نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص. ۵۴۸-۵۳۷
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 33, No.3, Fall 2019, P. 537-548
ISSN: 2008 - 4730

اثر طیف‌های نور ال‌ای‌دی در مقایسه با نور طبیعی گلخانه بر کیفیت نشاء حسن یوسف (*Solenostemon escutellariodes* 'Wizard Scarlet') و اطلسی (*Petunia* × *hybrida* 'Scarlet Eye')

پریا دهخدایی[۱]- سعید ریزی[۲]- مسعود قاسمی قهساره[۳]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۹

چکیده

یکی از روش‌های بهبود ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاهان، تغییر کیفیت نور است. به همین منظور آزمایشی جهت بررسی اثر کیفیت نور ال‌ای‌دی بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک دانهال‌های حسن یوسف و اطلسی انجام شد. تیمارها شامل نور طبیعی گلخانه (شاهد) و نور ال‌ای‌دی (نور ترکیبی ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد و دیگری نور ۱۰۰ درصد سفید) بود. در پایان، تعدادی از صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که سطح برگ، ارتفاع، طول میانگره، قطر ساقه، وزن تر شاخساره و فلورسانس کلروفیل برگ دانهال حسن یوسف در نور ۱۰۰ درصد سفید بیشتر از نور ترکیبی ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ ال‌ای‌دی و نور طبیعی گلخانه بود. همچنین، بیشترین دمای سطح برگ (۲۷/۴ درجه سلسیوس)، میزان کلروفیل کل (۰/۸ میلی‌گرم بر گرم) و کاروتنوئید (۲/۳۰ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار شاهد و بیشترین تعداد برگ (۲۱)، وزن خشک شاخساره (۰/۱۷ گرم)، وزن تر (۱/۶۵ گرم) و خشک ریشه (۰/۱۱ گرم) در ترکیب نوری ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ مشاهده شد. نتایج در نشاء اطلسی نشان داد که نور سفید باعث افزایش سطح برگ، وزن تر شاخساره و وزن خشک ریشه شد. دمای سطح برگ و میزان کلروفیل کل در شاهد نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود و بیشترین میزان کاروتنوئید (۳/۱۲ میلی‌گرم بر گرم) اطلسی در نور ترکیبی ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ حاصل شد. بر اساس نتایج بدست آمده، با جایگزینی شرایط گلخانه با نور ال‌ای‌دی می‌توان، نشاء حسن یوسف و اطلسی را با کیفیت بالاتری تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: فلورسانس کلروفیل برگ، کیفیت نور، نشاء، مورفولوژی

مقدمه

گیاهان در تمام طول عمر خود از جوانه‌زنی تا تولید گل و بذر به نور نیاز دارند (۳۶ و ۴۹). طی رشد گیاهان، وجود منبع نور خورشید یا نور مصنوعی ضروری است (۲۰). نور تنها عامل برای انجام فتوسنتز در فرایند رشد گیاهان نیست اما فاکتور مهمی برای کنترل رشد است (۱۹، ۲۳ و ۲۴). سه پارامتر موثر بر رشد گیاه شامل مدت، کمیت (شدت) و کیفیت (طیف) نور می‌باشند (۴۹). شاخص‌هایی مثل ارتفاع گیاه، طول میانگره، تعداد انشعابات و اندازه برگ تحت تاثیر کمیت و کیفیت نور قرار می‌گیرند (۱۲). بطور کلی این سه پارامتر اثرات متفاوتی روی عملکرد گیاه می‌گذارند (۳۰). گیاهان در شدت‌های روشنایی گوناگون رفتارهای متفاوتی نشان می‌دهند (۲۶). در مناطقی که تابش نور خورشید برای حداقل رشد کافی نیست (۴۱) و در نواحی که طی زمستان نور کمی وجود دارد، استفاده از نور تکمیلی به‌صورت سیستم‌های خودکار در گلخانه حایز اهمیت است (۲۲) و می‌تواند رشد گیاهان را افزایش دهد (۱۰). کیفیت نور به تنهایی اثرات زیادی بر رشد، نمو و فیزیولوژی گیاه دارد (۳۸ و ۴۲).

طبق پژوهش انجام شده در دانشگاه پوردو برای تولید دانهال گیاهان بستری با کیفیت مطلوب، مقدار نور تجمعی روزانه (Daily Light Integral) تقریبا ۱۲-۱۰ مول بر مترمربع بر روز لازم است (۳۵). یکی از منابع تولید نور، ال‌ای‌دی‌ها هستند که الکتریسیته را به نور تبدیل می‌کنند (۳۳). ال‌ای‌دی‌ها دارای فواید بسیاری از جمله اندازه کوچک، طول موج‌های ویژه، تولید گرمای کم، شدت نور قابل تنظیم، راندمان بالای تبدیل الکتریسته به نور، نیاز کمتر به هورمون-های گیاهی و آفت‌کش‌ها، تولید بیشتر و گیاهان با کیفیت بهتر نسبت به سایر لامپ‌ها می‌باشند (۴۶ و ۴۸). از ال‌ای‌دی‌ها برای بررسی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیاران گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: (Email: mghasmi1352@gmail.com
DOI: 10.22067/jhorts4.v33i3.79713

بیوسنتز کلروفیل در گندم، افزایش طول ساقه و برگ کاهو استفاده شده است (۴۴). کمیت و کیفیت نور ال‌ای‌دی همچنین بر کیفیت گل بنفشه موثر بوده است (۳۷). در بررسی اثر چهار منبع نوری متفاوت ال‌ای‌دی به رنگ‌های سرخ (۶۵۰ nm)، زرد (۵۹۰ nm)، سبز (۵۵۰ nm)، آبی (۴۸۰ nm) و سفید (شاهد) با شدت ۳۰۰ لوکس به مدت ۱۵-۱۲ روز با ۲۴ ساعت روشنایی بر رشد دانهال نیلوفر آبی، افزایش طول گیاه در نور آبی نسبت به سایر تیمارها و کلروفیل بیشتر در نور سفید در مقایسه با نور سرخ و سبز مشاهده شد (۴۴). در آزمایش دیگری نور ترکیبی آبی و سرخ ال‌ای‌دی در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد نور قرمز، آنتوسیانین برگ کاهو را افزایش داد (۲۹). تولید سریع نشاء با کیفیت بالا از راه کنترل شرایط محیطی برای تولید کننده اهمیت دارد و از عوامل مهم موثر بر درآمد است. یکی از راه‌های موثر در تسریع رشد و بهبود کیفیت نشاء تامین کیفیت بهینه نور در محیط رشد گیاه است.

حسن یوسف (*Solenostemon scutellarioides* L.) از تیره Lamiaceae گیاهی دائمی با برگ‌های رنگی است و نیاز به نور کامل و غیر مستقیم برای رشد و نمو دارد (۲). گیاه اطلسی (*Petunia* × *hybrida* L.) از تیره Solanaceae (۱۱) در مناطق گرمسیری چند ساله و در مناطق سردسیری یکساله است. نیاز به نور کامل دارد (۴). حسن یوسف و اطلسی به ترتیب از گیاهان درون‌خانه‌ای و بستری پرمصرف در صنعت گیاهان زینتی هستند که مرحله تولید نشاء آنها از بذر نقش مهمی در کمیت وکیفیت نهایی محصول دارد. حسن یوسف حداقل مقدار نور تجمعی روزانه ۹ مول بر مترمربع بر روز و حداکثر ۱۸ مول بر مترمربع بر روز نیاز دارد (۴۴). مقدار نور تجمعی روزانه مورد نیاز اطلسی در مرحله تولید نشاء و پس از تنژیدن بذر بین ۱۰ تا ۲۲ مول بر مترمربع بر روز است (۱۶).

تا به امروز اطلاعات به‌نسبت کمی درباره اثر کمیت و کیفیت نور ال‌ای‌دی در گلخانه‌ها بعنوان نور تکمیلی و یا در اتاقک‌های رشد روی گیاهان منتشر شده است. با این حال کسب اطلاعات جهت کاربرد ال‌ای‌دی‌ها به‌عنوان منبع نور برای گیاهان زینتی اهمیت زیادی دارد. بنابراین این آزمایش به منظور مقایسه اثر کاربرد نور ال‌ای‌دی به رنگ های سفید، آبی و سرخ با نور طبیعی گلخانه (شرایط تولید رایج) روی تولید نشاء حسن یوسف رقم Wizard Scarlet و اطلسی رقم Scarlet Eye انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار سال ۱۳۹۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تیمار کیفیت متفاوت نور شامل نور طبیعی گلخانه(به عنوان شاهد)، نور ال‌ای‌دی شامل ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ و دیگری ۱۰۰ درصد نور سفید و ۱۰ تکرار روی دو گیاه حسن یوسف و اطلسی در اتاقک رشد و گلخانه انجام شد. بذرهای نسل اول اطلسی رقم Scarlet Eye و حسن یوسف رقم Scarlet' Wizard در سینی کاشت ۱۰۵ خانه در بستری حاوی ۳۰ درصد پرلایت و ۷۰ درصد پیت‌ماس کشت شدند. پس از کاشت بذرها، سینی‌های کشت در اتاقک کشت در دمای ۱±۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۵۰ درصد (Datalogger 8808 temp.+ RH) تحت دو تیمار مختلف نور ال‌ای‌دی شامل نور ترکیبی ۵۰ درصد آبی (۴۵۵-۴۵۰ نانومتر) + ۵۰ درصد سرخ (۶۶۵-۶۵۵ نانومتر) و تیمار ۱۰۰ درصد سفید (۳۰۰۰ کلوین) قرار داده شدند. بر اساس آزمایش‌های مقدماتی شدت نور برای هر دو نشاء، در هر دو تیمار ال‌ای‌دی ۵±۶۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه در نظر گرفته شد و به کمک دستگاه پارمتر (مدلApogee, MQ500, USA) تنظیم شد. فتوپریود به صورت ۱۸ ساعت روشنایی و ۶ ساعت تاریکی بود. برای مقایسه، همزمان گیاهان در گلخانه (به‌عنوان شاهد و نور طبیعی) با مقدار نور تجمعی روزانه ۱۴±۵ مول بر مترمربع در روز، میانگین دما در طی شبانه روز ۲±۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۵۰ درصد (Data logger 8808 temp.+ RH) نیز کشت شدند. پس از چهار برگی شدن دانهال‌ها، با کود یارامیلا (محصول کشور هلند) با فرمول Mgo+ TE ۳+۲۰-۶-۱۹ به غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون کودآبیاری شدند. دو هفته پس از اولین کوددهی دوباره نشاءها با همین کود با غلظت مشابه تغذیه شدند.

در پایان، ۸ هفته پس از کاشت بذرها صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نشاءها شامل سطح برگ، تعداد برگ، دمای سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، فلورسانس کلروفیل برگ (F_v/F_m)، میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ اندازه‌گیری شد. افزون بر این شاخص‌ها در نشاء حسن یوسف ارتفاع، طول میانگره و قطر ساقه نیز اندازه‌گیری شد. سطح برگ با نرم افزارDigimizers 4 image analysis، دمای سطح برگ با دماسنج مادون قرمز و فلورسانس کلروفیل برگ (F_v/F_m) با دستگاه پم مدل Pulse-Amplitude-Modulated) Hansatech Instruments fluorometers) اندازه‌گیری شد. میزان رنگیزه‌های کلروفیل کل و کاروتنوئید به روش Lichtenthaler and Wellburn (۲۵) تعیین و با دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Jenway 63200 در طول موج‌های شماره ۲ محاسبه گردید.

(۱)

Chlorophyll a (µg/ml)= 12.21 (A663) – 2.81 (A646)
Chlorophyll b (µg/ml) = 20.13 (A646) – 5.03 (A663)
Total clorophyll= Chl a + Chl b
Carotenoides (µg/ml)= 1000 (A470) - 3.27(chl. a) - 104(chl. b)/227

A663: میزان جذب نوری در طول موج ۶۶۳ نانومتر. A646:

میزان جذب نوری در طول موج ۶۴۶ نانومتر. A470: میزان جذب نوری در طول موج ۴۷۰ نانومتر. برای تعیین مقادیر بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت نتایج در V/1000 W ضرب شد که در آن W: وزن تر نمونه برداشت شده به گرم وV: حجم نهایی استون ۸۰ درصد به میلی‌لیتر است.

داده‌ها با برنامه SAS 9.4 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج

اثر کیفیت نور ال‌ای‌دی بر حسن یوسف

بر اساس جداول تجزیه واریانس ۱ و ۲ کیفیت‌های متفاوت نور باعث تفاوت معنی‌دار در تمام شاخص‌های اندازه‌گیری شده در حسن یوسف گردید ($P<$۰/۰۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کیفیت نور ال‌ای‌دی بر شاخص‌های مورفولوژیکی نشاء حسن یوسف

Table 1- Analysis of variance for the effect of natural light and LED light quality on morphological indices of Solenostemon transplant

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Df	Mean squares								
		سطح برگ Leaf area	تعداد برگ Leaf number	طول میانگره Internode length	ارتفاع گیاه Plant height	قطر ساقه Stem diameter	وزن تر ساقه Shoot fresh weight	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
نور Light	2	6.759**	185.200**	517/380**	30.954**	2.961**	4.985**	0.0516**	2.961**	0.0116**
خطا Error	27	0.236	4.829	5.481	0.215	0.128	0.035	0.0006	0.089	0.0006
ضریب تغییرات CV (%)	-	17.09	13.08	20.63	14.45	16.27	16.17	21.64	23.96	27.02

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

**: Significant at 1% level.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر کیفیت نور طبیعی و ال‌ای‌دی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی نشاء حسن یوسف

Table 2- Analysis of variance for the effect of natural light and LED light quality on physiological indices of Solenostemon transplant

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Df	Mean squares			
		دمای سطح برگ Leaf surface temperature	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Carotenoids	فلورسانس کلروفیل برگ F_v/F_m
Light (نور)	2	54.449**	0.276**	2.728**	0.006*
Error (خطا)	27	1.120	0.008	0.167	0.001
CV % (ضریب تغییرات)	-	4.28	13.82	22.73	4.80

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

**: Significant at 1% level, *: Significant at 5% level.

صفات مورفولوژیکی

بر اساس جدول مقایسه میانگین، بیشترین سطح برگ (۳/۶۲۷ سانتی‌متر مربع)، ارتفاع (۵/۰۴۰ سانتی‌متر)، طول میانگره (۶۱۸/ ۱۸ میلی‌متر) و وزن تر شاخساره (۱/۷۳۵ گرم) حسن یوسف در نور سفید و کمترین مقدار سطح برگ (۱/۹۸۷ سانتی‌متر مربع)، ارتفاع (۱/۵۳۰ سانتی‌متر)، طول میانگره (۴/۲۳۵ میلی‌متر) و وزن تر شاخساره (۰/۳۷۳ گرم) در تیمار شاهد (گلخانه) مشاهده شد. بیشترین قطر ساقه در نور سفید (۲/۵۲۴ میلی‌متر) و طیف ترکیبی ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ (۲/۵۱۵ میلی‌متر) و کمترین قطر (۱/۵۷۷ میلی‌متر) در شاهد حاصل شد. بیشترین تعداد برگ (۲۱) و وزن خشک شاخساره

(۰/۱۶۵ گرم) حسن یوسف در نور ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ و کمترین تعداد برگ (۱۲/۴۰) و وزن خشک شاخساره (۰/۰۳۷ گرم) در شرایط گلخانه (شاهد) مشاهده شد. از نظر وزن خشک شاخساره بین دو تیمار ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ (۰/۱۵۸ گرم) و نور سفید (۰/۱۶۵ گرم) تفاوت معنی‌دار نبود. بیشترین وزن تر (۱/۶۵۱ گرم) و خشک ریشه (۰/۱۱۴ گرم) حسن یوسف در نور ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ و کمترین وزن تر (۰/۶۲۹ گرم) و خشک ریشه (۰/۰۵۲ گرم) در شاهد مشاهده شد. همانند وزن خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه در نور سفید با تیمار ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ تفاوت معنی‌دار نداشتند (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر کیفیت نور طبیعی و ال‌ای‌دی بر شاخص‌های مورفولوژیکی نشاء حسن یوسف

Table 3- Mean comparison of the effect of natural light and LED light quality on morphological indices of Solenostemon transplants

تیمار نوری Light treatment	سطح برگ Leaf area (cm^2)	تعداد برگ Leaf number	طول میانگره Internode length (mm)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight (g)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
Blue+Red (آبی+قرمز)	2.92[b]	21.00[a]	11.18[b]	3.07[b]	2.52[a]	1.38[b]	0.17[a]	1.65[a]	0.11[a]
White (سفید)	3.63[a]	17.00[b]	18.62[a]	5.04[a]	2.52[a]	1.74[a]	0.16[a]	1.47[a]	0.12[a]
Control شاهد	1.99[c]	12.40[c]	4.24[c]	1.53[c]	1.58[b]	0.37[c]	0.04[b]	0.63[b]	0.05[b]

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) با استفاده از آزمون LSD نمی‌باشند.

The values in each column followed by the same letters are not significantly differentns ($P<0.05$) based on LSD test.

صفات فیزیولوژیکی

بیشترین دمای سطح برگ در تیمار شاهد (۲۷/۴۱ درجه سانتی گراد) و کمترین دما در ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ (۲۳/۳۳ درجه سانتی‌گراد) وجود داشت. بیشترین مقدار کلروفیل کل (۰/۰۸۰ میلی-گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار نور گلخانه (شاهد) حاصل شد که با نور ال‌ای‌دی سفید (۰/۷۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین مقدار کلروفیل کل (۰/۴۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در نور ترکیبی ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ مشاهده شد. بیشترین مقدار کاروتنوئید (۲/۲۹۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار نور گلخانه بود و کمترین آن در نور ترکیبی ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ (۱/۲۵۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) حاصل شد. بیشترین فلورسانس کلروفیل برگ (۰/۸۲۷) در تیمار نور سفید مشاهده شد که با نور گلخانه تفاوت آن معنی‌دار نبود و کمترین مقدار (۰/۷۸۱) مربوط به تیمار ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ بود. فلورسانس کلروفیل برگ بین دو تیمار ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ و نور طبیعی تفاوتی نداشت (جدول ۴).

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین اثر کیفیت نور طبیعی و ال‌ای‌دی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی نشاء حسن یوسف

Table 4- Mean comparison of the effect of natural light and LED light quality on physiological indices of Solenostemon transplants

تیمار نوری Light treatment	دمای سطح برگ Leaf Surface temperature (°C)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g^{-1} fw)	کارتنوئید Carotenoids (mg g^{-1} fw)	فلورسانس کلروفیل برگ F_v/F_m
Blue+Red (آبی+قرمز)	23.33[c]	0.49[b]	1.26[c]	0.78[b]
White (سفید)	23.41[b]	0.75[a]	1.85[b]	0.83[a]
Control (شاهد)	27.41[a]	0.80[a]	2.30[a]	0.79[b]

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) با استفاده از آزمون LSD نمی‌باشند.

The values in each column followed by the same letters are not significantly differentns ($P<0.05$) based on LSD test..

اثر کیفیت نور طبیعی و ال‌ای‌دی بر اطلسی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در اطلسی بیانگر اثر معنی‌دار تیمارهای نوری بر شاخص‌های وزن تر شاخساره و وزن خشک ریشه و سطح برگ بود اما روی شاخص‌های تعداد برگ، وزن خشک ساقه و وزن تر ریشه نشاء اطلسی تاثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۵). کیفیت‌های مختلف نور روی تمام شاخص‌های فیزیولوژی به جز فلورسانس کلروفیل برگ اثر معنی‌دار داشت (P<۰/۰۱) (جدول ۶).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر کیفیت نور طبیعی و ال‌ای‌دی بر شاخص‌های مورفولوژیکی نشاء اطلسی

Table 5- Analysis of variance for the effect of natural light and LED light quality on morphological indices of Petunia transplant

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Df	Mean squares					
		میانگین سطح برگ Leaf area mean	تعداد برگ Leaf number	وزن تر ساقه Shoot fresh weight	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
Light (نور)	2	0.692*	10.133ns	0.163**	0.0004ns	0.001ns	0.00037**
Error (خطا)	27	0.144	13.229	0.010	0.0001	0.006	0.00003
CV % (ضریب تغییرات)	-	24.69	26.87	28.45	27.25	19.09	26.15

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد. ns: فاقد اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

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

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس اثر کیفیت نور طبیعی و ال‌ای‌دی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی نشاء اطلسی

Table 6- Analysis of variance for the effect of natural light and LED light quality on physiological indices of Petunia transplant

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Df	Mean squares			
		دمای سطح برگ Leaf surface temperature	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Carotenoids	فلورسانس کلروفیل برگ F_v/F_m
Light (نور)	2	32.610**	0.472**	10.989**	0.012ns
Error (خطا)	27	1.00	0.002	0.207	0.011
CV % (ضریب تغییرات)	-	4.18	4.37	20.89	15.46

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ns: فاقد اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

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

صفات مورفولوژیکی

بیشترین سطح برگ (۱/۷۴۲ سانتی‌متر مربع) در نور سفید ال‌ای‌دی حاصل شد که با نور گلخانه (۱/۶۳۸ سانتی‌متر مربع) تفاوت معنی‌دار نداشت. بیشترین میانگین وزن تر شاخساره (۰/۵۰۷ گرم) و وزن خشک ریشه (۰/۰۲۹ گرم) اطلسی مربوط به تیمار نور سفید و کمترین مقدار وزن تر شاخساره (۰/۲۸۴ گرم) و وزن خشک ریشه (۰/۰۱۷ گرم) مربوط به تیمار نور ال‌ای‌دی ترکیبی ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ بود که مقدار هر دو فاکتور با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۷).

صفات فیزیولوژیکی

بیشترین مقدار کلروفیل کل (۱/۴۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) اطلسی در شاهد و کمترین (۱/۰۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در نور سفید مشاهده شد که با میانگین کلروفیل طیف ترکیبی ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ نور ال‌ای‌دی (۱/۰۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) تفاوت معنی‌دار نداشت. بیشترین مقدار کاروتنوئید (۳/۱۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در نور ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ و کمترین آن در شاهد (۱/۰۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) حاصل شد. بیشترین دمای سطح برگ (۲۶/۰۰ درجه سانتی‌گراد) مربوط به شاهد و کمترین مقدار (۲۲/۸۳ درجه سانتی‌گراد) مربوط به نور سفید ال‌ای‌دی بود (جدول ۸).

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر کیفیت نور طبیعی و ال‌ای‌دی بر شاخص‌های مورفولوژیکی نشاء اطلسی

Table 7- Mean comparison of the effect of natural light and LED light quality on morphological indices of Petunia transplants

تیمار نوری Light treatment	میانگین سطح برگ Leaf area average (cm^2)	وزن تر ساقه Shoot fresh weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
Blue+Red (آبی+قرمز)	1.24[b]	0.28[b]	0.02[b]
White (سفید)	1.74[a]	0.51[a]	0.03[a]
Control (شاهد)	1.64[a]	0.29[b]	0.02[b]

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) با استفاده از آزمون LSD نمی‌باشند.

The values in each column followed by the same letters are not significantly differentns (P<0.05) based on LSD test.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر کیفیت نور طبیعی و ال‌ای‌دی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی نشاء اطلسی

Table 8- Mean comparison of the effect of natural light and LED light quality on physiological indices of Petunia transplants

تیمار نوری Light treatment	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g^{-1} fw)	کارتنوئید Carotenoids (mg g^{-1} fw)	دمای سطح برگ Leaf surface temperature (^oC)
Blue+Red (آبی+قرمز)	1.06[b]	3.12[a]	22.91[b]
White (سفید)	1.06[b]	2.37[b]	22.83[c]
Control شاهد	1.44[a]	1.05[c]	26.00[a]

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) با استفاده از آزمون LSD نمی‌باشند.

The values in each column followed by the same letters are not significantly differentns (P<0.05) based on LSD test..

بحث

بر اساس نتایج، بطور کلی نور ال‌ای‌دی در حسن یوسف باعث افزایش ارتفاع و طول میانگره نسبت به شرایط گلخانه گردید و مقدار آن‌ها در نور سفید ال‌ای‌دی بهتر بود. از سوی دیگر بیشترین تعداد برگ حسن یوسف در نور ترکیبی آبی + سرخ و کمترین آن در شاهد مشاهده شد. از نظر قطر ساقه نیز کمترین مقدار مربوط به شرایط نور گلخانه بود. نورهای ال‌ای‌دی به کار رفته قطر ساقه را افزایش داد. مجموع این نتایج بیانگر آن است که در حسن یوسف نور ال‌ای‌دی برتر از نور گلخانه بوده است. نور ترکیبی سرخ + آبی باعث ایجاد گیاهان متراکم‌تری نسبت به نور ال‌ای‌دی سفید شده است. هئو و همکاران (۲۰۰۲) در مریم گلی و جعفری نشان دادند که نور سرخ در مقایسه با نور آبی و سرخ باعث کاهش ارتفاع می‌شود (۱۵). از سوی دیگر گفته شده نور سرخ – نارنجی محرک طویل شدن هیپوکوتیل و ساقه است. سو و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش شده که نور سرخ و آبی ال‌ای‌دی باعث افزایش ارتفاع دانهال خیار نسبت به نور آبی و سرخ لامپ رشته‌ای گردید (۴۳). این تفاوت در نتایج به احتمال ناشی از تفاوت در نیاز نوری گیاهان باشد چون حسن یوسف به عنوان یک گیاه درون‌خانه‌ای در مقایسه با گیاهان بستری شدت نور کمتر را تحمل می‌کند. از سوی دیگر در مقایسه اثر شرایط نوری مختلف بر ارتفاع گیاهان تعداد برگ را باید در نظر گرفت چون نور کم با افزایش فاصله میانگره باعث افزایش ارتفاع خواهد شد. در اطلسی نیز گزارش شده که نور آبی در مقایسه با نور سرخ (۱۳) باعث افزایش ارتفاع شده است. همچنین نتایج آزمایشی که روی حنا و اطلسی تحت تیمارهای نوری آبی، قرمز، نور ترکیبی آبی و قرمز و لامپ فلورسنت نشان داد که نور سرخ در حنا و نور آبی در اطلسی قطر ساقه را افزایش داده است (۱). از نظر تعداد برگ نیز گزارش‌های متعددی مبنی بر افزایش تعداد برگ در اثر نور سرخ و آبی وجود دارد. نور سرخ در گوجه فرنگی (۸، ۲۱) و کاهو نسبت به نور آبی (۲۱) و نور سرخ – نارنجی ال‌ای‌دی در بنفشه در مقایسه با طیف‌های آبی، قرمز، سفید و سبز (۲۲) باعث افزایش تعداد برگ شده است. همچنین نور آبی در کلم بروکلی (۳۲)، حنا و آهار (۱) در مقایسه با نور ترکیبی آبی و قرمز تعداد برگ را افزایش داده است. نتایج آزمایش ما نیز بیانگر اثر افزایشی نور سرخ +

آبی ال‌ای‌دی روی ارتفاع، تعداد برگ و قطر ساقه حسن یوسف است که با گزارش‌های فوق همسو است. اگرچه مقدار ارتفاع، تعداد برگ و قطر ساقه دانهال‌ها در نور سفید ال‌ای‌دی برتر از شاهد است اما به دلیل ایجاد میانگره‌های طویل‌تر کیفیت گیاهان نسبت به ال‌ای‌دی سرخ + آبی برتر بود.

از نظر میانگین سطح برگ در آزمایش ما گیاهان در نور ال‌ای‌دی سفید نسبت به نور گلخانه پهن‌تر بودند. بنابراین بالا بودن میانگین سطح برگ در نور سفید می‌تواند بیانگر ناکافی بودن نور برای گیاه باشد چون یکی از روش‌های جبران کمبود نور در گیاه افزایش سطح برگ است (۱۴).

ساموئلین و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که نور ترکیبی سرخ و آبی نسبت به طیف‌های تکی آبی و سرخ سطح برگ را کاهش می دهد (۳۹). از طرفی نتایج آزمایش کشت گوجه فرنگی، مریم گلی، پامچال و حنا زیر نور ال‌ای‌دی با شدت نور فتوسنتزی ۱۶۰ میکرومول بر مترمربع با درصدهای متفاوتی از نورهای آبی، سبز و سرخ باعث افزایش سطح برگ نسبت به تیمار شاهد (نور سفید فلورسنت) شده است (۴۷). نور زیاد اگرچه باعث ایجاد برگ‌های کوچک‌تر نسبت به نور کم می‌شود، اما سطح کل برگ گیاهان رشد یافته در نور زیاد بیشتر است چون آنها به طور معمول تعداد برگ بیشتری تولید می کنند (۱۴).

از نظر وزن تر و خشک شاخساره تیمارهای نور ال‌ای‌دی نسبت به شاهد برتر بودند و اگرچه از نظر وزن‌تر شاخساره گیاهچه‌های اطلسی و حسن یوسف رشد یافته در نور سفید ال‌ای‌دی وزن تر بیشتری داشتند اما از نظر وزن خشک شاخساره و وزن‌تر و خشک ریشه حسن یوسف بین تیمارهای نور ال‌ای‌دی سفید و سرخ + آبی ال‌ای‌دی تفاوت معنی‌دار نبود. بنابراین می‌توان گفت نور ال‌ای‌دی سفید رشد بهتری را باعث شده است.

طبق بررسی جوکان و همکاران (۲۰۱۰) نور سرخ- نارنجی (۶۰۰-۷۰۰ نانومتر) نسبت به نور سبز وزن گیاه را افزایش داده است (۱۸). Li و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که وزن تر ریشه و ساقه کاهو چینی در نور سرخ با شدت ۸۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه افزایش یافت (۲۵). در آزمایش دیگری مشاهده شده که نور سرخ روی افزایش وزن دانهال‌های گوجه فرنگی (۸، ۲۱) و خیار (۴۳) نسبت به نور آبی موثر بوده است. پاردو و همکارانش (۲۰۱۴) اثر نور ال‌ای‌دی با شدت بالا (high-intensity LED light) با رنگ‌های آبی، سرخ و سبز را به طور جداگانه بر جوانه‌زنی سه رقم کاهو با مدت۳۲ زمان روشنایی متفاوت بررسی کردند (۳۲) و براساس نتایج این محققین، با افزایش مدت روشنایی، وزن تر و خشک بیشتر شد. نتایج پژوهش دیگری مربوط به گوجه‌فرنگی، مریم گلی، پامچال و حنا نشان داد که در نورهای آبی، سرخ و سفید با شدت۱۶۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه وزن تر شاخساره افزایش یافته است (۴۷). همچنین پرورش کاهو و کلم بروکلی زیر نور ال‌ای‌دی‌های آبی، سرخ و سبز باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه شده است (۳۲). طبق ساموئلبن و همکاران (۲۰۱۰) تحت تیمارهای نوری آبی، سرخ و ترکیبی آبیو سرخ نشان داد که نور ترکیبی سرخ و آبی وزن ریشه را در توت فرنگی افزایش داد (۳۹). نور سرخ- نارنجی (۶۰۰-۷۰۰ نانومتر) ال‌ای‌دی در مقایسه با سایر طیف‌های آبی، سرخ، سبز و سفید نیز بر افزایش وزن ساقه و ریشه در بنفشه (*Viola cornuta*) مؤثر بوده است (۲۲). بنابراین همسو با دیگر پژوهشگران نور ال‌ای‌دی در حسن یوسف و اطلسی سبب افزایش وزن گیاه نسبت به نور خورشید (گلخانه) شده است اما هر دو گونه به کیفیت نور ال‌ای‌دی پاسخ متفاوتی نشان دادند.

بیشترین دمای سطح برگ در گیاهان در حال رشد زیر نور گلخانه مشاهده شد و این می‌تواند دلیل کمتر بودن رشد ریشه و شاخساره گیاهان در نور گلخانه در اثر افزایش مقدار تنفس نسبت به گیاهان زیر نور ال‌ای‌دی باشد. ال‌ای‌دی‌ها پرتو فروسرخ کمتری نسبت به نور خورشید و سایر لامپ‌ها دارند، در نتیجه دما در تاج گیاهان کمتر است (۷). گاهی افزایش انرژی در سطح برگ سبب کاهش تعرق و در نتیجه افزایش دمای تاج گیاه می‌شود (۹) که این عامل سبب کاهش رشد گیاه خواهد شد. از سوی دیگر از نظرصرفه‌جویی در هزینه‌های تهویه هوا و کاهش نیاز آبی گیاهان به‌دلیل تولید گرمای کمتر توسط ال‌ای‌دی‌ها، می‌تواند برای تولیدکنندگان حایز اهمیت باشد (۴۶).

مقدار کلروفیل کل برگ حسن یوسف در نور گلخانه و نور سفید ال‌ای‌دی نسبت به نور ترکیبی آبی + سرخ و مقدار کلروفیل کل اطلسی در شاهد نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. فیزیولوژیست‌های گیاهی سعی می‌کنند، طول موج‌های بهینه نور را برای دامنه وسیعی از فرایندهای گیاهی تعیین کنند که گاهی با نتایج متناقض روبه‌رو می‌شوند، چون طیف فعال ویژه‌ای برای جنس‌های گیاهی مختلف لازم است (۱۴)، که بررسی پژوهش‌ها روی گیاهان مختلف بیانگر این موضوع است. به طوری که شاین و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که کلروفیل در گیاهان کاهوی رشد یافته در نور سرخ ال‌ای‌دی در مقایسه با نور ۱۰۰ درصد آبی و نور ترکیبی سرخ + آبی کمتر بود (۴۰). لی و کوباتا (۲۰۰۹) نیز عدم تفاوت کلروفیل دانهال‌های کاهو در نور سفید و سرخ نسبت به نورهای آبی، سبز و فروسرخ را گزارش کردند (۲۴). رندال و لوپز (۲۰۱۴-الف) نشان دادند که نور سرخ و آبی ال‌ای‌دی با نسبت ۷۰:۳۰ در شمعدانی و مریم گلی باعث افزایش کلروفیل نسبت به لامپ‌های پرفشار سدیمی گردید (۳۴). بررسی اثر نورهای سرخ، سفید و آبی بر پینه رویانزا در کشت روی شیشه‌ای سنبل نشان داد که کلروفیل و کاروتنوئید در نور سرخ کاهش می‌یابد (۵). بررسی اثر نورهای خورشید و کاربرد نورهای ال‌ای‌دی سرخ و آبی به صورت تکمیلی (همراه نور خورشید) و یا به تنهایی (در سایه) در اطلسی نشان داد که مقدار کلروفیل زیر نور خورشید همراه با نور

سرخ ال‌ای‌دی بیشتر از سایر تیمارها بود (۱۳).

در سلول‌های مزوفیل سبز، کاروتنوئیدها به‌عنوان رنگیزه‌های کمکی در فرایند فتوسنتز نقش دارند و به ویژه در زمان انتقال انرژی و الکترون درگیر هستند و از رنگیزه کلروفیل در برابر صدمات ناشی از اکسیداسیون نوری محافظت می‌کنند. کاروتنوئیدها به‌عنوان رنگیزه کمکی نور دریافتی را به کلروفیل b منتقل می‌کنند و از فعالیت گونه-های فعال اکسیژن در شرایط تنفس نوری جلوگیری می‌کنند (۱۷، ۲۸ و ۳۱). مقدار کاروتنوئید دانهال‌های حسن یوسف در گلخانه بیشتر از سایر تیمارها بود که شاید ناشی از زیاد بودن انرژی نور باشد. مقدار کلروفیل کل اطلسی در نور آبی + سرخ ال‌ای‌دی کمتر از شاهد بوده و احتمالا افزایش کارتنوئید در این طیف ترکیبی نسبت به سایر تیمارها خاطر نقش حافظتی که در بالا گفته شد باشد تا با بیشتر شدن کارتنوئید بتواند از تجزیه کلروفیل جلوگیری و به ساخت آن کمک کند.

فلورسانس کلروفیل شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v (میزان تغییر فلورسانس یا فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) و F_v/F_m (حداکثر کارایی یا عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی) می باشد (۲۷). پارامتر F_v/F_m بیانگر حداکثر کارایی کوانتوم فتوسیستم II است که در آن نور توسط گیرنده‌های نوری فتوسیستم II جذب می‌شود. بنابراین از شاخص عملکرد فتوسنتز گیاه می باشد (۳، ۶، ۲۷). در شرایط بدون تنش میزان F_v/F_m گیاه بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۵ متغیر است (۶). در آزمایش ما مقدار F_v/F_m در هر سه تیمار در محدوده طبیعی قرار دارند. با این حال بیشترین مقدار مربوط به نور ال‌ای‌دی سفید است و بین تیمارهای شاهد و نور ترکیبی سرخ + آبی تفاوت معنی‌دار نیست.

نتیجه گیری

کیفیت نور تاثیر زیادی بر رشد و توسعه گیاهان دارد و یک ابزار قوی برای کنترل فرآیندهای مختلف است. نتایج این پژوهش نشان داد که منابع نور مصنوعی با کیفیت‌های مختلف اثرات متفاوتی را در گونه‌های مختلف گیاهی ایجاد می‌کند و ال‌ای‌دی‌ها می‌توانند جایگزین نور طبیعی، در اتاقک های رشد و در مناطقی که نور کافی نیست، به‌ویژه در مرحله تولید نشاء، باشند. با توجه به افزایش کیفیت و کاهش تلفات نشاء گیاهان در مرحله انتقال و کم مصرف بودن آن‌ها از نظر هزینه های تولید قابل توجیه هستند. لازم به ذکر است افزون بر نور؛ دما، رطوبت و سایر عوامل محیطی نیز در تولید نشا موثر هستند. با توجه به مجموع شاخص‌های اندازه‌گیری شده در حسن یوسف می‌توان نتیجه گرفت که در مرحله تولید نشاء نور ال‌ای‌دی سرخ + آبی برتر از سایر تیمارها است. در اطلسی تیمار نور سفید ال-ای‌دی باعث بیشترین وزن‌تر شاخساره و وزن تر و خشک ریشه و سطح برگ گردید. همانند حسن یوسف بیشترین دمای سطح برگ و کلروفیل مربوط به تیمار شاهد بود و با توجه به مجموع شاخص‌های اندازه‌گیری شده تیمار نور سفید ال‌ای‌دی برای تولید نشاء اطلسی برتر بود.

منابع

1- Akbarian B., Matloobi M., and Mahna N. 2016. Effects of LED Light on Seed Emergence and Seedling Quality of Four Bedding Flowers. Journal of Ornamental Plants 2: 115-123.
2- Anonymous. 2017. Gulf Coast Research and Education Center Plant City Teaching Garden. University of Florida. IFAS Extension. Available at http://gcrec. ifas. ufl. edu/ GCREC-Garden/ docs/ pdf/Coleus.pdf (visited 10 July 2018).
3- Araus J.L., Amaro T., Voltas J., Nakkoul H., and Nachit M.M. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. Field Crops Research 55: 209-223.
4- Armitage A.M. 1985. Petunia. .In: A.H. Halevy (ed.).In Handbook of flowering. CRC press, Boca Raton Florida. PP. 41-46.
5- Bach A., and Krol A. 2001. Effect of light quality on somatic embryogenesis in *Hyacinthus orientalis* L. 'Delfts Blue'. Biological Bulletin of Poznan 38: 103-107.
6- Baker N.R., and Rosenqvist E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany 55: 1607-1621.
7- Barta D.J., Tibbitts T.W., Bula R.J., and Morrow R.C. 1992. Evaluation of light emitting diode characteristics for a pace-based lant irradiation source. Space Research 12: 141-149.
8- Brazaityte A., Duchovskis P., Urbonaviciute A., Samuolene G., Jankauskiene Sakalauskaite J., Šabajeviene G., Sirtautas R., and Novickovas A. 2010. The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants. Zemdirbyste Agriculture 97: 89-98.
9- Carcova J., Maddonni G.A., and Ghersa C.M. 1998. Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. Field Crops Research 55: 165-174.
10- Chia P.L., and Kubota C. 2010. End-of-day far-red light quality and dose requirements for tomato rootstock hypocotyl elongation. HortScience 45: 1501-1506.

11- Dole J.M., and Wilkins H.F. 1999. Floriculture: Principles and Species. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
12- Fan X.X., Xu Z.G., Liu X.Y., Tang C.M., Wang L.W., and Han X.L. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. Scientia Horticulturae 153: 50-55 .
13- Gautam P. 2012. Effect of light quality in the regulation of morphology and flowering of petunia (*Petunia hybrida*). Department of Plant and Environmental Sciences 15: 1-73.
14- Ghasemi Ghehsareh M., and Kafi M. 2015. Volume Two: Scientific and Practical floriculture (Second Edition). Publishing Author, Iran.
15- Heo J., Lee C., Chakrabarty D., and Paek K.Y. 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 Regulation 38: 225-230.
16- https:// www. Syngenta flowers-us.com/ techlibrary/ search/ techlibrary/ type/ culture-sheet 111? search_ api_ views_fulltext = petunia and items_per_page=24 (visited 8 October 2018).
17- Jahns P., and Holzwarth A.R. 2012. The role of the xanthophyll cycle and lutein in photoprotection of photosystem II (Review). Biochimica et Biophysica Acta, 1817:182-193.
18- Johkan M., Shoji K., Goto F., Hahida S., and Yoshihara T. 2012. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. Environmental and Experimental Botany 75: 128–133.
19- Jung E.S., Lee S., Lim Sh., Ha Sh., Liu Kh., and Lee Ch. 2013. Metabolite profiling of the short-term responses of rice leaves (*Oryza sativa* cv. Ilmi) cultivated under different LED lights and its correlations with antioxidant activities. Plant Science 210: 61- 69 .
20- Kim H.H., Goins G.D., Wheeler R.M., and Sager J.C. 2004. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. HortScience 39: 1617-1622 .
21- Koksal N., İncesu M., and Teke A. 2013. Effects of led lighting on plant development of tomato. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 6: 71-75 .
22- Koksal N., İncesu M., and Teke A. 2015. Supplemental LED lighting increases pansy growth. Horticultura Brasileira 33: 428-433.
23- Lee S.H., Tewari R.K., Hahn E.J., and Paek Y. 2007. Photon flux density and light quality induce changes in growth, stomatal development, photosynthesis and transpiration of Withania Somnifera plantlets. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 90: 141-151.
24- Li Q., and Kubota C. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. Environmental and Experimental Botany 67: 59-64.
25- Lichtenthaler H.K., and Wellburn A.R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different Solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.
26- Mani R. 2015. The effects of LEDs on plants. Maximum Yield. Available at http :// maximumyield. com/blog/2015/06/01/the-effects-of-leds-on-plants (visited 12 January 2018).
27- Maxwell K., and Johnson G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. Journal of Experimental Botany 51: 659-668.
28- Mlodzinska E. 2009. Survey of plant pigments: molecular and environmental determination of plant colors. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 51: 7-16.
29- Nicole C.C.S., Charalambous F., Martinakos S., van de Voort S., Li1 Z., Verhoog M. and Krijn M. 2016. Lettuce growth and quality optimization in a plant Factory. Acta Horticulturae 1134: 1134-31.
30- Nishio J.N. 2000. Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement. Plant Cell and Environ 23: 539-548.
31- Ougham H., Morris P., and Thomas H. 2005. The colors of autumn leaves as symptoms of cellular recycling and defenses against environmental stresses. Current Topics in Developmental Biology, 66:135-160.
32- Pardo G.P., Aguilar C.H., Martínez F.R., Pacheco C.D., Gonzalez M.M., and Canseco M.M. 2014. Effects of light emitting diode high intensity on growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) and Broccoli (*Brassica oleracea* L.) seedlings. Annual Research and Review in Biology 4: 2983-2994.
33- Pimputkar S., Speck J.S., DenBaars S.P., and Nakamura S.H. 2009. Prospects for LED lighting. Nature Photonics 3: 180-183 .
34- Randall W.C., and Lopez R.G. 2014a. Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting Diodes during Bedding Plant Seedling Production. HortScience 49(5): 589–595.
35- Randall W.C., and Lopez R.G. 2014b. Lighting the future of young plants. How can growers use led lights for supplemental and sole-source lighting?. Available at www.gpnmag.com (visited 2 January 2018).
36- Runkle E., and Blanchard M. 2010. Use of lighting to accelerate crop timing. Greenhouse Grower, Available at: http:// www.flor.hrt.msu.edu/assets/PdfAttachments/Runkle-Blanchard-UseofLighting.pdf. (visited 14 November 2018).
37- Runkle E., and Heins R. 2004. Florel on summer production of pansy. Available at: https:// gpnmag . com/ article/florel-summer-production-pansy. (visited 14 November 2018)

38- Sage L.C. 1992. Pigment of the imagination: a history of phytochrome research. Academic Press, London.
39- Samuoliene G., Brazaityte A., Urbonaviciute A., Šabajeviene G., and Duchovskis P. 2010. The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. Zemdirbyste-Agriculture 97: 99-104 .
40- Shin Y.S., Lee M.J., Lee E.S., Ahn J.H., Lim J.H., Kim H.J., Park H.W., Um Y.G., Park S.D., and Chai J.H. 2012. Effect of leds (light emitting diodes) irradiation on growth and mineral absorption of lettuce (*Lactuca sativa* 'Lollo Rosa'). Journal of Bio-Environment Control 21: 180-185.
41- Singh D., Basu Ch., Meinhardt-Wollweber M., and Roth B. 2014. LEDs for energy efficient greenhouse lighting. Hannover Centre for Optical Technologies 49: 1-22.
42- Smith H. 1982. Light quality, photoperception, and plant strategy. Plant Physiology 33: 481-518.
43- Su N.N., Wu Q., and Cui J. 2012. Effects of supplemental lighting with led light quality on growth and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings. China Vegetables 1: 48-54.
44- Surducan V., Lung I. and Surducan E. 2009. The effect of coloured light on *Ipomoea Purpurea* growth. National Institute for Research and Development of Isotopic and Molecular Technologies 182: 65-103.
45- Tripathy B.C., and Brown C.S. 1995. Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light. Plant Physiology 107: 407-411 .
46- Verkbert H., Heins R., and Blom T. 2004. Supplemental lighting on potted plants. In: P.R. Fisher and E. Runkle (eds.). Lighting up profits: Understanding greenhouse lighting, p. 72–78.
47- Wells K. 2015. LED lighting and its effect on plants, growers and the world. While the initial nvestment may seem costly, the benefits of led lighting are certainly worth a consideration. Available at: http://www.gpnmag.com (visited 7 October 2018).
48- Wollaeger H., and Runkle E. 2014. Growing seedings under LEDs: part two. Greenhouse Grower. Available at: https://www.greenhousegrower.com/production/plant-culture/ growing-seedlings-under-leds-part-two. (visited 20 November 2018).
49- Yeh N., and Chung J.P. 2009. High-brightness LEDs-energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13: 2175-2180.
50- Zhang T., and Folta K.M. 2012. Green light signaling and adaptive response. Plant Signaling and Behavior 7: 1-4.

Journal of Horticultural Science
Vol. 33, No.3, Fall 2019, P. 537-548
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص. ۵۴۸-۵۳۷
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

The Effect of the Light-Emitting Diode Spectrum Compared to the Greenhouse Natural Light on the Quality of *Solenostemon escutellariodes* 'Wizard Scarlet' and *Petunia* × *hybrida* 'Scarlet Eye' Transplant

P. Dehkhodaei[1]- S. Reezi[2]- M. Ghasemei Ghehsareh[3*]

Received: 24-04-2019
Accepted: 10-07-2019

Introduction: The light is not only a photosynthesis energy source but also is a plant growth and development stimulation from germination to flower initiation process. The light quality plays an important role in all steps of growth process particularly in photosynthesis and morphological properties of plant species. Studies have reported that, LEDs present the maximum PAR efficiency among artificial lighting systems. LED lamps contribute to energy saving by 75 and 30 percent as compared to incandescent light bulbs and fluorescent lamps, respectively. LEDs emit blue, red, orange, yellow, green, red, and infrared light and can be used as a hybrid spectrum. For these reasons, an experiment was conducted to investigate the effect of quality of LED light on morphological and physiological characteristics of Solenostemon and petunia.

Materials and Methods: Research experiments were conducted on *Solenostemon escutellariodes* 'Wizard Scarlet' and *Petunia* × *hybrida* 'Scarlet Eye' in a completely randomized design with three treatments of different light quality and 10 replications. The seeds were planted in 105-cell seedling trays and in a mixture of 70% peat moss and 30% perlite. Seedlings were grown in natural greenhouse (control) and LED (50% blue + 50% red and 100% white light). The light intensity was 60 ± 5 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ for LEDs and the daily greenhouse cavity was 5 ± 14 $\mu mol.m^{-2}.d^{-1}$. Since the main goal of the study was to compare the effect of LED light quality with sunlight in conventional greenhouse conditions. The LED treatments were applied from the germination until seedling production stage in a growth chamber with the light/dark regime of 18/6 hours, 23±1°C temperature, and 50±5% relative humidity. While, their tray in the greenhouse with 55±5 $mol.m^{-2}.d^{-1}$ DLI, 21±5°C average daily temperature and 50±5% relative humidity (Data logger 8808 temp. + RH) were regarded as the control treatment. After eight weeks, the morphological and physiological traits were recorded. Finally, the data were statistically analyzed with SAS (9.4) software package, and the means were compared by LSD test at $p < 0.05$ level.

Results and Discussion: At the end of study, some morphological and physiological traits were evaluated. The results showed that the leaf area average (3.63 cm^2), height (5.04 cm), internode length (18.62 mm), stem diameter (2.52 mm), shoot fresh weight (1.74 g) and chlorophyll fluorescence (0.83) of Solenostemon seedlings in 100% white light were more than 50% blue + 50% light green and greenhouse light. Also, the highest leaf area temperature (27.4 ° C), total chlorophyll (0.8 mg g^{-1} fw) and carotenoids (2.229 mg g^{-1} fw) were related to control treatment and the highest number of leaves (21), shoot dry weight (0.165 g), fresh (1.65 g) and root dry weight (0.114 g) were observed in 50% blue + 50% red light composition. According to the results of petunia, white LED light increased leaf area (1.74 cm^2), shoot fresh weight (0.51 g) and root dry weight (0.03 g). The leaf surface temperature (26 ^oC) and total chlorophyll content (1.44 mg g^{-1} fw) in the control group were higher than the other treatments, and the carotenoids content (3.12 mg g^{-1} fw) was obtained in 50% red + 50% blue LED. The leaf surface temperature and total chlorophyll content in greenhouse light were higher than other treatments and the highest carotenoids (3.119 mg / g) were obtained from 50% red + 50% blue LED.

Conclusion: Light quality has a great impact on the growth and development of plants and is a powerful tool for controlling various processes. The results showed that different light sources with different qualities had different effects on different plant species and that LEDs could replace natural light in growing chambers and in areas where light was insufficient. Due to the increased quality and reduced transplant losses in the transplant phase and their low utilization, they are justified in terms of production costs. It should be noted that in addition to light; temperature, humidity and other environmental factors are also effective in transplant production. Based on the measured indices in Solenostemon, it can be concluded that the red + blue LED light transplanting stage is

1, 2 and 3- M.Sc. Student and Assistant Professors, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahre-kord University, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mghasemi1352@gmail.com)

superior to other treatments .In petunia, white LED treatment caused the highest shoot and fresh and dry weights of roots and leaves respectively. Like Solenostemon, the highest chlorophyll and leaf surface temperatures were related to the control treatment and was superior to the petunia transplant in terms of the sum of measured indices of white light treatment.

Keywords: Leaf chlorophyll fluorescence, Light quality, Morphology, Transplant