص از طیف‌های نوری آبی و قرمز منجر به کاهش معنی‌دار مدت زمان لازم برای ظهور غنچه‌های گل در مقایسه با نور لامپ پرفشار سدیم شد، و ثانیاً با کاربرد نسبت‌هایی خاص از طیف‌های یاد شده در مقطع زمانی پس از غروب آفتاب، امکان گل‌دهی سریع‌تر با اختلافی معنی‌دار در مقایسه با به‌کارگیری نور لامپ پرفشار سدیم به شکل شب‌شکنی وجود دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش بیانگر اثر معنی‌دار ترکیب‌های طیفی نور بر صفات رویشی گیاه اطلسی بود. کاربرد نسبت نوری ۱۵ درصد آبی : ۸۵ درصد قرمز در برخی صفات رویشی (ارتفاع ساقه مرکزی، تعداد ساقه جانبی، سطح و تعداد برگ) و به‌کارگیری نسبت نوری ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز در گروه دیگری از صفات رویشی (وزن تر و خشک برگ‌سار و ریشه، محتویات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید) منجر به حصول بیشترین مقادیر با اختلاف معنی‌دار در مقایسه با سایر نسبت‌های نوری شد. اثر مقطع زمانی کاربرد نور تکمیلی بر صفت وزن تر ریشه معنی‌دار بود و گیاهان با دریافت نور تکمیلی به شیوه شب‌شکنی، وزن تر ریشه بیشتری داشتند. اثر

(۲۷ و ۳۸). نتایج این پژوهش در رابطه با گیاهان اطلسی، بیانگر گل‌دهی سریع‌تر آنان در حضور نور آبی بود (شکل ۲). حضور نور آبی را محرک فعالیت ژن‌هایی می‌دانند که بیان آنان منجر به تمایز مریستم رویشی به سرآغازهای گل می‌شود (۲۱) و (۲۶). همچنین، نور قرمز را به‌دلیل تبدیل فرم غیرفعال فیتوکروم (Pr) به فرم فعال فیتوکروم (Pfr) بر رشد رویشی و زایشی گیاهان مؤثر می‌دانند (۶ و ۳۵). نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد نور قرمز گل‌دهی را به تأخیر می‌اندازد (شکل ۲). برانگیختگی فیتوکروم B توسط نور قرمز که مانع از بیان ژن Hd۳a می‌شود، یکی از موانع گل‌دهی در برخی از گیاهان روزبلند اعلام شده است (۲۱ و ۶۵) و جلوگیری یا تأخیر در گل‌دهی، در صورت کاربرد نور قرمز در برخی از گیاهان همانند اطلسی، بنفشه و کوکب کوهی گزارش شده است (۲۹، ۴۹ و ۵۰) که نتایج این آزمایش آن را تأیید کرد. از سوی دیگر، وجود نور آبی و قرمز و در نتیجه، فعالیت همزمان فیتوکروم‌ها و کریپتوکروم‌ها را عاملی مؤثر در تسریع انگیزش گل‌دهی گیاهان دانسته‌اند (۵۶) که نتایج این پژوهش، موافق این مسئله بود. اگرچه نتایج این پژوهش بیانگر تأثیر معنی‌دار طیف‌های نور بر تحریک گل‌دهی گیاهان اطلسی بود، با وجود این، نتایج برخی دیگر از تحقیقات نشانه عدم تفاوت کاربرد ترکیب‌های مختلف لامپ‌های ال ای دی و نور لامپ پرفشار سدیم بر گل‌دهی این گیاهان بوده است (۴۶ و ۴۷).

تاکنون و در رابطه با تحریک گل‌دهی گیاهان روزبلند، کاربرد نور مکمل به‌صورت شب‌شکنی در مقایسه با کاربرد آن بعد از غروب آفتاب مؤثرتر اعلام شده است و بخش‌های تجاری در پرورش گیاهان نیز تمایل بیشتری در کاربرد نور مکمل به‌صورت شب‌شکنی نشان داده‌اند (۴ و ۴۴). نتایج این پژوهش این مسئله را تأیید کرد که کوتاه‌ترین زمان گل‌دهی با کاربرد نور مکمل به شیوه شب‌شکنی به‌دست آمد (شکل ۲). اما با توجه به سایر نتایج این پژوهش می‌توان اظهار داشت که نحوه اثر مقطع زمانی کاربرد نور مکمل بر سرعت گل‌دهی گیاهان مورد آزمایش، تحت تأثیر نوع ترکیب‌های طیفی نور

می‌توان این مسئله را عنوان کرد که کاربرد برخی از ترکیب‌های طیفی نور به‌عنوان نور مکمل در زمانی مناسب طی شبانه‌روز، توانست چگونگی رشد رویشی و زایشی گیاهان تحت مطالعه را تحت تأثیر قرار دهد و مدت زمان مورد نیاز برای ظهور غنچه‌های گل را کاهش دهد.

برهمکنش مقطع زمانی کاربرد نور مکمل و ترکیب‌های طیفی نور بر صفت سرعت گل‌دهی و شکل‌گیری غنچه‌های گل معنی‌دار بود و با کاربرد نسبت نوری ۳۰ درصد آبی : ۷۰ درصد قرمز به‌صورت شب‌شکنی، غنچه‌های گل سریع‌تر از سایر ترکیب‌های تیماری ظاهر شدند. با توجه به نتایج به‌دست آمده،

منابع مورد استفاده

1. Adams, S.R., V.M. Valdes and F.A. Langton. 2008. Why does low intensity, long-day lighting promote growth in petunia, impatiens, and tomato? *J. Hort. Sci. Biotech.* 83(5): 609-615.
2. Agarwal, S. and V. Pandi. 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. *Biol. Plant.* 48: 555-560.
3. Al-Chalabi, M. 2015. Vertical farming: Skyscraper sustainability. *Sustain. Cities Soc.* 18: 74-77.
4. Anderson, N.O. 2007. *Flower Breeding and Genetics*. Springer, The Netherlands.
5. Arteca, R. 1995. *Plant Growth Substances: Principles and Applications*. Springer, USA.
6. Baba-Kasai, A., N. Hara and M. Takano. 2014. Tissue-specific and light-dependent regulation of phytochrome gene expression in rice. *Plant Cell Environ.* 37: 2654-2666.
7. Bagnall, D.J., R.W. King and R.P. Hangarter. 1996. Blue-light promotion of flowering is absent in *hy4* mutants of *Arabidopsis*. *Planta* 200: 278-280.
8. Banerjee, C. 2014. Up, up and away! The economics of vertical farming. *J. Agric. Stud.* 2(1): 40-60.
9. Bernie, G. and C. Perilleux. 2005. A physiological overview of the genetics of flowering time control. *Plant Biotech. J.* 3: 3-16.
10. Brown, C.S., A.C. Schuerger and J.C. Sager. 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting-diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120: 808-813.
11. Cerdan, P.D. and J. Chory. 2003. Regulation of flowering time by light quality. *Nat.* 423: 881-885.
12. Chen, A., C. Li, W. Hu, M.Y. Hau, H. Lin, N.C. Rockwell, S.S. Martin, J.A. Jernstedt, J.C. Lagarias and J. Dubcovsky. 2014. Phytochrome C plays a major role in the acceleration of wheat flowering under long-day photoperiod. *Proc. of the Nat. Acad. of Sci. of the United States of America* 111(28): 10037-10044.
13. Cope, K.R. and B. Bugbee. 2013. Spectral effects of three types of white light-emitting diodes on plant growth and development. Absolute versus relative amount of blue light. *HortSci.* 48(4): 504-509.
14. Craig, D.S. and E.S. Runkle. 2012. Using LEDs to qualify the effect of the red to far-red ratio of night-interruption lighting on flowering of photoperiodic crops. *Acta Hort.* 956: 179-186.
15. Currey, J. and R.G. Lopez. 2013. Cuttings of impatient, pelargonium and petunia propagated under light-emitting diodes and high-pressure sodium lamp have comparable growth, morphology, gas exchange and post-transplant performance. *HortSci.* 48(4): 428-434.
16. Dole, J. and H.F. Wilkins. 2005. *Floriculture: Principles and Species*. 2nd edition, Pearson Higher Ed., USA.
17. Fan, X., Z. Xu, X. Liu, C. Tang and L. Wang. 2013. Effect of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Sci. Hort.* 153: 50-55.
18. Fausey, B.A., R.D. Heins and A.C. Cameron. 2005. Daily light integral affects flowering and quality of greenhouse-grown achillea, gaura and lavandula. *HortSci.* 40: 114-118.
19. Folta, K.M. and E.P. Spalding. 2001. Unexpected roles for cryptochrome 2 and phototropin revealed by high-resolution analysis of blue light-mediated hypocotyl growth inhibition. *The Plant J.* 26: 471-478.
20. Folta, K.M., L.L. Koss, R. McMorrow, H. Kim, J.D. Kenitz, R. Wheeler and J. Sager. 2005. Design and fabrication of adjustable red-green-blue LED light arrays for plant research. *BMC Plant Biol.* 5: 17-28.
21. Fukuda, N. and J.E. Olsen. 2011. Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of FBP28 in petunia. *Acta Hort.* 907: 361-366.
22. Fukuda, N., C. Ajima, T. Yukawa and J. Olsen. 2016. Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin. *Environ. Exp. Bot.* 121: 102-111.
23. Hamamoto, H., H. Shimaji and T. Higashinde. 2003. Budding and bolting responses of horticultural plants to night-break treatments with LEDs of various colors. *J. Agric. Meteor.* 59: 103-110.
24. Heo, J., C. Lee, D. Chakrabarty and K. Paek. 2002. Growth responses of marigold and salvia bedding plants as

- affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regul.* 38: 225-230.
25. Islam, M.A., G. Kuwar, J. Clarke, D.R. Blystad, H.R. Gislerod and J.E. Olsen. 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. *Sci. Hort.* 147: 136-143.
 26. Izhaki, A., S.M. Swain, T.S. Tseng, A. Borochoy, N.E. Olszewski and D. Weiss. 2001. The role of SPY and TPR domain in the regulation of gibberellin action throughout the life cycle of petunia hybrida plants. *The Plant J.* 28(2): 181-190.
 27. Jeong, S.W., S.H. Hogewoning and W.V. Ieperen. 2014. Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut chrysanthemum. *Sci. Hort.* 165: 69-74.
 28. Kenneth, E. 1992. Light-quality effects on arabidopsis development. Red, blue and far-red regulation of flowering and morphology. *Plant Physiol.* 86: 439-444.
 29. Kim, H.H., R.D. Heins and W.H. Carlson. 2002. Development and flowering of petunia grown in a far-red deficient light environment. *Acta Hort.* 580: 127-135.
 30. Kim, Y.J., H.J. Lee and K.S. Kim 2011. Night interruption promotes vegetative growth and flowering of cymbidium. *Sci. Hort.* 130: 887-893.
 31. Klein, R.M. 1992. Effect of green light on biological systems. *Biol. Rev.* 67: 199-284.
 32. Kohler, K.H., M. Dorfler and H. Goring. 1980. The influence of light on the cytokinin content of amaranthus seedlings. *Biol. Plant.* 22(2): 128-134.
 33. Langton, F.A., S.R. Adams and K.E. Cockshull. 2003. Effects of photoperiod on leaf greenness of four bedding plant species. *J. Hort. Sci. Biotech.* 78(3): 400-404.
 34. Liu, X., Z. Xu, S. Guo, T. Chang, Z. Xu and T. Tezuka. 2012. Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). *Afr. J. Biotech.* 11(22): 6169-6177.
 35. Lone, A.B., L.K. Unemoto, E.A.P. Ferrari, L.S.A. Takahashi and R.T. de Faria. 2014. The effects of light wavelength and intensity on the germination of pitaya seed genotypes. *Aust. J. Crop Sci.* 8(11): 1475-1480.
 36. Lopez, R.G. and E.S. Runkle. 2008. Photosynthetic daily light integral during propagation influences rooting and growth of cuttings and subsequent development of New Guinea impatiens and petunia. *HortSci.* 43: 2052-2059.
 37. Mattson, N.S. and J.E. Erwin. 2005. The impact of photoperiod and irradiance on flowering of several herbaceous ornamentals. *Sci. Hort.* 104: 275-292.
 38. Meng, O. and E.S. Runkle. 2015. Low intensity blue light in night interruptoin lighting does not influence flowering of herbaceous ornamentals. *Sci. Hort.* 186: 230-238.
 39. Muleo, R. and S. Morini. 2008. Physiological dissection of blue and red light regulation of apical dominance and branching in M9 apple rootstock growing in vitro. *J. Plant Physiol.* 165(17): 1838-1846.
 40. Mozley, D. and B. Thomas. 1995. Developmental and photobiological factors affecting photoperiodic induction in *Arabidopsis thaliana* Heynh. *Landsberg erecta*. *J. Exp. Bot.* 46: 173-179.
 41. Nhut, D.T., T. Takamura, H. Watanabe, K. Okamoto and M. Tanaka. 2003. Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 73: 43-52.
 42. Oh, W., E.S. Runkle and R.M. Warner. 2010. Timing and duration of supplemental lighting during the seedling stage influence quality and flowering in petunia and pansy. *HortSci.* 45(9): 1332-1337.
 43. Ohashi-Kaneko, K., M. Takase, N. Kon, K. Fujiwara and K. Kurata. 2007. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environ. Control Biol.* 45: 189-198.
 44. Park, Y.J., Y.J. Kim and K.S. Kim. 2013. Vegetative growth and flowering of *Dianthus*, *Zinnia*, and *Pelargonium* as affected by night interruption at different timings. *Hort. Environ. Biotech.* 54: 236-242.
 45. Pinho, P., M. Oskari, T. Eino and H. Lisa. 2004. Photobiological aspects of crop plants grown under light emitting diodes. *In: Proceeding of CIE Expert Symposium on LED Light Sources, Tokyo, Japan, 7-8 June*, pp. 71-74.
 46. Randall, W.C. and R.G. Lopez. 2014. Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes during bedding plant seedling production. *HortSci.* 49(5): 589-595.
 47. Randall, W.C. and R.G. Lopez. 2015. Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes during bedding plant seedling production. *HortSci.* 50(5): 705-713.
 48. Riikonen, J., N. Kettunen, M. Gritsevich, T. Hakala, L. Sarkka and R. Tahvonon. 2016. Growth and development of Norway spruce and Scots pine seedlings under different light spectra. *Environ. Exp. Bot.* 121: 112-120.
 49. Runkle, E.S., R.D. Heins, A.C. Cameron and W.H. Carlson. 1998. Flowering of herbaceous perennials under various night interruption and cyclic lighting treatments. *HortSci.* 33: 672-677.
 50. Runkle, E.S. and R. D. Heins. 2003. Photocontrol of flowering and extension growth in the long day plant pansy. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 128: 479-485.
 51. Runkle, E.S. and R.D. Heins. 2006. Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of

- herbaceous plants. *Acta Hort.* 711: 51-59.
52. Samuoliene, G., A. Urbonaviciute, A. Brazaityte, G. Sabajeviene, J. Sakalauskaite and P. Duchovskis. 2011. The impact of LED illumination on antioxidant properties of sprouted seeds. *Central Eur. J. Biol.* 6(1): 68-74.
53. Shimizu, M., Z. Ma and M. Douzono. 2006. Blue light inhibits stem elongation of chrysanthemum. *Acta Hort.* 711: 363-368.
54. Shin, J.H., H. Jung and K.S. Kim. 2010. Night interruption using light emitting diodes (LEDs) promotes flowering of cyclamen persicum in winter cultivation. *Hort. Environ. Biotech.* 51(5): 391-395.
55. Singh Mer, M. and V. Lal Attri. 2015. Effect of photoperiod on flowering in ornamental annuals. *J. Med. Plants Stud.* 3(4): 121-126.
56. Takemiya, A., S. Inoue, M. Doi and T. Kinoshita. 2005. Phototropins promote plant growth in response to blue light in low light environments. *The Plant Cell* 17: 1120-1127.
57. Tamulaitis, G., P. Duchovskis, Z. Bliznikas, K. Breive, R. Ulinskaite, A. Brazaityte, A. Novičkovas and A. Žukauskas. 2005. High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation. *J. Appl. Phys.* 38: 3182-3187.
58. Terfa, M.T., K.A. Solhaug, H.R. Gislerod, J.E. Olsen and S. Torre. 2013. A high proportion of blue light increases the photosynthesis capacity and leaf formation rate of *Rose × hybrida* but dose not affect time to flower opening. *Physiol. Plant.* 148: 146-159.
59. Thomas, B. and D. Vince-Prue. 1997. *Photoperiodism in Plants*. 2nd edition, Academic Press, London.
60. Wheeler, R., C.K. Mackowiak and J.C. Sager. 1991. Soybean stem growth under high pressure sodium with supplemental blue lighting. *Agron. J.* 83: 903-906.
61. Whitman, C.M., R.D. Heins, A.C. Cameron and W.H. Carlson. 1998. Lamp type and irradiance level for daylength extensions influence flowering of *Campanula carpatica* 'Blue clips', *Coreopsis grandiflora* 'Early Sunrise', and *Coreopsis verticillata* 'Moonbeam'. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 123: 802-807.
62. Wojciechowska, R., A. Kolton, O. Grochowska and E. Knop. 2016. Nitrate content in *Valerianella locusta* L. plants is affected by supplemental LED lighting. *Sci. Hort.* 211: 179-186.
63. Wollaeger, H.M. and E.S. Runkle. 2014. Growth of impatiens, petunia, salvia and tomato seedling under blue, green and red light emitting diodes. *HortSci.* 49(6): 734-740.
64. Yadave, S. and C. Chaturvedi. 2015. Light colour and intensity alters reproductive/seasonal responses in Japanese quail. *Physiol. Behavior* 147: 163-168.
65. Yano, M., Y. Katayose, M. Ashikari, U. Yamanouchi, L. Monna, T. Fuse, T. Baba, K. Yamamoto, Y. Umehara, Y. Nagamura and T. Sasaki. 2000. Hd1, a major photoperiod sensitivity quantitative trait locus in rice, is closely related to the arabidopsis flowering time gene CONSTANS. *Plant Cell* 12: 2473-2483.
66. Yorio, N.C., G.D. Goins, H.R. Kagie, R.M. Wheeler and J.C. Sager. 2001. Improving spinach, radish and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortSci.* 36: 380-383.

Effect of Light Combination and Timing of Supplemental Lighting on Vegetative Traits and Flowering Time of Petunia (*Petunia × hybrida*)

A. Rashidi¹, A. Tehranifar^{1*} and S. H. Nemati¹

(Received: 7 October 2017 ; Accepted : 15 November 2018)

Abstract

The aim of this study was to examine how timing of supplemental lighting and different light combinations affect the vegetative and reproductive responses of petunia (*Petunia × hybrida* Super cascade Blue). This experiment was designed as a factorial based on a randomized complete blocks design with three replications. After being in the greenhouse for 12 hours, the plants received supplemental lighting at two different times (from 6 p.m. to 10 p.m. and 10 p.m. to 2 a.m.) by the usage of various combinations of red light (R, 625 nm) and blue light (B, 467 nm) including 100% R, 15% B : 85% R, 30% B : 70% R and high pressure sodium lamp (HPS, serving as control). Results showed that there was not significant interaction between light combination and the timing of supplemental lighting on vegetative characteristics. Plants under 30% B : 70% R light ratio had the highest foliage fresh weight (15.73 g) and dry weight (0.86 g), root fresh weight (1.13 g) and dry weight (0.3 g), average height of lateral shoots (6.63 cm), Chlorophyll a, b, total and carotenoids contents (1.03, 0.35, 1.38 and 0.44 mg/g FW, respectively) and the plants under 15% B : 85% R light ratio had the highest height of central stem (14.4 cm), leaf area (313.07 cm²), number of leaves (80.5) and number of lateral shoots (9.83). Also, results revealed that there was significant interaction between timing of supplemental lighting and light combination on the flowering time, and the shortest time to flowering (56 days after sowing) was obtained under 30% B : 70% R light ratio from 10 p.m. to 2 a.m.

Keywords: Night-interruption, Supplemental lighting, Photoperiod, Photomorphogenesis.

1. Dept. of Hort. Sci. and Landscape Eng., Faculty of Agric., Ferdowsi Univ. of Mashhad, Mashhad, Iran.

* Corresponding Author, Email: tehranifar2009@yahoo.com