The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

The Effect of Light Quality on the Morphophysiological Characteristics of Cuttings of Three Varieties of Chrysanthemum in the Rooting Stage (Chrysanthemum grandiflorum) in the Growth Chamber

Azizollah Khandan-Mirkohi[1]✉, Pakzad, Shiva [2], Mohsen Kafi[3]

1. Corresponding Author, Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: khandan.mirkohi@ut.ac.ir
2. Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: az137212@gmail.com
3. Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mkafi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 1 October 2022

Received in revised form: 4 July 2023

Accepted: 16 July 2023

Published online: 23 September 2023

Keywords:

Anthocyanin,

LED,

Chlorophyll,

Ornamental plants,

Photosynthetic quantum function.

ABSTRACT

The effectiveness of LED lamps was evaluated as an alternative to other supplementary lights in different conditions in terms of the growth stage of each plant and the purpose of the cultivation. A factorial experiment was carried out based on completely randomized design. The first factor was the terminal cuttings of three different cultivars of chrysanthemum, given codes of (C1:440), (C2:542) and (C3:567) and the second factor was the light levels of L1, L2, L3 and L4 which represent red-blue, red, blue and white, respectively. Cuttings were planted in the pots filled with small sized perlite, then transferred to the growth chamber. Characteristics such as leaf surface and number, root and stem characteristics, chlorophyll a and b and total, photosynthetic quantum performance index (Fv/Fm), PIabs, malondialdehyde, proline, leaf anthocyanins and soluble carbohydrates were measured. Based on the results, the highest amount of total chlorophyll content was observed in the red-blue combined spectrum, the highest amount of photosynthetic quantum performance index (Fv/Fm) in C1 cultivar under the blue spectra, the maximum amount of leaf anthocyanins in C1 under red light and the lowest amount of malondialdehyde in C2 under the white light. Meanwhile, the maximum value of leaf area was related to C3 under red-blue light treatment and the maximum number of leaves to C1 under red-blue light. The best characteristics of the root were belonged to the C1 cultivar under combined red-blue light. As a result, in terms of physiological and morphological indicators, among the used LED lights, red-blue lights and monochromatic blue light were the best treatments in the growth chamber conditions.

Cite this article: Khandan-Mirkohi, A., Pakzad, Sh., & Kafi, M. (2023). The Effect of Light Quality on the Morphophysiological Characteristics of Cuttings of Three Varieties of Chrysanthemum in the Rooting Stage (Chrysanthemum grandiflorum) in the Growth Chamber. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54 (3), 439-455. DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.348301.2064

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.348301.2064

Extended Abstract

Introduction

Light is the most important environmental factor that controls various aspects of plant growth and development. Plants dynamically respond to the light of their surrounding environment. The response of the plant to light is different depending on the light properties, climate, season, genotype, cultivar, cultivation methods and some other factors. Light provides the necessary energy to steer photosynthesis and also acts as a source of spatial and seasonal signals for plants. This factor is not only an energy source for photosynthesis, but also a stimulating factor for a number of developmental processes from seed germination to the flowering. The rapid development of lighting technologies using LED lamps has increased the use of this technology for

lighting in closed and vertical systems. In fact, this technology has made it possible to optimize plant growth by using monochromatic wavelengths or their combinations. The physiological response of different chrysanthemum cultivars to different light spectrums can be different and is not clear, particularly for the earliest stages of growth. Therefore, the effect of different LEDs light spectrums on some key traits of different cultivars of chrysanthemum in the growth chamber compared to the greenhouse environment from the rooting to flowering stages of cuttings was investigated. The stimulating effects of different light spectrums and their impact on photosynthetic systems were also considered.

Materials and Methods

This research was conducted in a growth chamber equipped with a floor system with LED lighting. The LED chamber had four shelves and in each shelf there were three floors (the location of the pots) with a width, length and height of 60, 90 and 50 cm, respectively and each shelf was related to one of the light treatments. The light intensity was set to 70 μmol.m-2s-1 (UT383). To create the combination of red-blue light, the ratio of 3:7 red to blue LED lamps was used. This research was carried out as a factorial based on completely randomized design with three replications and 25 observations in each replicate. The first factor was the terminal cuttings of three different cultivars of chrysanthemum with codes of (C1:440), (C2:542) and (C3:567), and the second factor was the light levels of L1, L2, L3 and L4 which represent red-blue, red, blue and white light, respectively. The terminal cuttings were prepared in 12 cm length, planted in the pots filled with sugar perlite and finally transferred to a growth chamber with a floor system equipped with LEDs. The plants were kept for about 50 days until the roots spread.

Results

Based on the results, the highest amount of chlorophyll content was observed in the red-blue combined spectrum. The maximum amount of chlorophyll a was corresponded to C1 under red-blue light treatment, and the maximum amount of chlorophyll b to C1 and C3 under the white light spectrum. The highest amount of photosynthetic quantum performance index (Fv/Fm) were observed in the blue spectrum, the maximum amount of leaf anthocyanins in C1 under the red light and the lowest amount of malondialdehyde in C2 under the white light spectrum. The maximum leaf area of C3 was recorded under red-blue light treatment and the maximum number of leaves was recorded in C1 under red-blue light spectrum. The best characteristics of the root were obtained in C1 under the combined red-blue light. The maximum length of the stem was measured in red light and the highest wet and dry weight of the branch was obtained in C1 under blue light spectrum.

Discussion: The function of photosystem II plays an important role in carbohydrate production. It was also shown that an increase in carbohydrate production decreases the slope of ROS production. Fv/Fm is the maximum quantum efficiency in photosystem II. In normal conditions and without any stress, this ratio is usually constant. Insufficient blue light causes dysfunction in photosystem II by reducing the Fv/Fm ratio. In fact, it has been proven that supplementing blue light with red light improves stomatal characteristics and prevents damage to the photosynthetic apparatus, especially photosystem II.

Conclusion

The overall results of this research showed that photosynthetic pigments had a better response to the white and combined red-blue light spectra. Also, among the LED lights, red-blue lights and monochromatic blue light were recognized as the best treatments in terms of photosynthetic characteristics and had better photosynthesis efficiency. Blue light increased proline and malondialdehyde and red light increased anthocyanins and soluble carbohydrates. Also, in most of the examined traits, the combined red-blue treatment resulted better than other spectrums.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۴، شماره ۳

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

اثر کیفیت نور بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک قلمه سه رقم داوودی در مرحله ریشه‌زایی (Chrysanthemum×grandiflorum) در اتاقک رشد

عزیزاله خندان میرکوهی[۱]✉| شیوا پاکزاد[۲] | محسن کافی[۳]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: khandan.mirkohi@ut.ac.ir

۲. گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: az137212@gmail.com

۳. گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mkafi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

آنتوسیانین، ال‌ای‌دی، کلروفیل، گیاهان زینتی، عملکرد کوانتومی فتوسنتزی.

چکیده

در این پژوهش کارایی لامپ‌های ال‌ای‌دی به عنوان جایگزین دیگر نورهای تکمیلی در شرایط مختلف، از نظر مرحله رشد هر گیاه و هدف از کشت، مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی اجرا شد؛ عامل اول، قلمه‌های انتهایی سه رقم مختلف داوودی با کدهای (C1:440)، (C2:542) و (C3:567) و عامل دوم سطوح نوری L1، L2، L3، L4 به ترتیب بیانگر قرمز-آبی، قرمز، آبی و سفید بود. قلمه‌های تهیه شده درون گلدان‌های دارای پرلیت شکری کشت شدند و به اتاقک رشد انتقال یافتند. در این بررسی، ویژگی‌هایی از جمله سطح و تعداد برگ، ویژگی‌های ریشه و ساقه، میزان کلروفیل a، b و کل، شاخص عملکرد کوانتوم فتوسنتزی (Fv/Fm)، شاخص عملکرد، مالون‌دی‌آلدهائید، پرولین، آنتوسیانین‌های برگ و کربوهیدرات‌های محلول، اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، بیش‌ترین میزان محتوای کلروفیل کل گیاه در طیف ترکیبی قرمز-آبی مشاهده شد. بیش‌ترین میزان شاخص عملکرد کوانتوم فتوسنتزی (Fv/Fm) در طیف آبی، حداکثر میزان آنتوسیانین‌های برگ در رقم ۴۴۰ در نور قرمز و کم‌ترین مقدار مالون دی‌آلدهائید در رقم ۵۴۲ در نور سفید مشاهده شد. بیش‌ترین سطح برگ مربوط به رقم ۵۶۷ تحت تیمار نور قرمز-آبی و بیش‌ترین تعداد برگ در رقم ۴۴۰ و نور قرمز-آبی ثبت شد. بهترین ویژگی‌های ریشه مربوط به رقم ۴۴۰ و نور ترکیبی قرمز-آبی بود. بطور کلی، با در نظر گرفتن شاخص‌های فیزیولوژی و مورفولوژی، در بین نورهای ال‌ای‌دی استفاده شده برای ارقام مختلف، بهترین نور در شرایط اتاقک رشد ، نورهای قرمز-آبی و نور تک رنگ آبی، تشخیص داده شد.

استناد: خندان میرکوهی، عزیزاله؛ پاکزاد، شیوا؛ و کافی، محسن (۱۴۰۲). اثر کیفیت نور بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک قلمه سه رقم داوودی (Chrysanthemum×grandiflorum) در مرحله ریشه‌زایی در اتاقک رشد. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۴ (۳)، ۴۵۵-۴۳۹. DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.348301.2064

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.348301.2064

مقدمه

پاسخ گیاهان به طول موج‌های مختلف نور متفاوت و کاملا بسته به گونه و رقم است (Ouzounis *et al.*, 2014). تنوع متمایز گیاهان زینتی، گونه‌ها و ارقام مختلف و همچنین روش‌های مختلف کشت و نورپردازی منجر به تنوع گسترده‌ای از اثرات طیف نور می‌شود و نیاز به تحقیقات گسترده در این زمینه در کشت گیاهان زینتی تجاری را برجسته می‌کند (Gupta & Dutta Agarwal, 2017). داوودی‌ها[1] گیاهانی چندساله علفی، معطر و گل‌دار از تیره کاسنی[2] می‌باشند که به صورت یک‌ساله، چندساله علفی و حتی درختچه‌ای کوچک و بوته‌ای دیده می‌شود. این جنس دارای بیش از ۲۰۰ گونه می‌باشد که از لحاظ اهمیت اقتصادی دومین رتبه را پس از گیاه رز از جنبه تولید و مصرف به خود اختصاص داده است (Anderson, 2007). در برخی گیاهان زینتی از جمله در گل داوودی، شرایط نوری باید به گونه‌ای باشد که تعداد روز برای القای گل به حداقل برسد. علاوه بر طول دوره روشنایی که در بیشتر ارقام داوودی بر القای گلدهی موثر است، رشد و توسعه این گیاه زینتی تحت تاثیر شدت و کیفیت (طیف تابش) نور نیز می‌باشد که از بین این دو عامل، طیف نور بر ویژگی‌های گیاه تاثیر بیش‌تری دارد (Jeong *et al.*, 2014; Dierck et al., 2017). امروزه، توسعه سریع فناوری‌های روشنایی با استفاده از لامپ‌های ال‌ای‌دی سبب افزایش کاربرد این فناوری برای روشنایی در سیستم‌های بسته و طبقاتی شده است (Kozai *et al.*, 2015). درواقع این فناوری با استفاده از طول موج‌های تک رنگ یا ترکیبات آن‌ها امکان بهینه‌سازی رشد گیاه را فراهم آورده است (Zheng & Labeke, 2017). باتوجه به اینکه در سیستم‌های مدرن طبقاتی، هر بخش توسط سیستم جداگانه کنترل می‌گردد، بنابراین برای دستیابی به یک هدف معین امکان تنظیم هر یک از عوامل محیطی و نیز ویژگی‌های هر یک از عوامل در ارتباط با عامل دیگر فراهم می‌باشد. از این‌رو، استفاده از لامپ‌های ال‌ای‌دی اغلب به دلیل مزایایی که دارند برای تامین نور مورد نیاز گیاهان در سامانه‌های مدرن طبقاتی و برای یک ویژگی در هریک از مراحل مختلف رشد گیاه مورد توجه می‌باشد.

از آنجاکه پاسخ فیزیولوژیک ارقام مختلف داوودی به طیف‌های مختلف نور، می‌تواند متفاوت باشد، و این پاسخ به‌ویژه در ابتدایی‌ترین مراحل رشد این گیاه مشخص نیست، بنابراین در این پژوهش اثر طیف‌های متفاوت نور از منبع لامپ‌های ال‌ای‌دی در برخی صفات کلیدی ارقام مختلف این گیاه در مرحله ریشه‌زایی و در شرایط اتاقک کشت در مقایسه با محیط گلخانه بررسی شد. طی این مطالعه اثرات انگیزشی طیف‌های مختلف نوری و تاثیر آن‌ها بر سیستم‌های فتوسنتزی نیز مورد توجه قرار گرفت.

پیشینه پژوهش

نور مهم‌ترین عامل محیطی است که جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه را کنترل می‌کند (Carvalho *et al.*, 2016) و سبب رشد و توسعه گیاه می‌شود. گیاهان به صورت پویا به نور محیط اطراف خود پاسخ می‌دهند (Carvalho *et al.*, 2016). البته پاسخ گیاه بر اساس اقلیم، فصل، ژنوتیپ، رقم و شیوه‌های کشت و بسیاری عوامل دیگر متفاوت است (Kozai, 2016). نور انرژی لازم برای هدایت فتوسنتز را فراهم می‌کند، همچنین به‌عنوان منبع سیگنال‌های مکانی و فصلی برای گیاهان عمل می‌کند (Riikonen *et al.*, 2016). این عامل نه تنها یک منبع انرژی برای فتوسنتز بلکه عاملی تحریک‌کننده برای تعدادی از فرآیندهای نموی از جوانه‌زنی بذر گرفته تا شروع گلدهی محسوب می‌شود (Kilic *et al.*, 2010). ویژگی‌های مختلف نور از قبیل کمیت، کیفیت و مدت زمان تابش بر رشد و بهره‌وری گیاه تاثیر می‌گذارد (Colquhoun *et al.*, 2013). از منابع نوری مانند لامپ‌های فلورسنت، سدیم فشار قوی، نئون و دیودهای ساطع کننده نور[3] می‌توان به جای نور خورشید در محیط‌های بسته استفاده کرد (Lin *et al.*, 2013).

1 *Chrysanthemum* spp.
2 Asteraceae
3 Light Emitting Diode, LED

کارشناسان معتقدند که لامپ‌های رشته‌ای یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش حجم تولید گازهای گلخانه‌ای در جهان می‌باشند، بنابراین برنامه‌ای را برای جایگزینی مدل‌های دیگر روشنایی به‌جای لامپ‌های رشته‌ای ارائه کرده‌اند تا شاید بتوانند در دراز مدت استفاده از لامپ‌های رشته‌ای و به تبع آن درجه حرارت کره زمین را کاهش دهند. به همین دلیل استفاده از لامپ‌های کم‌مصرف، فلورسنت وغیره مرسوم شد (Bourget, 2008). دراین میان، لامپ‌های ال‌ای‌دی طیف‌های گسترده‌ای از نور را پوشش می‌دهند و اخیرا بسیار مورد توجه هستند. از مزایای این لامپ‌ها می‌توان به قابلیت کنترل دقیق طیف‌ها، بازده کوانتومی نسبی بالا، تنظیم شدت نور (Kozai *et al.*, 2015)، دوام بالا (Kim *et al.*, 2015)، مصرف بهینه انرژی و عدم تولید گرما (He *et al.*, 2019) اشاره کرد.

بررسی اثر تابش نور قرمز و آبی با نور سفید توسط دیودهای نوری بر رشد و گلدهی اطلسی[1] نشان داده است که نور آبی عملکرد سیستم فتوسنتزی را به طور قابل توجهی افزایش می دهد (Fukuda et al., 2016). همچنین، تیمارهای نوری ال‌ای‌دی میزان سطح برگ و تعداد برگ را در ژربرا[2] و میزان کلروفیل در گیاه شاهی را افزایش داده است (Pawlowska et al., 2018; Ajdanian et al., 2019). در پژوهشی دیگر که اثر طیف‌های نوری قرمز و آبی و ترکیبی، بر پاسخ‌های فتوسنتزی گیاه فلفل بررسی گردید، مشخص شد که Pn، Fv/Fm، و ویژگی‌های رشدی اندام هوایی و ریشه از جمله حجم، طول، سطح و قطر ریشه در تیمار نوری ترکیب قرمز–آبی افزایش معنی‌داری نسبت به سایر طیف‌ها نشان دادند (Li et al., 2023). همچنین، مشخص شده است که سنتز مواد آلی و ماده خشک در گیاه در طی مرحله رشد، رابطه مستقیمی با نور دریافتی و راندمان نور مصرفی دارد؛ به نحوی که با افزایش جذب نور، عملکرد و ذخیره این ترکیبات افزایش می‌یابد (Ghafari & Tadayon, 2019).

روش‌شناسی پژوهش

محل اجرای پژوهش و ویژگی اتاقک‌های نوری

عملیات اجرایی این پژوهش در بهار ۱۳۹۹ در اتاقک مجهز به سیستم طبقاتی دارای سامانه روشنایی ال‌ای‌دی واقع در گلخانه سبزی‌کاری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. اتاقک ال‌ای‌دی دارای چهار قفسه بود که به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر قرار گرفته بودند و در هر قفسه سه طبقه (محل قرار گیری گلدان‌ها) به عرض ۶۰ سانتی‌متر، طول ۹۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر قرار داشت و هر قفسه مربوط به یکی از تیمارهای نوری بود (قفسه‌ها با ورقه‌های آلومینیوم جهت جلوگیری از اثرگذاری نورهای مختلف بر یکدیگر پوشانده شده بودند). لامپ‌های ال‌ای‌دی در زیر طبقه بالایی هر سیستم به صورتی که پراکنش یکسانی از نور را به گیاه داشته باشند، نصب شدند و شدت نور آن‌ها ۷۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه تنظیم شد (UT383). برای ایجاد ترکیب نور قرمز–آبی از نسبت ۷:۳ قرمز به آبی لامپ‌های ال‌ای‌دی استفاده شد. به منظور سنجش دما و رطوبت نزدیک شاخساره گیاه، حسگرهای دمایی و رطوبتی مدل (AFTF-SD-U S+S Regeltechnik, Germany) در زیر سقف هر طبقه در نزدیکی گیاه نصب شد و بر این اساس سامانه خنک کننده روشن و خاموش می‌شد. جریان ملایمی از هوا در این سامانه به راحتی توسط پره (فن)، گردش داشت.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی در سه تکرار و ۲۵ مشاهده در هر تکرار اجرا شد. عامل اول در این تحقیق قلمه‌های انتهایی سه رقم مختلف داوودی با کدهای (C_1:440)، (C_2:542) و (C_3:567) بود که از پژوهشکده گل و گیاهان زینتی محلات تهیه شد و عامل دوم سطوح نوری L_1، L_2، L_3، L_4و L_0 بود که به ترتیب بیانگر قرمز–آبی، قرمز، آبی، سفید و شاهد (نور طبیعی) بودند. ابتدا قلمه‌های تهیه شده (به طول ۱۲ سانتی‌متر) درون گلدان‌های دارای پرلیت شکری کشت شدند و به اتاقک دارای سیستم طبقاتی مجهز به لامپ های ال‌ای‌دی انتقال یافتند. گیاهان تا زمانی که ریشه‌ها گسترش

1*Petunia*
2*Gerbera jamesonii*

یافتند (حدود ۵۰ روز) ، نگهداری شدند. آبیاری برای تمام گیاهان یکسان و با توجه به نیاز رطوبتی گلدان‌ها و حفظ دائمی رطوبت در حد ظرفیت نگهداری بستر کشت در گلدان، انجام گرفت. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده در این مدت میانگین دمای محیط ۲۸–۲۵ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای بستر ۲۷/۵ درجه‌سانتی‌گراد و میانگین رطوبت محیط ۴۲٪ بود.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک

سطح برگ توسط اسکنر معمولی مدل کانن اسکن و سپس با استفاده از نرم افزار آنالیز عکس دیجی‌مایزر[1] اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری کلروفیل، ۰/۵ گرم از برگ با استفاده از نیتروژن مایع به خوبی پودر شد و سپس، به میزان۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به آن اضافه گردید، سپس در دستگاه سانتریفیوژ (مدل 3-16K سیگما، آلمان) با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد. مقدار جذب نشانگر رنگدانه‌های کلروفیل در روشناور حاصل از سانتریفیوژ در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر[2] (مدل لامبدا ای زد ۲۰۱) قرائت گردید. در نهایت میزان کلروفیل a و b و کل، برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر نمونه به دست آمد (Arnon, 1949). جهت اندازه‌گیری آنتوسیانین‌ها به ۰/۱ گرم از نمونه مقدار ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی ۱ درصد (۹۹ میلی‌لیتر متانول + ۱ میلی‌لیتر اسید کلریدریک) افزوده شد. عصاره حاصل برای ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفت. پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس جذب محلول روشناور در دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شد و مقدار جذب به عنوان شاخص آنتوسیانین‌ها در نظر گرفته شد (Wagner, 1979).

به منظور تعیین غلظت مالون‌دی‌آلدهائید در برگ ابتدا به ۰/۵ گرم از بافت برگ پودر شده، ۵ میلی‌لیتر از محلول دارای ۲۰ درصد تری‌کلرواستیک اسید و ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید افزوده شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول روشناور به مدت ۲۵ دقیقه در بن ماری با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. در نهایت، جذب محلول روشناور در دستگاه اسپکتروفوتومتر در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد (Valentovic *et al.*, 2006; Stewart & Beweiey, 1980). به منظور تعیین غلظت پرولین به ۰/۵ گرم نمونه برگ پودر شده، ۵ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد افزوده شد و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. سپس به ۲ میلی‌لیتر از عصاره، مقدار ۲ میلی‌لیتر اسید نین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال افزوده شد و به منظور انجام واکنش به مدت ۴۵ دقیقه در حمام بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس قرائت با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر انجام شد و مقدار پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر بیان گردید (Bates *et al.*, 1973).

برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات‌های محلول، ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد به ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده اضافه گردید. در ادامه با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد مجددا استخراج عصاره بر رسوبات باقی مانده انجام شد. عصاره استخراج شده به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. سپس به ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده، ۰/۳ میلی لیتر معرف آنترون (۱۵ میلی‌گرم آنترون خالص به اضافه ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) اضافه گردید و جهت ایجاد فاز رنگی به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت. در نهایت، میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان قندهای محلول بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد (Irigoyen *et al.*, 1992).

1Digimizer
2Lambda EZ 201

اندازه‌گیری شاخص‌های کلروفیل فلورسانس

تست اجیپ با استفاده از دستگاه PAR-fluorPen FP 100-MAX در برگ‌های جوان جدید که ۲۰ دقیقه در تاریکی سازگار شده بودند انجام شد. پس از سازگاری در تاریکی، F_0 در زمان ۵۰ میلی ثانیه، شدت فلورسانس در زمان ۳ میلی ثانیه (مرحله J)، در زمان ۳۰ میلی ثانیه (مرحله I) و در زمان ۳۰۰ میلی ثانیه (مرحله P) اندازه‌گیری شد. در نهایت محاسبات با استفاده از نرم افزار PAR-Fluorpen نسخه۱ انجام پذیرفت (Strasser *et al.*, 2000).

آنالیز آماری

ارزیابی داده‌ها برای تیمارهای اجرا شده به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با سه تکرار، انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹,۴ و مقایسه میانگین اثرات متقابل با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال خطای ۵ درصد انجام شد و نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

یافته‌های پژوهش

کلروفیل برگ

نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل رقم و نور بر کلروفیل a، b و کل در سطح ۱درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسات میانگین نشان داد که حداکثر مقدار کلروفیل a مربوط به رقم ۴۴۰ تحت تیمار نوری قرمز–آبی بود که تفاوت چشم‌گیری بین آن با رقم ۵۶۷ در همان نور و رقم ۴۴۰ در نور سفید مشاهده نشد. حداقل مقدار این رنگدانه نیز متعلق به رقم ۵۴۲ در نور قرمز بود (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کلروفیل b مربوط به ارقام ۴۴۰ و ۵۶۷ در نور سفید بود که تفاوت چندانی با رقم ۴۴۰ در نور قرمز–آبی مشاهده نشد و کم‌ترین مقدار آن را رقم ۵۴۲ در نور قرمز دارا بود (جدول ۳). حداکثر مقدار کلروفیل کل مربوط به رقم ۴۴۰ در نور قرمز–آبی بود که تفاوت چندانی با همان رقم در نور سفید مشاهده نشد. هم‌چنین، حداقل مقدار این صفت را رقم ۵۴۲ در نور قرمز دارا بود که تفاوت زیادی با تیمار همان رقم در نور آبی نداشت (جدول ۳).

آنتوسیانین‌های برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل تیمارهای نور و رقم بر میزان آنتوسیانین‌های برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بررسی نتایج مقایسات میانگین نشان داد که حداکثر میزان آنتوسیانین‌های برگ در رقم ۴۴۰ در نور قرمز و حداقل مقدار آن در رقم ۵۴۲ در نور سفید مشاهده شد (جدول ۳). بین ارقام داوودی شاهد تفاوت معنی‌داری برای آنتوسیانین‌های برگ وجود نداشت (جدول ۲). طبق جدول نور قرمز سبب افزایش میزان آنتوسیانین‌ها شد و این تفاوت در سطح ۱درصد معنی‌دار گردید.

مالون‌دی‌آلدهائید

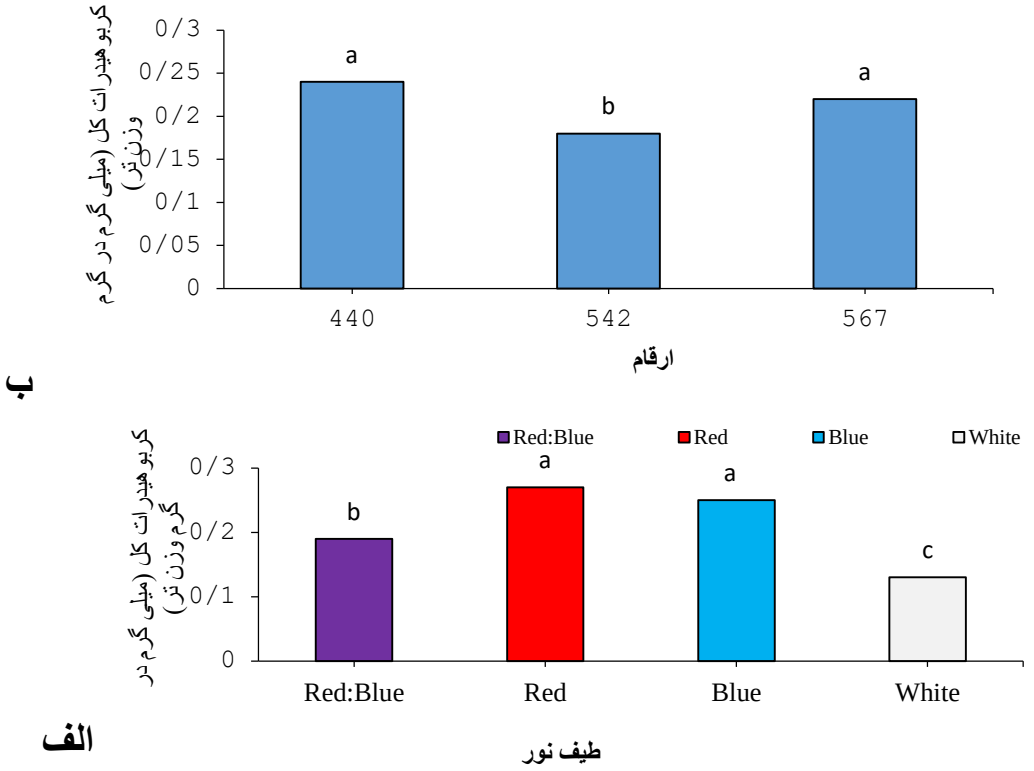
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل تیمارها بر میزان مالون‌دی‌آلدهائید در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین مقدار مالون‌دی‌آلدهائید در دو رقم ۵۴۲ و ۵۶۷ در نور آبی و کم‌ترین مقدار آن در رقم ۵۴۲ در نور سفید مشاهده شد (جدول ۳).

میزان پرولین

اثر متقابل نور و رقم بر میزان پرولین در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بیش‌ترین مقدار پرولین را رقم ۵۴۲ در نور آبی و کم‌ترین مقدار آن را رقم ۴۴۰ در نور سفید داشت و تفاوت چندانی بین آن با رقم ۵۶۷ در نور سفید نبود (جدول ۳).

کربوهیدرات‌های محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده نور و رقم بر میزان کربوهیدرات‌های کل در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل تیمارها بر این شاخص معنی‌دار نشد (جدول ۱). حداکثر مقدار کربوهیدرات کل مربوط به نور قرمز وآبی بدون تفاوت معنی‌دار بود و کم‌ترین مقدار آن در نور سفید مشاهده شد .در میان ارقام، بیش‌ترین و کمترین مقدار این صفت به ترتیب در ارقام ۴۴۰ و ۵۴۲ مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر ساده طیف‌های متفاوت نور (الف) و رقم (ب) بر کربوهیدرات کل در گیاه داوودی. (منبع: یافته های تحقیق)

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم (F_v/F_m) و شاخص عملکرد[1]

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل تیمارهای نور و رقم بر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم در سطح ۱ درصد و برای شاخص عملکرد در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). حداکثر مقدار عملکرد کوانتومی مربوط به رقم ۴۴۰ در نور آبی بود و حداقل مقدار آن در رقم ۵۴۲ در نور قرمز رویت شد (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار شاخص عملکرد مربوط به نور قرمز بوده و کم‌ترین مقدار این صفت مربوط به نور سفید بود و بین طیف نوری آبی و ترکیبی تفاوت چندانی مشاهده نشد (جدول ۳). در آزمایش حاضر بیش‌ترین مقدار شاخص عملکرد در تیمار نور قرمز دیده شد که تفاوت چندانی با تیمار آبی و تیمار قرمز–آبی نداشت و کم‌ترین در تیمار نور سفید مشاهده شد.

1PIabs

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر نور و رقم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه داوودی.

		میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	آنتوسیانین	مالون-دی-آلدهائید	پرولین	کربوهیدرات محلول	Fv/Fm	شاخص عملکرد
نور	۳	۰/۰۹**	۰/۱۸**	۰/۱۶**	۴/۶۱**	۰/۱۹**	۱۴۷۲۱/۴۶**	۰/۰۳**	۰/۱۰**	۰/۴۵*
رقم	۲	۰/۳۰**	۰/۶۷**	۰/۶۶**	۱۲/۹۳**	۰/۱۳**	۳۱۳۵/۶۸**	۰/۰۱**	۰/۰۴*	۰/۰۸^{ns}
نور×رقم	۶	۰/۰۱**	۰/۰۳**	۰/۰۱**	۱/۸۳**	۰/۰۴*	۵۹۷/۶۵**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۵**	۰/۴۸*
خطا	۲۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۱۲	۰/۰۱	۱۸/۱۹	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۱۴
C.V. %	–	۸/۶۲	۱۰/۰۸	۶/۳۳	۹/۴۹	۶/۶۴	۵/۳۷	۹/۸۲	۱/۲۵	۱۷/۱۹

*، ** و ns: به ترتیب معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف معنادار. (منبع: یافته های تحقیق)

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر نور و رقم بر ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه داوودی.

		میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ	تعداد برگ	طول ساقه	وزن تر شاخه	وزن خشک شاخه	تعداد ریشه	طول ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
نور	۲	۸۸۱/۴۰**	۱۸/۹۹**	۱۴/۳۷**	۵/۹۶**	۲/۳**	۴۷/۱۸**	۱۲۷۹/۹۳**	۰/۴۵**	۰/۶۴**
رقم	۳	۴۱/۳۶**	۱۷/۴۴**	۰/۸۷^{ns}	۰/۵۰**	۰/۵۱**	۴۷/۱۹**	۴۲۴۱/۴۹**	۴/۱**	۵/۱**
نور×رقم	۶	۱۳/۲۹*	۴/۴۰**	۲/۹۲^{ns}	۰/۸۱**	۰/۰۸**	۱۵/۱۵**	۱۸۸/۹۰**	۰/۲۲**	۰/۴۱**
خطا	۲۴	۳/۸۲	۰/۴۱	۱/۸۷	۰/۰۷	۰/۰۰۹	۰/۳۶	۱۱/۵۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸
C.V. %	–	۶/۲۵	۹/۴۰	۸/۲۹	۱۱/۱۵	۶/۹۷	۹/۸۳	۱۲/۴۰	۷/۴۴	۱۱/۵۵

*، ** و ns: به ترتیب معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف معنادار. (منبع: یافته های تحقیق)

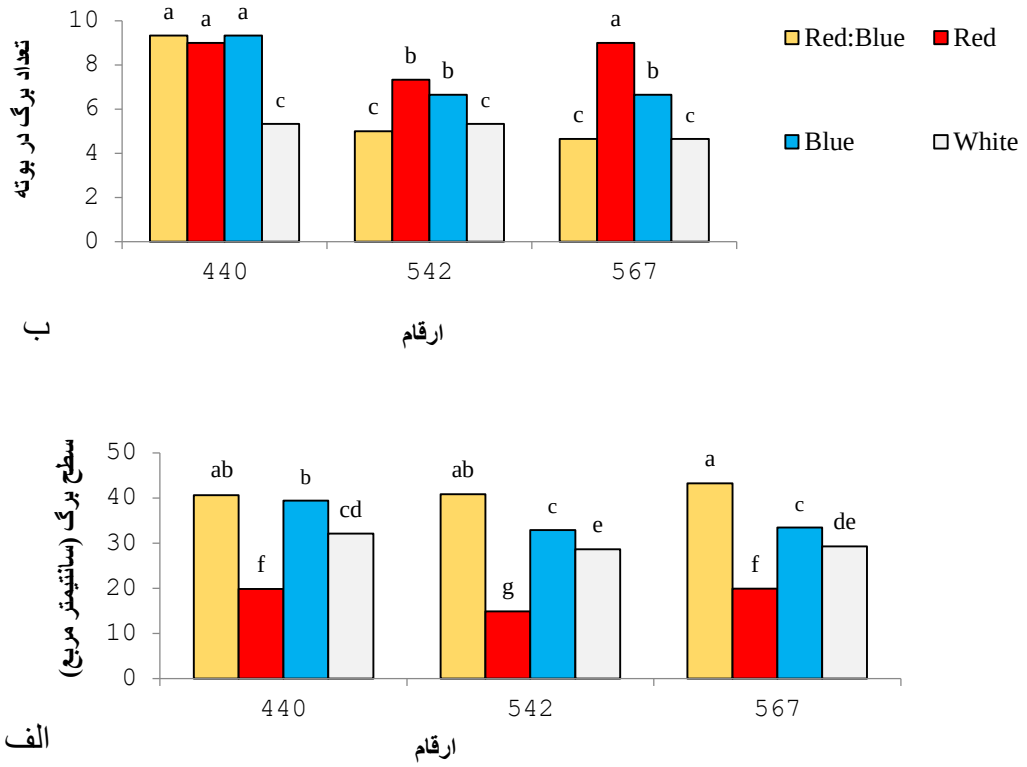
جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و طیف‌های نوری مختلف بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه داوودی.

تیمار	سطح برگ (سانتی-مترمربع/بوته)	کلروفیل a (میلی-گرم/گرم وزن تازه)	کلروفیل b (میلی-گرم/گرم وزن تازه)	کلروفیل کل (میلی-گرم/گرم وزن تازه)	آنتوسیانین‌ها (میکرومول/گرم وزن تازه)	مالون‌دی-آلدهائید (میکرومول/گرم وزن خشک)	پرولین (میکرومول/گرم وزن تازه)	Fv/Fm	شاخص عملکرد
L_1C_1	۴۰/۶۲ab	۰/۶۳a	۰/۲۸a	۰/۹۲a	۴/۷۵b	۱/۴۵d	۵۵/۲۸f	۰/۷۹۷ac	۲/۲۴bd
L_1C_2	۴۰/۸۲ab	۰/۲۴ef	۰/۱۰e	۰/۳۴f	۳/۱۶fg	۱/۸۲ab	۷۴/۱۸d	۰/۷۹۱bc	۲/۰۵cd
L_1C_3	۴۳/۲۷a	۰/۶۲a	۰/۱۸c	۰/۸۰b	۳/۹۵cd	۱/۸۶a	۵۹/۶۲ef	۰/۸۰۰ac	۲/۲۹ad
L_2C_1	۱۹/۸۷f	۰/۳۵c	۰/۱۶cd	۰/۵۲d	۶/۹۳a	۱/۶۶bc	۶۵/۸۲e	۰/۸۰۲ac	۲/۹۱a
L_2C_2	۱۴/۹۲g	۰/۱۴h	۰/۰۶f	۰/۲۱g	۲/۷۳gh	۱/۷۶ab	۹۵/۱۷c	۰/۷۵۱d	۲/۸۶ab
L_2C_3	۱۹/۹۲f	۰/۲۹de	۰/۱۴d	۰/۴۳e	۴/۳۴bc	۱/۸۰ab	۷۸/۱۲d	۰/۷۸۵c	۱/۷۶d
L_3C_1	۳۹/۴۷b	۰/۴۴b	۰/۲۱b	۰/۶۶c	۳/۹۱ce	۱/۷۷ab	۹۵/۳۳c	۰/۸۰۹a	۲/۰۳cd
L_3C_2	۳۲/۹۴c	۰/۱۷gh	۰/۰۹ef	۰/۲۶g	۲/۵۵h	۱/۸۹a	۱۶۵/۷۵a	۰/۸۰۴ab	۲/۰۳cd
L_3C_3	۳۳/۴۷c	۰/۳۳cd	۰/۱۶cd	۰/۴۹d	۳/۷۰df	۱/۸۹a	۱۴۳/۶۳b	۰/۸۰۴ab	۲/۴۴ac
L_4C_1	۳۲/۱۵cd	۰/۵۹a	۰/۲۹a	۰/۸۸a	۳/۳۳eg	۱/۴۹cd	۳۵/۵۷h	۰/۷۹۱bc	۱/۸۲cd
L_4C_2	۲۸/۶۴e	۰/۲۱fg	۰/۱۱e	۰/۳۲f	۲/۲۱h	۱/۳۵d	۴۶/۱۸g	۰/۸۰۶ab	۲/۱۲cd
L_4C_3	۲۹/۳۰de	۰/۳۷c	۰/۲۹a	۰/۶۶c	۳/۵۳df	۱/۶۶bc	۳۸/۰۳h	۰/۷۹۸ac	۱/۹۷cd

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. L_1 : طیف قرمز-آبی، L_2: قرمز، L_3: آبی و L_4 : سفید را نشان می‌دهد. C1: رقم ۴۴۰، C_2 : رقم ۵۴۲ و C_3 : رقم ۵۶۷ را نشان می‌دهد. (منبع: یافته های تحقیق)

سطح و تعداد برگ

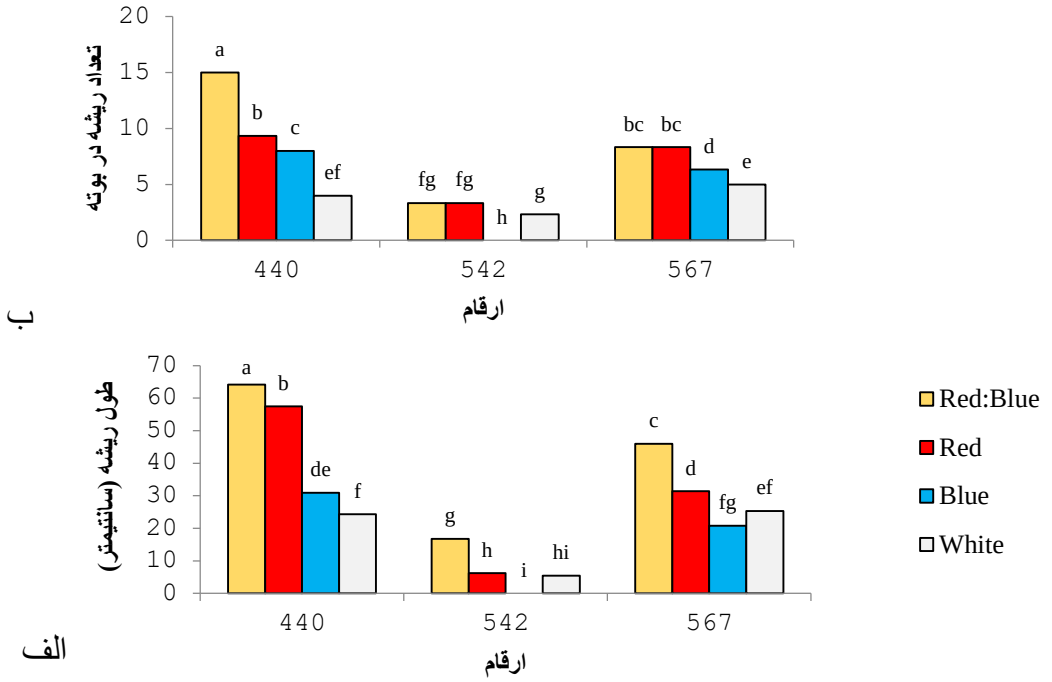
نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر رقم و نور، بر سطح برگ در سطح ۵درصد و تعداد برگ در سطح ۱درصد بود (جدول ۲). اثر متقابل نور و رقم بر سطح برگ نشان داد (شکل ۲-الف) که بیش‌ترین سطح برگ مربوط به رقم ۵۶۷ تحت تیمار نور قرمز-آبی و کم‌ترین سطح برگ مربوط به رقم ۵۴۲ تحت تیمار نور قرمز بود. مقایسه میانگین تعداد برگ نیز نشان داد که رقم ۴۴۰ تحت نور قرمز-آبی و آبی حداکثر تعداد برگ را دارا بود که تفاوت چندانی با رقم‌های ۴۴۰ و ۵۶۷ تحت نور قرمز وجود نداشت. حداقل تعداد برگ مربوط به رقم ۵۶۷ تحت اثر نور سفید و قرمز-آبی بود (شکل ۲-ب).



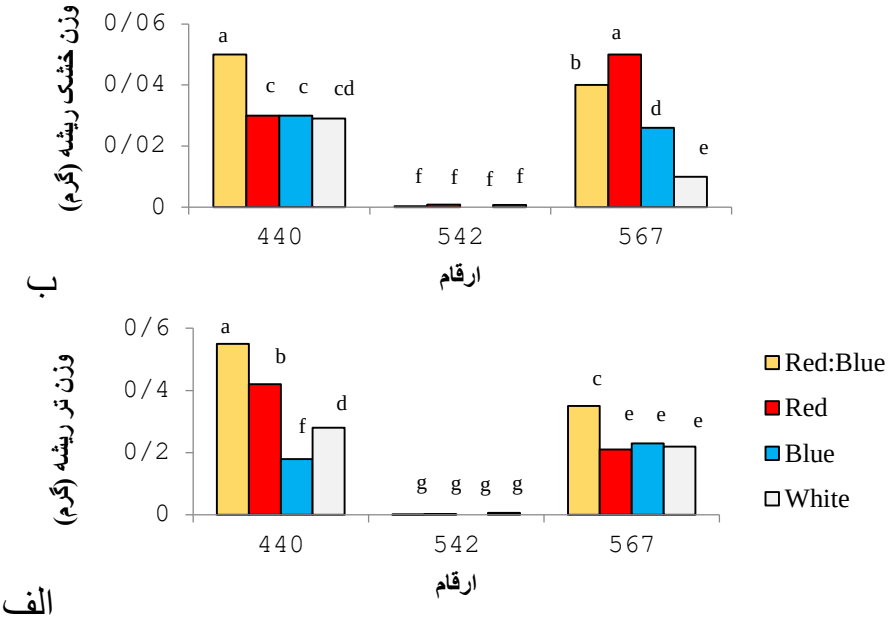
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل نور و رقم برسطح برگ (الف) و تعداد برگ (ب) در گیاه داوودی در اتاقک رشد. (منبع: یافته های تحقیق)

ویژگی‌های ریشه

تعداد ریشه، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه تحت تاثیر نور و رقم در سطح معنی‌دار ۱درصد قرار گرفتند (جدول ۲). بیش‌ترین طول ریشه با توجه به شکل۳-الف، مربوط به رقم ۴۴۰ تحت تیمار نوری قرمز-آبی و کم‌ترین میزان طول ریشه متعلق به رقم ۵۴۲ تحت تیمار نور سفید بود لازم به ذکر است که رقم ۵۴۲ تحت تیمار نور آبی هیچ ریشه ای تولید نکرد. آنچه از شکل۳-ب برداشت می‌شود این است که حداکثر تعداد ریشه مربوط به رقم ۴۴۰ تحت تیمار نوری قرمز-آبی بوده و حداقل تعداد آن مربوط به رقم ۵۴۲ تحت تیمار نور آبی بود که هیچ ریشه‌ای در آن تولید نشده و بعد از آن مربوط به رقم ۵۴۲ تحت تیمار نور سفید بود. حداکثر وزن تر ریشه را رقم ۴۴۰ تحت نور قرمز-آبی و حداقل آن را رقم ۵۴۲ تحت نور آبی داشت که رقم اخیر فاقد ریشه بود و تفاوت معناداری بین آن با همان رقم تحت تیمار سایر نورها وجود نداشت (شکل ۴-الف). بیش‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به رقم ۴۴۰ در نور قرمز-آبی بود که تفاوت معنی‌داری بین آن با رقم ۵۶۷ در نور قرمز وجود نداشت و کم‌ترین مقدار این صفت مربوط به رقم ۵۴۲ در نور آبی بوده که تفاوت چندانی بین آن با همان رقم تحت تیمار سایر نورها وجود نداشت (شکل ۴-ب).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل نور و رقم بر طول ریشه (الف) و تعداد ریشه (ب) در گیاه داوودی در اتاقک رشد. (منبع: یافته های تحقیق)

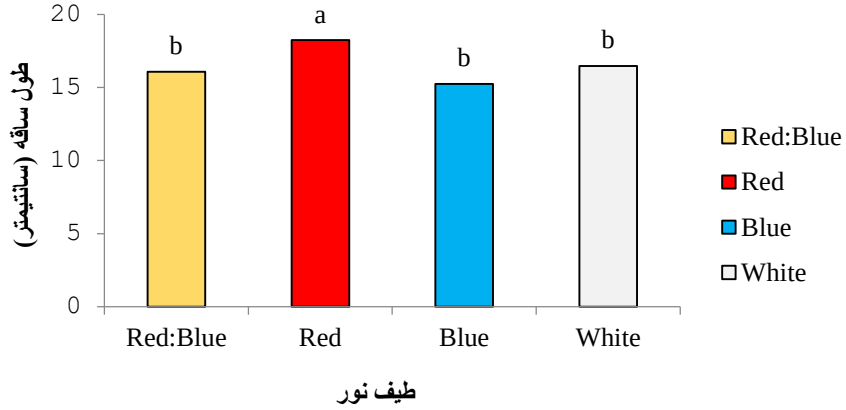


شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل نور و رقم بر وزن تر ریشه (الف) و وزن خشک ریشه (ب) در گیاه داوودی در اتاقک رشد. (منبع: یافته های تحقیق)

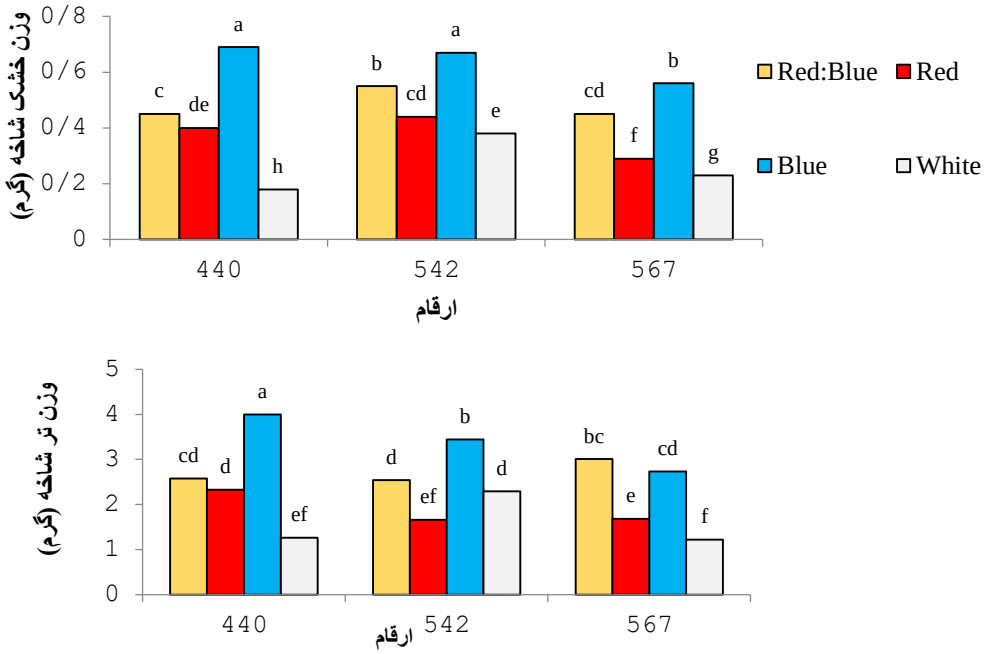
طول ساقه، وزن تر و خشک شاخه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل رقم و طیف‌های نوری بر طول ساقه معنی‌دار نبود و تنها اثر نور بر این ویژگی در سطح ۱درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج بیش‌ترین طول ساقه در تمامی ارقام تحت نور قرمز مشاهده شد و این صفت در بین سایر طیف‌های نوری، تفاوت چندانی نداشت (شکل ۵). بر اساس جدول ۲، اثر متقابل تیمار نوری و رقم بر وزن تر و خشک شاخه در سطح ۱درصد معنی‌دار بود. حداکثر وزن تر شاخه مربوط به رقم ۴۴۰ تحت تیمار نور آبی و حداقل مقدار

آن مربوط به رقم ۵۶۷ تحت تیمار نور سفید بود (شکل ۶-الف). حداکثر وزن خشک شاخه مربوط به رقم ۴۴۰ در نور آبی بود که تفاوت معناداری بین آن با رقم ۵۴۲ در همان نور وجود نداشت و حداقل مقدار این صفت را همان رقم ۴۴۰ در نور سفید داشت (شکل ۶-ب).



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر ساده طیف‌های متفاوت نور بر طول ساقه در گیاه داوودی. (منبع: یافته های تحقیق)



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل نور و رقم بر وزن تر شاخه (الف) و وزن خشک شاخه (ب) در گیاه داوودی در اتاقک رشد. (منبع: یافته های تحقیق)

بحث

در این پژوهش بیش‌ترین سطح برگ در نور قرمز-آبی (۳:۷ ، قرمز : آبی) و کم‌ترین در نور قرمز مشاهده شد که با نتایج بدست آمده در سه گیاه داوودی، رز و استکانی مطابقت دارد (Ouzounis *et al.*, 2014). در پژوهشی دیگر روی چند رقم داوودی نشان داده شد که نور قرمز به طور چشم‌گیری سطح برگ را کاهش داده است و از طرفی نوع رقم نیز بر این ویژگی اثر گذار بود (Zheng & Van Labeke, 2017). برگ اولین اندام فتوسنتز کننده در گیاه است که شکل و میزان مساحت آن

کاملا به مرحله تکامل و شرایط محیطی بستگی دارد. به نظر می‌رسد که کاهش سطح برگ تحت اثر نور قرمز با عارضه خم شدن برگ‌ها به پشت به دلیل تغییر در تعادل اکسین در گیاه تحت عنوان عارضه سندروم قرمز است که این قسمت توسط دستگاه به دلیل خم شدن برگ اندازه‌گیری نمی‌شود (Ouzounis *et al.*, 2014). گزارش شده است که افزایش رشد گیاه و طول ساقه تحت تیمار نوری قرمز و آبی ناشی از افزایش طول میانگره با غیرفعالسازی فیتوکروم بی و سپس افزایش سطح جیبرلین درونی است که منجر به افزایش رشد طولی سلول‌ها خواهد شد (Xiao *et al.*, 2022).

اثر طیف‌های مختلف بر مقدار رنگیزه‌ها از جمله کلروفیل و آنتوسیانین در بین ارقام معنی‌دار بود. کلروفیل‌ها رنگدانه‌های بیولوژیکی مهمی هستند که برای تبدیل فتوسنتزی مولکول‌های غیر آلی یا یون‌ها به مولکول‌های زیستی آلی مورد استفاده قرار می‌گیرند و با جذب طول موج‌های خاص نور می‌توانند مسیر فتوسنتز را در کلروپلاست هدایت کنند (Lin *et al.*, 2018). انرژی نوری که توسط مولکول‌های کلروفیل جذب می‌شود می‌تواند یا برای هدایت فتوسنتز مورد استفاده قرار گیرد، یا به گرما (خاموش شدن غیر شیمیایی) تبدیل شود و یا دوباره به عنوان فلورسانس نور کلروفیل منتشر شود. کاهش غلظت کلروفیل می‌تواند آسیب ناشی از تابش بیش از حد به رنگدانه‌ها را نشان دهد (Shao *et al.*, 2014). این نتایج با پژوهش روی گیاه کاکپوتکا آکومیناتا هم‌خوانی نداشت (Yu *et al.*, 2017) اما، با نتایج بررسی اثر طیف‌های نوری روی ژربرا که بیش‌ترین مقدار کلروفیل a در نور قرمز–آبی با نسبت ۷ به ۳ قرمز به آبی مشاهده شد (Pawlowska *et al.*, 2018) مطابقت داشت. آنتوسیانین‌ها گروهی از رنگدانه‌ها هستند که قادرند در پاسخ به محرک‌های نوری تولید و تجمع یابند (Ajdanian *et al.*, 2019). ثابت شده است که آنتوسیانین‌ها می‌توانند به عنوان فیلترهای نوری عمل کنند و از اجزای فتوسنتزی در برابر تنش‌های نوری محافظت کنند، در واقع آن‌ها در شرایط تنش، خود به عنوان یک سد دفاعی عمل کرده و در برخی مواقع تخریب شده تا از آسیب دیدن سایر اجزا جلوگیری به عمل آورند (Landi *et al.*, 2015). نتایج پژوهش با نتایج ارائه شده در برگ‌های ریحان سبز که بیش‌ترین میزان آنتوسیانین در تیمار قرمز و در ریحان بنفش در طیف نوری قرمز–آبی مشاهده گردید مطابقت داشت (Hosseini *et al.*, 2019).

در تنش نوری (اکسیداتیو) گونه‌های فعال اکسیژن درون کلروپلاست‌ها تولید می‌شوند که منجر به پراکسیداسیون لیپیدها و سپس آسیب به غشاها می‌شوند و مقادیر بالای مالون‌دی‌آلدهید این مسئله را بازتاب می‌کند (Yu *et al.*, 2017). مالون دی‌آلدهائید یک محصول تجزیه هیدروکسیدهای اسیدهای چرب اشباع نشده است و یک نشانگر زیست محیطی مناسب برای پراکسیداسیون لیپیدها بوده که از آسیب اکسیداتیو ناشی می‌شود. در تابش ۷۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه در گیاه بنفشه آفریقایی میزان تولید مالون‌دی‌آلدهید نسبت به تابش ۳۵ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه در سطح کم‌تری قرار داشت و مشابه تابش ۱۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود (Dewir *et al.*, 2015). این موضوع نشان می‌دهد که شدت تابش استفاده شده در پژوهش حاضر در محدوده بهینه‌ای قرار داشته است و احتمالا گیاه با شدت تابش بیش‌تر از آن با شرایط آسیب و تخریب بیش‌تری مواجه می‌شود. پرولین ترکیب دیگری است که اثرات تخریبی و مهار کننده گونه‌های فعال اکسیژن را خنثی می‌کند و متابولیسم آن رابطه نزدیکی با گونه‌های فعال اکسیژن دارد و در واقع یک ترکیب مهم مرتبط در تحمل تنش گیاه می‌باشد، به‌طوری‌که پرولین آزاد در پاسخ به طیف وسیعی از تنش‌های زیستی و محیطی تجمع می‌یابد (Rejeb *et al.*, 2014). مطابق با این نتایج، پژوهش انجام شده روی داوودی نشان داد که بیش‌ترین میزان پرولین در تیمار نور آبی تولید شد. نوع رقم به شدت بر میزان تولید پرولین اثرگذار است و گاهی ارقام مقاوم، پرولین بیشتری نسبت به ارقام حساس تولید می‌کنند، زیرا آن‌ها از طریق تجمع پرولین و تنظیم اسمزی مقاومت خود را افزایش می‌دهند (Zheng *et al.*, 2017). همچنین، پرولین به عنوان یک منبع نیتروژن و کربن عمل کرده و تحمل گیاهان را در برابر تنش افزایش می‌دهد (Amini *et al.*, 2015).

---

1. Camptotheca acuminata

2Reactive Oxygen Species, ROS

نتایج مقایسه میانگین شرایط درون اتاقک و گلخانه نشان دهنده این است که مقدار کربوهیدرات کل در شرایط اتاقک بیش از شرایط گلخانه بوده و این تفاوت در سطح یک درصد معنی‌دار گردید که با نتایج پژوهش بررسی تیمار نور قرمز روی اجزای شبه پروتوکورم در گل ارکیده مطابقت داشت (Mengxi *et al.*, 2011[1]). این امر نشان می‌دهد که عملکرد فتوسیستم II نقش مهمی در تولید کربوهیدرات دارد. همچنین نشان داده شد که افزایش تولید کربوهیدرات سبب کاهش شیب تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (Bayat *et al.*, 2018). شاخص F_v/F_m حداکثر بازده کوانتومی در فتوسیستم II است که از اختلاف فلورسنس حداکثر و فلورسنس حداقل بر فلورسنس حداکثر حاصل می‌شود. در شرایط معمولی و فاقد هرگونه تنش این نسبت معمولا ثابت است (Strasser *et al.*, 2000). عدم وجود نور آبی به میزان کافی سبب اختلال عملکرد در فتوسیستم II از طریق کاهش نسبت F_v/F_m می‌شود. در واقع ثابت شده است که تکمیل نور آبی به نور قرمز سبب بهبود صفات روزنه شده و از آسیب دیدن دستگاه فتوسنتزی، به ویژه فتوسیستم II جلوگیری می‌کند (Hogewoning *et al.*, 2010).

در آزمایش حاضر بیش‌ترین مقدار شاخص عملکرد در تیمار نور قرمز دیده شد که تفاوت چندانی با تیمار آبی و تیمار قرمز–آبی نداشت و کم‌ترین در تیمار نور سفید مشاهده شد که این امر با نتایج حاصل از پژوهش روی گیاه رز (Bayat *et al.*, 2018) مطابقت داشت ولی با پژوهش انجام شده روی گونه‌ای سیکلوکاریا همخوانی نداشت (Liu *et al.*[2], 2018). در پژوهش‌های انجام شده روی گل همیشه بهار و داوودی، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار عملکرد کوانتومی به ترتیب در نور قرمز و آبی به دست آمد (Aliniaeifard *et al.*, 2018; Zheng & Van Labeke, 2017) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. شاخص عملکرد تبادل انرژی بین فوتون‌های جذب شده به وسیله فتوسیستم II و احیای الکترونی گیرنده‌های بین سیستمی و گیرنده‌های پایانی فتوسیستم I را نشان می‌دهد (Kalaji *et al.*, 2012). در واقع میزان شاخص عملکرد انرژی نوری جذب شده است که فرآیند انتقال انرژی را از مرحله جذب تا مرحله احیای پلاستوکوئینون نشان داده و سه مرحله جذب انرژی نورانی، به دام انداختن انرژی نورانی و تبدیل انرژی تحریک شده به الکترون یا انتقال الکترون را بررسی می‌کند (Strasser *et al.*, 2000). در نتیجه بالا بودن مقدار آن عملکرد کوانتومی و انرژی انتقال الکترون را افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی در این تحقیق نشان داد که طیف‌های نوری سفید و ترکیبی قرمز–آبی پاسخ بهتری در صفت رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل‌های a، b و کل)داشتند. همچنین در بین نورهای ال‌ای‌دی استفاده شده نورهای قرمز–آبی و نور تک رنگ آبی در شرایط اتاقک، از نظر ویژگی‌های فتوسنتزی بهترین تیمار شناخته شدند و کارایی فتوسنتز بهتری داشتند. نور آبی موجب افزایش پرولین و مالون‌دی‌آلدهائید و نور قرمز موجب افزایش میزان آنتوسیانین‌ها و کربوهیدرات محلول گردید. همچنین، در اکثر ویژگی‌های رشدی و مورفولوژیکی مورد بررسی نیز، تیمار ترکیبی قرمز–آبی نتایج بهتری را به خود اختصاص دادند.

REFERENCES

غفاری، ح. و تدین، م. (۱۳۹۷). اثر محلول پاشی جاسمونیک اسید بر کارایی مصرف نور و تجمع ماده خشک چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) تحت شرایط کم آبی. *تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)*، ۴۱(۴)، ۱۲۴–۱۱۱.

Ajdanian, L., Babaei, M. & Aroiee, H. (2019). The growth and development of cress (*Lepidium sativum*) affected by blue and red light. *Heliyon*, 5(7). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02109.

Aliniaeifard, S., Seif, M., Arab, M., Zare Mehrjerdi, M., Li, T. & Lastochkina, O. (2018). Growth

1 *Oncidium* Protocorm-like bodies (PLBs)
2 *Cyclocarya paliurus*
3 Performance Index (PIabs)
4 Electron transfer (ET)
5 Electron transport energy (ET0/RC)

and photosynthetic performance of *Calendula officinalis* under monochromatic red light. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 5(1), 123-132.

Amini, S., Ghobadi, C. & Yamchi, A. (2015). Proline accumulation and osmotic stress: an overview of P5CS gene in plants. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 3(2), 44-55.

Anderson, N. O. (2007). Prevention of invasiveness in floricultural crops. In Anderson, N.O. (eds) *Flower breeding and genetics*. *Springer, Dordrecht.* https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4428-1_6

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1.

Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.

Bayat, L., Arab, M., Aliniaeifard, S., Seif, M., Lastochkina, O. & Li, T. (2018). Effects of growth under different light spectra on the subsequent high light tolerance in rose plants. *AoB Plants*, 10(5), ply052.

Bourget, C. M. (2008). An introduction to light-emitting diodes. *Scientia Horticulturae*, 43(7), 1944-1946.

Carvalho, S. D., Schwieterman, M. L., Abrahan, C. E., Colquhoun, T. A. & Folta, K. M. (2016). Light quality dependent changes in morphology, antioxidant capacity, and volatile production in sweet basil (*Ocimum basilicum). Frontiers in Plant Science*, 7, 1328.

Colquhoun, T. A., Schwieterman, M. L., Gilbert, J. L., Jaworski, E. A., Langer, K. M., Jones, C. R. & Folta, K. M. (2013). Light modulation of volatile organic compounds from petunia flowers and select fruits. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 37-44.

Dewir, Y. H., El-Mahrouk, M. E. S., Al-Shmgani, H. S., Rihan, H. Z., Teixeira da Silva, J. A. & Fuller, M. P. (2015). Photosynthetic and biochemical characterization of in vitro-derived African violet (*Saintpaulia ionantha* H. Wendl) plants to ex vitro conditions. *Journal of Plant Interactions*, 10(1), 101-108.

Dierck, R., Dhooghe, E., Van Huylenbroeck, J., Van Der Straeten, D. & De Keyser, E. (2017). Light quality regulates plant architecture in different genotypes of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Scientia Horticulturae*, 218, 177-186.

Fukuda, N., Ajima, C., Yukawa, T. & Olsen, J. E. (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. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 102-111.

Ghafari, H., & Tadayon, M. R. (2019). Impact of jasmonic acid on radiation use efficiency and dry biomasses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under water deficit conditions. *Plant Productions*, 41(4), 11-124. (In Persian)

Gupta, S. D. & Dutta Agarwal, A. (2017). Light Emitting Diodes for Agriculture. *Springer: Singapore*, 75 (12), 245-263.

He, D., Kozai, T., Niu, G., Zhang, X. (2019). Light-Emitting Diodes for Horticulture. In Li, J., Zhang, G.Q. (eds) Light-Emitting Diodes. Solid State Lighting Technology and Application Series, vol 4. *Springer, Cham*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99211-2_14

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.

Hosseini, A., Mehrjerdi, M. Z., Aliniaeifard, S. & Seif, M. (2019). Photosynthetic and growth responses of green and purple basil plants under different spectral compositions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(3), 741-752.

Irigoyen, J. J., Einerich, D. W. & Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1), 55-60.

Jeong, S. W., Hogewoning, S. W. & van Ieperen, W. (2014). Responses of supplemental blue light

on flowering and stem extension growth of cut chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 165, 69-74.

Kalaji, H. M., Carpentier, R., Allakhverdiev, S. I. & Bosa, K. (2012). Fluorescence parameters as early indicators of light stress in barley. *Journal of Photo Chemistry and Photobiology B: Biology*, 112, 1-6.

Kilic, S., Karatas, A., Cavusoglu, K., Unlu, H., Unlu, H. O. & Padem, H. (2010). Effects of different light treatments on the stomata movements of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Joker) seedlings. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(1), 131-135.

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.

Kozai, T. (2016). Why LED lighting for urban agriculture? In: Kozai, T., Fujiwara, K., Runkle, E.S. (eds) *LED lighting for urban agriculture. Springer, Singapore.* 3-18.

Kozai, T. D., Catt, K., Du, Z., Na, K., Srivannavit, O., Razi-ul, M. H. & Cui, X. T. (2015). Chronic in vivo evaluation of PEDOT/CNT for stable neural recordings. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 63(1), 111-119.

Landi, M., Tattini, M. & Gould, K. S. (2015). Multiple functional roles of anthocyanins in plant-environment interactions. *Environmental and Experimental Botany*, 119, 4-17.

Li, Y., Xin, G., Shi, Q., Yang, F. & Wei, M. (2023). Response of photomorphogenesis and photosynthetic properties of sweet pepper seedlings exposed to mixed red and blue light. *Frontiers in Plant Science,* 13,984051. doi: 10.3389/fpls.2022.984051.

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

Lin, K., Huang, Z. & Xu, Y. (2018). Influence of light quality and intensity on biomass and biochemical contents of hydroponically grown lettuce. *HortScience,* 53(8), 1157-1163.

Mengxi, L., Zhigang, X., Yang, Y. & Yijie, F. (2011). Effects of different spectral lights on *Oncidium* PLBs induction, proliferation, and plant regeneration. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC),* 106(1), 1-10.

Ouzounis, T., Fretté, X., Rosenqvist, E. & Ottosen, C. O. (2014). Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. *Journal of Plant Physiology*, 171(16), 1491-1499.

Pawłowska, B., Żupnik, M., Szewczyk-Taranek, B. & Cioc, M. (2018). Impact of LED light sources on morphogenesis and levels of photosynthetic pigments in *Gerbera jamesonii* grown in vitro. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 59(1), 115-123.

Riikonen, J., Kettunen, N., Gritsevich, M., Hakala, T., Sarkka, L. & Tahvonen, R. (2016). Growth and development of Norway spruce and Scots pine seedlings under different light spectra. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 112-120.

Shao, Q., Wang, H., Guo, H., Zhou, A., Huang, Y., Sun, Y. & Li, M. (2014). Effects of shade treatments on photosynthetic characteristics, chloroplast ultrastructure, and physiology of *Anoectochilus roxburghii*. *PloS one,* 9(2), e85996.

Stewart, R. R. & Bewley, J. D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, 65(2), 245-248.

Strasser, R. J., Srivastava, A. & Tsimilli-Michael, M. (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation*, 445-483.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L. & Gasparikova, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment*, 52(4), 186-191.

Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64(1), 88-93.

Xiao, L., Shibuya, T., Kato, K., Nishiyama, M. & Kanayama, Y. (2022). Effects of light quality on plant development and fruit metabolism and their regulation by plant growth regulators in tomato. *Scientia Horticulturae*, 300, 111076. doi: 10.1016/ 2022.111076

Yu, W., Liu, Y., Song, L., Jacobs, D. F., Du, X., Ying, Y. & Wu, J. (2017). Effect of differential light quality on morphology, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity in *Camptotheca acuminata* seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(1), 148-160.

Zheng, L. & Van Labeke, M. C. (2017). Chrysanthemum morphology, photosynthetic efficiency and antioxidant capacity are differentially modified by light quality. *Journal of Plant Physiology*, 213, 66-7.