

Improving the Growth and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Cv. 240) under the Cover of Supplementary Light and Dissolved Phosphorus and Calcium

L. Ajdanian¹, H. Arouei^{ID 1*}, M. Azizi^{ID 1}

1- Department of Horticulture and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: aroiee@um.ac.ir)

Received: 06 January 2021

Revised: 15 April 2021

Accepted: 05 February 2022

Available Online: 05 February 2022

How to cite this article:

Ajdanian, L., Arouei, H., & Azizi, M. (2026). Improving the growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Cv. 240) under the cover of supplementary light and dissolve phosphorus and calcium. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 251-262. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.60433.0>

Introduction

As an artificial light source, LED bulbs can help to grow better and faster greenhouse products. Meanwhile, blue and red light are important for plant growth. The quality of light in terms of color and wavelength can affect the morphological structure of the plants. Therefore, the use of additional lights in winter, when light exposure is less than normal, can improve plant growth and flowering. It is also advisable to change the quality of light by using artificial light sources in controlled environments such as greenhouses in order to change the quantity and quality of agricultural products, especially fruits.

Materials and Methods

In this research, the effect of complementary light and nutrition (commercial Calfomyth solution containing high calcium phosphorus and calcium elements along with micronutrient elements) as a pot experiment under non-soil culture conditions in the greenhouse, in the form of split-based plots experiment A completely randomized design with 3 light treatments including: natural light (control), 60% red light + 40% light blue and 90% red light + 10% blue light, and 2 nutritional treatments including: non-spraying with commercial fertilizer, Calfomyth and spraying A concentration of 2,000 in 3 replicates was established and implemented. The traits that were studied in this experiment are: 1- leaf number (count of leaves), 2- plant height by meter, with accuracy 0.01 m, 3- diameter with caliber with accuracy 0.01 mm, 4- Number of flowers (counting), 5- Time of flowering until the product reaches (counting the number of days), 6- Performance: Whole and red ripe fruits were planted and weighed separately from the total fruit weight Per plant was obtained in grams per plant. Statistical analysis was performed using JMP8 software and comparison of means was done using LSD test at 1% and 5% probability levels.

Results and Discussion

The results showed that the application of additional light on fruit yield, stem diameter and plant height, yield time and leaf number ($p \leq 0.05$) were significant. Spraying with Calfomyth could have a significant effect on stem diameter and number of leaves. In the traits such as fruit yield, number of flowers and leaves, the interaction effect of feeding and supplementary light was also significant. The highest elevation was observed for 60% red + 40% blue (25.38 m) and the lowest for light control treatment (20.72 m). Also, the shortest arrival time was 90% red + 10% water treatment in 29 days and the maximum time to reach the product was 45 days. The highest number of leaves belonged to 60% red + 40% blue treatment, as well as spraying with Calfomyth (118), the highest number of flowers (50) was related to 90% red + 10% blue and Calfomyth treatment, and the smallest



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.60433.0>

number (15) was related to control treatment. Also, the highest yield (3553 g of fruit per plant) was obtained in Calfomyth treatment with 90% red + 10% blue treatment and the lowest yield (434 g fruit per plant) The control was light and non-foliar treatment. Although light is an important source of photosynthesis, photosynthesis can also be related to a series of optical regulators and optical sensors. Blue and red light cause different optical sensors and expression of genes, each of which can have a positive or negative effect on plant growth and development. Therefore, it can be concluded that the presence of both wavelengths (blue and red) is necessary for conducting, and for this reason, more research is now focused on achieving an appropriate optical composition.

Conclusion

In this research, all of the morphological traits examined in the tomato (*Lycopersicon esculentum*) plant were subjected to additional exposure by LED bulbs, each of which had a special effect on their receptors in the plant. Maximize growth and yield in the plant. As expected, blue light on vegetative traits and red light were more effective on reproductive traits. It can be said that the existence of both wavelengths (blue and red) is essential for the better and complete growth of the plant. In addition to the positive effect of wavelengths, the positive effect of leaf spraying can also be observed, which, along with the neodymium, could improve growth. The results of this study showed that the performance and growth under the cover of LED light (red and blue combination) were superior to natural conditions. Therefore, it could be suggested that the use of these lamps, as well as spraying with Calfomyth commercial fertilizer, could be feasible for better production in controlled conditions (greenhouse). It seems that application of complementary lights with proper nutrition can improve the performance and growth of tomato plants in greenhouse conditions.

Keywords: Calcium, Calfomyth, LED bulbs, Wavelengths

بهبود رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی رقم ۲۴۰ (*Lycopersicon esculentum* cv. 240) تحت

پوشش نور تکمیلی و محلول‌پاشی فسفر و کلسیم

لادن آزدانیان^۱ - حسین آروئی^{۱*} - مجید عزیزی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

چکیده

به‌عنوان یک منبع نور مصنوعی، لامپ‌های LED می‌توانند به رشد بهتر و سریع‌تر محصولات گلخانه‌ای کمک شایانی کنند. در این بین، نور آبی و قرمز برای رشد گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. در این تحقیق، اثر متقابل نور تکمیلی و تغذیه‌به‌صورت یک آزمایش گلدانی تحت شرایط کشت بدون خاک در گلخانه بر روی گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' (*Lycopersicon esculentum* cv. 240)، در قالب آزمایش کرت‌های خردشده برپایه طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار نوری شامل نور طبیعی (شاهد)، ۶۰ درصد نور قرمز + ۴۰ درصد نور آبی و ۹۰ درصد نور قرمز + ۱۰ درصد نور آبی و دو تیمار تغذیه شامل عدم محلول‌پاشی با کود تجاری کالفومیت (محلول تجاری کالفومیت حاوی عناصر فسفر و کلسیم در غلظت بالا به همراه عناصر ریزمغذی) و محلول‌پاشی با غلظت دو در هزار در سه تکرار پایه‌ریزی و اجرا شد. نتایج بدست‌آمده نشان داد که کاربرد نور تکمیلی بر عملکرد میوه، قطر ساقه و ارتفاع بوته، مدت زمان رسیدن محصول و تعداد برگ ($p \leq 0.05$) معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی (۲۵/۳۸ متر) و کمترین آن در تیمار نوری شاهد (۲۰/۷۲ متر) مشاهده شد. همچنین کوتاه‌ترین زمان رسیدن مربوط به تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی در مدت ۲۹ روز و بیشترین زمان صرف‌شده تا رسیدن محصول مربوط به شاهد در ۴۵ روز بود. محلول‌پاشی با کالفومیت توانست بر قطر ساقه و تعداد برگ اثر معنی‌داری بگذارد. در صفاتی مانند عملکرد میوه، تعداد گل و برگ اثر متقابل تغذیه و نور تکمیلی نیز معنی‌دار بود. بیشترین تعداد برگ مربوط به تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی و همچنین محلول‌پاشی با کالفومیت (۱۱۸ عدد) بود. همچنین بیشترین تعداد گل (۵۰ عدد) مربوط به تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی و کالفومیت و کمترین تعداد گل (۱۵ عدد) مربوط به تیمار شاهد بود. از لحاظ عملکردی، بیشترین عملکرد (۳۵۵۳ گرم میوه در بوته) در تیمار محلول‌پاشی‌شده با کالفومیت به همراه تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی حاصل شد و کمترین آن (۴۳۴ گرم میوه در بوته) مربوط به تیمار نوری شاهد و عدم محلول‌پاشی بود. به نظر می‌رسد که کاربرد نورهای تکمیلی به همراه تغذیه مناسب می‌تواند عملکرد و رشد و توسعه گیاه گوجه‌فرنگی را در شرایط گلخانه بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: طول موج، کالفومیت، کلسیم، لامپ‌های LED

مقدمه

داشتن مقادیر بالایی آنتی‌اکسیدان، ویتامین‌ها و ترکیبات فنولیکی در جهان به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده می‌باشد (Giovannelli, 1999). گوجه‌فرنگی از لحاظ میزان سطح زیرکشت و تولید در کشور، جایگاه دوم را دارد (Baneh & Taheri, 2009). اگرچه نور یک منبع مهم برای فتوسنتز محسوب می‌گردد، اما فتوسنتز می‌تواند وابسته به یکسری تنظیم‌کننده‌های نوری و حسگرهای نوری نیز باشد. نور آبی و قرمز باعث به کار انداختن حسگرهای نوری متفاوت و بیان ژن‌هایی می‌شوند که هرکدام از آن‌ها می‌تواند اثر مثبت یا منفی بر رشد و توسعه گیاه بگذارد (O'Carrigan et al., 2014). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که وجود هر دو طول موج (آبی و قرمز) برای گیاه ضروری می‌باشد و به همین علت، در حال حاضر بیشتر تحقیقات بر

در میان سبزی‌های گلخانه‌ای، گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) به‌منظور مصرف تازه‌خوری، مهم‌ترین کشت گلخانه‌ای در بسیاری از کشورهای اروپایی بوده (Taragola & Lierde, 1998) و مصرف سرانه آن در برخی کشورها به ۴۰ کیلوگرم در سال می‌رسد (Atherton & Rudich, 1986). همچنین گوجه‌فرنگی به علت

۱- گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: aroiee@um.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.60433.0>

نشان داد که سرعت رشد، گل‌دهی و میوه‌دهی در گیاهی که تحت پوشش نور مصنوعی آبی و قرمز بود، بسیار بیشتر از گروه شاهد بود. آن‌ها اظهار داشتند که نیاز گیاهان به طول موج‌های مختلف، متفاوت است. اما در بین طول موج‌ها، قرمز و آبی بیشترین نیاز گیاه را برطرف می‌کنند. نور آبی باعث افزایش رشد رویشی گیاه، ساقه و برگ‌ها می‌شود، اما نور قرمز باعث افزایش رشد زایشی، گل‌دهی و میوه‌دهی خواهد شد. تحقیقات بسیار زیادی در رابطه با نقش مهم فسفر در گیاهان و اثرات منفی بر رشد و فتوسنتز آن‌ها در صورت مواجهه با کمبود فسفر انجام گرفته است (Lefsrud et al., 2008; Turnbull et al., 2014; Zhang et al., 2007). فسفر یکی از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بعد از نیتروژن است. اگرچه میزان فسفر مورد نیاز گیاه در مقایسه با مقدار سایر عناصر اصلی کم است، با این حال این عنصر جزء عناصر پرنیاز محسوب می‌شود. این عنصر در تمام فرآیندهای بیوشیمیایی، در ترکیبات انرژی‌زا و سازوکارهای انتقال انرژی دخالت دارد. علاوه بر این فسفر جزئی از پروتئین سلول بوده و نقش ویژه‌ای به عنوان جزئی از هسته پروتئین سلول، غشاء سلولی و نوکلئوتیدها (DNA و RNA) که مسئول فرآیندهای تکثیر و رشد هستند، ایفا می‌کند. علاوه بر این فسفر از اجزای بسیاری از ترکیبات سلولی است و نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای کلیدی شامل فتوسنتز، تنفس، نگهداری و انتقال انرژی، تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول بازی می‌کند. فسفر کافی برای تشکیل و رشد ریشه‌های اولیه مورد نیاز است. همچنین فسفر، کیفیت محصولات را بهبود می‌دهد و برای تشکیل دانه لازم است (Mullins, 2009). برای گیاهان، دو عنصر فسفر و بور جزء مواد غذایی ضروری بوده و گزارش‌ها نشان‌دهنده تعامل بین این دو ماده و اهمیت آن‌ها برای رشد در بسیاری از گیاهان زراعی می‌باشد (Gunes & Alpaslan, 2000). افزایش میزان فسفر باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) شد و همچنین جذب فسفر توسط اندام هوایی افزایش یافت (Marschner et al., 2007). علاوه بر این کاربرد میزان بالایی از فسفر با افزایش عملکرد اسفناج و همچنین زودرسی محصول همراه بوده است (Okamoto et al., 1996). کلسیم یک عنصر مهم است که در سه درصد از پوسته زمین یافت می‌شود. کلسیم برای تولید محصولات کشاورزی از جمله محصولات باغبانی مثل گیاهان گلدار مفید می‌باشد. کلسیم در فعالیت‌های مختلف گیاه درگیر می‌شود (Robichaux, 2008) و سهم مهمی در استحکام ساختاری دیواره‌های سلولی گیاه دارد و به خوبی یک تنظیم‌کننده بسیار مهم رشدونمو در گیاهان می‌باشد. کلسیم نقش حیاتی در تشکیل دیواره سلولی و قابلیت انعطاف‌پذیری آن را دارد. این عنصر یک بخش مهم دیواره سلولی می‌باشد که

روی رسیدن به یک ترکیب نوری مناسب متمرکز شده است (Massa et al., 2008). اوکاموتو و همکاران (Okamoto et al., 1996) گزارش کردند که وجود نور آبی و قرمز با هم برای فتوسنتز ضروری و لازم می‌باشد، به طوری که کلروفیل هر دو این طول موج را جذب می‌کند، همچنین اظهار داشتند که وجود نور آبی برای ریخت‌شناسی و سلامت کلی گیاه لازم و مفید می‌باشد. کیفیت نور از نظر رنگ و طول موج می‌تواند ساختار ریخت‌شناختی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (Li et al., 2013). نسبت نور آبی به قرمز در هنگام استفاده از لامپ‌های LED بسیار حائز اهمیت می‌باشد، چرا که با داشتن هر دو طول موج می‌توان رشد گیاه و تولید میوه را تا بیش از ۲۰ درصد نسبت به زمانی که از هر طول موج به تنهایی استفاده شود، افزایش داد (Brown et al., 1995; Goto, 2003; Lefsrud et al., 2008; XiaoYing et al., 2011; Yorio et al., 1998). بنابراین استفاده از نورهای تکمیلی در فصل زمستان، زمانی که تابش نور کمتر از حد معمول است می‌تواند باعث بهبود رشد و گل‌دهی گیاه شود (Hertogh, 1989; Miller & Langhans, 1989). همچنین تغییر کیفیت نور به صورت استفاده از منابع نور مصنوعی در محیط‌های کنترل‌شده مانند گلخانه‌ها جهت تغییر کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی، به خصوص سبزی‌هایی که میوه دارند، امروزه در جهان قابل توصیه است (Li et al., 2013). گوجه‌فرنگی از لحاظ نیاز نوری جزء گیاهان پرتوقع محسوب می‌شود، بنابراین کمبود نور به خصوص در ماه‌های زمستان باعث کاهش رشد و نمو شده و تشکیل گل و میوه را مختل می‌نماید. در سال‌های اخیر، لامپ‌های LED به عنوان منابع جدید نور برای تولید گیاه در محیط‌های کنترل‌شده و همچنین جهت بررسی تغییرات گیاهان مورد توجه قرار گرفته است. از نظر فیزیولوژیکی، محققان معتقدند که عملکرد فوتونی نور قرمز و آبی به تنهایی برای رشد گیاهان کافی است (Kim et al., 2004). به عبارت دیگر، در صورتی که گیاه تنها در یکی از محیط‌های خالص نور قرمز یا آبی و نه هر دو قرار گیرد، امکان رشد کامل گیاه فراهم می‌شود. البته برخی هم اعتقاد دارند که در صورت استفاده از نور قرمز، درصد کمی نور آبی حتی ۱۰ درصد برای رشد کامل گیاه لازم است (Massa et al., 2008; Yorio et al., 2001). کاربرد نور تکمیلی سبب افزایش میزان رشد رویشی، وزن تر، وزن خشک و کیفیت کاهو (*Lactuca sativa* L.) شده است (Gaudreau, 1994). در رابطه با گوجه‌فرنگی، استفاده از نورهای تکمیلی سبب افزایش تعداد میوه در بوته و در نتیجه عملکرد و کیفیت گوجه‌فرنگی شد (Dorais et al., 1991; Giacomelli, 1987). ژو و همکاران (Xu et al., 2016) نشان دادند که نتایج مقایسه دو گروه گوجه‌فرنگی، که یکی از آن‌ها با سیستم نوری LED و دیگری بدون سیستم نوری تیمار شده بود،

جهت تغذیه از محلول غذایی هوکاموس (Hochmuth & Hochmuth, 1990) (جدول ۲) استفاده شد. درصد عناصر غذایی با توجه به مراحل رشدی در این محلول غذایی تغییر می‌کرد و توسط پمپ و سیستم آبیاری قطره‌ای در اختیار گیاهان قرار داده شد. بعد از انتقال گیاهچه و ۲۰ روز پس از استقرار آن‌ها، محلول‌پاشی با کالفومیت هر ۱۴ روز یک بار صورت گرفت، همچنین جهت اعمال تیمارهای نوری در ابتدای انتقال گیاهچه در هر واحد آزمایشی، مجموعه‌ای از لامپ‌های LED با شدت نور ۵۰۰۰ لوکس در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از سطح گیاه با طول موج‌های آبی و قرمز استفاده شد (فاصله لامپ‌ها از گیاه به وسیله گیره‌های فلزی در مراحل مختلف رشدی گیاه قابل تنظیم بود). در واحد آزمایشی شاهد، لامپ‌های LED زرد و سفید (آفتابی) مورد استفاده قرار گرفتند. مدت روشنایی لامپ‌ها جهت افزایش طول دوره روشنایی از زمان غروب به مدت چهار ساعت (از ۶ عصر تا ۱۰ شب) برای تمام واحدها به‌طور یکسان توسط یک تایمر اعمال گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار JMP8 صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد. صفاتی که در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفتند، عبارتند از تعداد برگ، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد گل، زمان گل‌دهی تا رسیدن محصول، عملکرد بود.

نتایج و بحث

تعداد برگ

استفاده از نورهای تکمیلی در سطح احتمال یک درصد بر تعداد برگ گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' اثر معنی‌داری داشت. همچنین اثر به‌کارگیری محلول کالفومیت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل این دو عامل نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۳)، بیشترین تعداد برگ مربوط به تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی و همچنین محلول‌پاشی با کالفومیت (۱۱۸ عدد) بود و کمترین تعداد برگ در تیمار نوری شاهد و عدم محلول‌پاشی کالفومیت (۳۶ عدد) مشاهده شد. پژوهشگران معتقدند که نور آبی در طیف گسترده‌ای از فرآیندهای گیاهی مانند عملکرد فتوسنتزی برگ‌ها و ساختارهای ریخت‌شناختی گیاه دخیل می‌باشد که می‌تواند باعث افزایش تعداد برگ در طیف وسیعی از گیاهان شود (Brown et al., 1995; Hogewoning et al., 2010; Matsuda et al., 2004, 2008; Bukhov et al., 1995).

به‌واسطه برقراری ارتباطات ساختاری درون ماتریکس پکتینی موجب استحکام در ساختار این دیواره می‌شود (Li et al., 2012). علت اصلی بروز بیماری‌های فیزیولوژیک در درختان میوه و سبزیجات میوه‌ای، کمبود کلسیم در میوه‌ها بوده که محلول‌پاشی برگی کلسیم در اصلاح کمبود کلسیم مؤثر است (Royers et al., 2004). بیشترین نوع کمبود کلسیم در میوه‌ها و سبزی‌ها، به‌صورت اختلال در بافت‌ها ذخیره‌ای در طول رشد یا در حین انبارمانی مانند پوسیدگی گلگاه در گوجه‌فرنگی و لکه تلخ در سیب بروز می‌کند که این عوارض با محلول‌پاشی کلسیم کاهش می‌یابند (Cooke, 1982). به‌کارگیری کلسیم سبب افزایش تعداد گل و میوه در بوته توت‌فرنگی شد که در نهایت افزایش عملکرد را به دنبال داشت (Mass, 1984). در رابطه با تأثیر کاربرد کلسیم گزارش شده است که این کاربرد می‌تواند وزن تک میوه و عملکرد را در گوجه‌فرنگی افزایش دهد (Dong et al., 2005). بر این اساس، با توجه به اهمیت عناصری مثل کلسیم و فسفر و همچنین نقش مهم ریزمغذی‌ها در رشد و توسعه گیاه با استفاده از کود تجاری کالفومیت و نور تکمیلی، تحقیق حاضر با هدف بررسی و تعیین بهترین شرایط برای رشدونمو گوجه‌فرنگی پایه‌ریزی گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کلسیم و فسفر به همراه نور تکمیلی، تحقیق حاضر به‌صورت یک آزمایش گلدانی تحت شرایط کشت بدون خاک در گلخانه، در قالب آزمایش کرت‌های خردشده برپایه طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار نوری شامل نور طبیعی (شاهد)، ۶۰ درصد نور قرمز + ۴۰ درصد نور آبی و ۹۰ درصد نور قرمز + ۱۰ درصد نور آبی و دو تیمار تغذیه شامل عدم محلول‌پاشی با کود تجاری کالفومیت (مخلوطی از کلسیم و فسفر به همراه سایر ریزمغذی‌ها)، (جدول ۱) و محلول‌پاشی با غلظت دو در هزار با سه تکرار در محل گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا و میانگین دمای شبانه‌روز ۱۵-۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰-۴۰ درصد در دی ماه سال ۱۳۹۵ پایه‌ریزی و اجرا شد. هر واحد آزمایشی شامل ۱۸ گلدان بود، و در مجموع ۵۴ گلدان وجود داشت. در هر گلدان، یک عدد نشاء گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' کاشته شد. گلدان‌های مورد استفاده از نوع پلاستیکی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر بودند. بستر کشت گیاه، مخلوطی شامل ۴۰ درصد پیت ماس به همراه ۴۰ درصد کوکوپیت و حدود ۲۰ درصد پرلایت بود.

جدول ۱- ترکیبات محلول غذایی کالفومیت

Table 1- Composition of Calfomith nutrient solution

ترکیبات Composition	مقادیر Values
نیترژن کل (N) Total nitrogen (N)	3% w/w equivalent to 4.2% W/V at 20 °C
نیترژن نیتراتی (N) Nitric nitrogen (N)	1.7% w/w equivalent to 2.38% W/V at 20 °C
نیترژن اورهای (N) Ureic nitrogen (N)	1.3% w/w equivalent to 1.82% W/V at 20 °C
پنتاکسید فسفر (P ₂ O ₅) محلول در آب Phosphorus pentoxide (P ₂ O ₅) soluble in water	23% w/w equivalent to 32.2% W/V at 20 °C
اکسید کلسیم (CaO) محلول در آب Calcium oxide (CaO) soluble in water	5% w/w equivalent to 7% W/V at 20 °C
ترکیبات Composition	مقادیر Values
بور (B) محلول در آب Boron (B) soluble in water	0.1% w/w equivalent to 0.14% W/V at 20 °C
بور (B) محلول در آب Boron (B) soluble in water	0.1% w/w equivalent to 0.14% W/V at 20 °C

جدول ۲- محلول غذایی مورد استفاده در مراحل رشدی مختلف گیاه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰'

Table 2- The nutritional solution used in different growth stages of the tomato cv. Hybrid 240

عنصر غذایی (ppm) Nutrition (ppm)	انتقال نشا تا خوشه اول Transplant to first cluster	خوشه اول تا خوشه دوم First cluster to second cluster	خوشه دوم تا خوشه سوم Second cluster to third cluster	خوشه سوم تا خوشه پنجم Third cluster to fifth cluster	خوشه پنجم تا پایان دوره رشد Fifth cluster to termination
نیترژن (N)	70	80	100	120	150
فسفر (P)	50	50	50	50	50
پتاسیم (K)	120	120	150	150	200
کلسیم (Ca)	150	150	150	150	150
منیزیم (Mg)	40	40	40	50	50
گوگرد (S)	50	50	50	60	60
آهن (Fe)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
مس (Cu)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
منگنز (Mn)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
روی (Zn)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
بور (B)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
مولیبدن (Mo)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
هدایت الکتریکی Ec (dS.m-1)	0.7	0.9	1.3	1.5	1.5

تحقیق حاضر نیز مطابقت داشت. میزان غلظت فسفر، میزان فتوسنتز برگ را از طریق آنتی پورتهی که خروج تریوز فسفات را از استروما به سیتوسل آسان می‌کند تحت تأثیر قرار می‌دهد که این عامل سبب افزایش میزان رشد خواهد شد (Wissuwa et al., 2005). در شرایط محیطی متفاوت، افزایش میزان فسفر در اغلب موارد منجر به افزایش

داچر و باگی (Dougher & Bugbee, 1998) اعلام کردند که تعداد و میزان کلروفیل برگ‌های کاهو و همان نسبت تعداد برگ تحت پوشش نور آبی افزایش داشته است. همچنین ضخامت برگ و تعداد آن در گیاه فلفل (*Capsicum annum* L.) نیز در زیر نور آبی افزایش یافت (Schuerger et al., 1997) که این نتایج با نتایج

دستخوش تغییر خواهند شد و افزایش می‌یابند که خود منجر به افزایش رشد خواهد شد. از دلایل این امر می‌توان به افزایش رشد ریشه‌ها و هدایت هیدرولیکی آن‌ها (Singh et al., 2006)، آبدار شدن برگ‌ها و افزایش هدایت روزنه‌ای در آن‌ها (Radin, 1984) و در نهایت قطور شدن ساقه‌ها و بهبود و تسریع در انتقال مواد شیره پرورده اشاره نمود.

تعداد گل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر ساده نور تکمیلی و تغذیه بر تعداد گل معنی‌دار نبود، اما اثر متقابل این دو عامل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. به‌طوری‌که بیشترین تعداد گل (۵۰ عدد) مربوط به تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی و محلول‌پاشی کالقومیت بود و کمترین تعداد (۱۵ عدد) مربوط به شاهد است (شکل ۲). دریم و همکاران (Deram et al., 2014) اظهار داشتند که نور قرمز باعث افزایش گل‌دهی در گوجه‌فرنگی خواهد شد، زیرا نور قرمز بر زمان گل‌دهی و تحریک گل‌دهی در بوته‌ها تأثیرگذار می‌باشد (Xiaoying et al., 2012).

مدت زمان گل‌دهی تا رسیدن محصول

استفاده از نور تکمیلی توانست در سطح احتمال یک درصد بر مدت زمان رسیدن محصول از زمان گل‌دهی تا رسیدگی کامل اثر معنی‌دار بگذارد (جدول ۳). کوتاه‌ترین زمان رسیدن مربوط به تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی در مدت ۲۹ روز و بیشترین زمان صرف‌شده تا رسیدن محصول مربوط به شاهد در ۴۵ روز بود. به‌طور کلی طول موج‌های مختلف نوری توانستند در خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی و همچنین قابلیت گل‌دهی و فتوسنتز گیاهی اثرات گوناگونی بگذارند (Ménard et al., 2006). بنابراین با حساسیتی که فیتوکروم‌های گیاهی به نور قرمز دارند، می‌توان گل‌دهی را در آن‌ها تحریک یا متوقف نمود که هرچه سرعت گل‌دهی در گیاه افزایش یابد و اولین گل با گذشت زمان کمتری ظاهر شود، به همان میزان می‌توان مدت زمان کوتاه‌تری را تا رسیدن محصول طی کرد که با نتایج سایر محققان هم‌خوانی دارد (Deram et al., 2014; Xiaoying et al., 2012).

عملکرد میوه تازه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده (جدول ۳) نشان داد که کاربرد نور تکمیلی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد میوه اثر معنی‌داری داشت. همچنین اثر متقابل نور تکمیلی و تغذیه اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' داشت. با توجه به شکل ۱، بیشترین

سرعت توسعه برگ، اندازه سلول‌ها و تعداد واکوئل در هر سلول شده است. همچنین بیان شده است که تعداد برگ در گیاهانی که تحت تأثیر کمبود فسفر هستند نیز کاهش می‌یابد (Matar et al., 1992).

ارتفاع بوته

با توجه به بررسی جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد نورهای تکمیلی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی (۲۵/۳۸ درصد) و کمترین آن در تیمار نوری شاهد (۲۰/۷۲ درصد) مشاهده شد. در سطح کلروپلاست، نور آبی با بیان ویژگی‌هایی مانند نور خورشید، ظرفیت فتوسنتزی بالایی دارد (XiaoYing et al., 2011). در بررسی‌های صورت‌گرفته، فتوسنتز تحت تأثیر نور آبی افزایش می‌یابد که این نتیجه احتمالاً به این دلیل است که کریپتوکروم‌ها و فتوتروپین‌ها به‌طور خاص به نور آبی حساس هستند و فیتوکروم‌ها به‌طور خاص به نور قرمز حساس هستند و این افزایش فتوسنتز باعث رشد رویشی بیشتر در گیاه خواهد شد. ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' در تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی افزایش داشت که این نتیجه با نتایج سایر محققان مطابقت نداشت، چرا که آن‌ها معتقدند که نور آبی یک بازدارنده رشد برای ساقه محسوب می‌شود (Dougher & Bugbee, 2001; Yorio et al., 1998). احتمالاً افزایش رشد ساقه در تیماری که نسبت نور آبی بیشتری داشته است، مربوط به کاهش طول میان‌گره و افزایش تعداد گره‌ها در ساقه بوده است که میزان جیبرلین را کاهش داده، اما میزان سایتوکینین را به‌عنوان یک هورمون محرک رشد افزایش داده است. همان‌طور که کارا و همکاران (۱۹۹۶) اظهار داشتند که با بالا رفتن میزان فتوسنتز در برگ‌های تیمار نور آبی، سیتوکینین‌ها فعال می‌شوند (Kara et al., 1997).

قطر ساقه

قطر ساقه نیز به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال پنج درصد) تحت تأثیر کاربرد نور تکمیلی و تغذیه با محلول کالقومیت قرار گرفت (جدول ۳). اما اثر متقابل این دو عامل معنی‌دار نشد. به‌طوری‌که بیشترین قطر ساقه در به‌کارگیری تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی به‌میزان ۱۴/۳۲ میلی‌متر حاصل گردید، همچنین بیشترین قطر ساقه (۱۳/۹۵ میلی‌متر) در تیمار محلول‌پاشی با کالقومیت حاصل شد. گلوواتا (Geowacka, 2004) گزارشی منطبق بر نتایج این تحقیق داشت که قطر ساقه تحت پوشش نور آبی افزایش می‌یابد. نتایج محققان نشان می‌دهد که در شرایطی که میزان فسفر در اختیار گیاه مناسب باشد، علاوه‌بر افزایش عملکرد، تعداد و اندازه سلول‌ها

نوری در دستگاه فیتوکروم را دارد (Urbonavičiūtė et al., 2007). همچنین دریم و همکاران (Deram et al., 2014) گزارش‌هایی مبنی بر افزایش عملکرد میوه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' در تیمار نوری قرمز داشتند. فسفر با اثری که روی آسیمیلات‌های برگ می‌گذارد باعث افزایش فرآورده‌های فتوسنتزی و در نهایت میزان رشد و عملکرد خواهد شد. بر اساس گزارش‌های پاپادوپولوس (Papadopoulos, 2003)، به‌کارگیری کلسیم در محلول‌های غذایی می‌تواند بیشترین عملکرد و تعداد میوه را در بوته‌های گوجه‌فرنگی داشته باشد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

عملکرد (۳۵۵۳ گرم میوه در بوته) در تیمار محلول‌پاشی‌شده با کالفومییت به همراه تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی حاصل شد. همچنین کمترین عملکرد (۴۳۴ گرم میوه در بوته) مربوط به تیمار نوری شاهد و عدم محلول‌پاشی بود. افزایش عملکرد تحت تأثیر نور قرمز می‌تواند نشان‌دهنده اثر این نور بر رنگدانه فیتوکروم باشد که باعث گل‌دهی در گیاه می‌شود. به‌طور کلی، گیاهان به شدت نور کم قرمز هم حساس می‌باشند، بنابراین با حساسیتی که فیتوکروم‌های گیاهی به نور قرمز دارند می‌توان گل‌دهی را در آن‌ها تحریک یا متوقف نمود. به همین علت در تمامی چراغ‌های مربوط به گل‌دهی از نور قرمز استفاده می‌شود، نور قرمز توانایی کنترل تغییرات

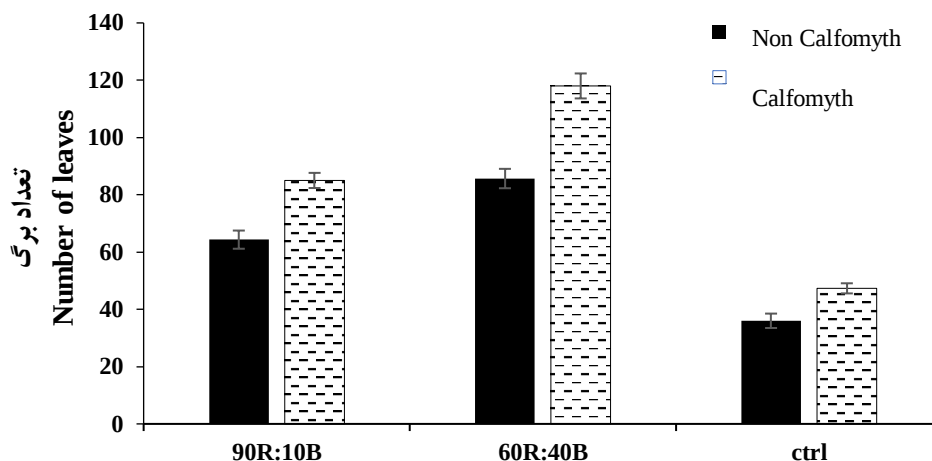
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نور تکمیلی و تغذیه بر عملکرد، کلروفیل کل، مدت زمان تا رسیدن محصول، قطر ساقه، ارتفاع بوته و تعداد برگ گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰'

Table 3- Analysis of variance (ANOVA) of the effect of supplemental lighting and nutrition on yield, total chlorophyll, days to harvest, stem diameter, plant height, and leaf number of tomato cv. Hybrid 240

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد برگ Leaf number	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد گل Flower number	مدت زمان تا رسیدن محصول Days to harvest	عملکرد میوه Fruit yield
خطای عامل اصلی Main plot error	6	34.83 ^{ns}	4.98 ^{ns}	0.71 ^{ns}	46.5 ^{ns}	2.33 ^{ns}	7163.0 ^{ns}
نور تکمیلی Supplemental lighting	2	5447.05 ^{**}	40.42 [*]	2.52 [*]	9.5 ^{ns}	402.88 ^{**}	8993785 [*]
تغذیه Nutrition	1	2069.38 ^{**}	0.12 ^{ns}	2.71 [*]	24.5 ^{ns}	0.88 ^{ns}	394586 [*]
نور تکمیلی × تغذیه Lighting × Nutrition	2	166.05 [*]	4.44 ^{ns}	0.15 ^{ns}	179.16 [*]	0.87 ^{ns}	874052 [*]
خطای عامل فرعی Sub-plot error	6	22.17	2.9	0.24	13.27	2.55	181138

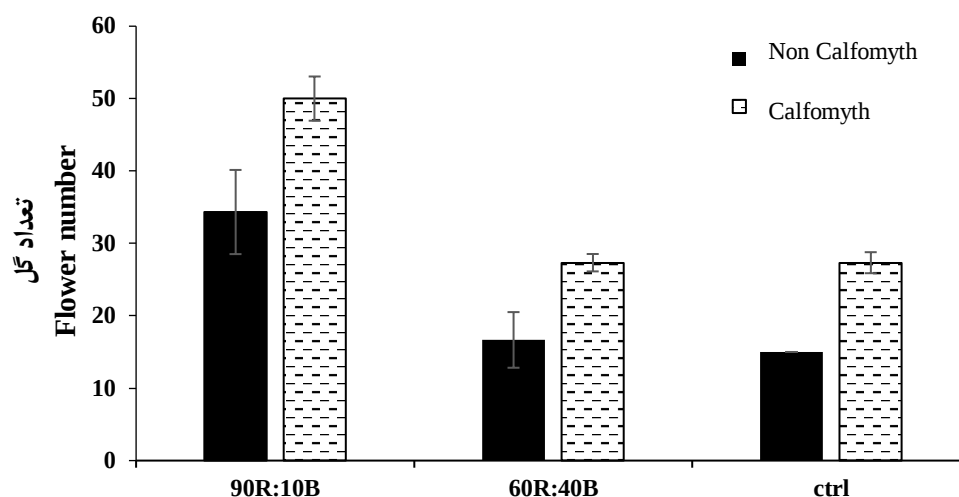
ns و * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار

ns, * and ** indicate significance at the 1%, 5% probability levels, and non-significance, respectively.



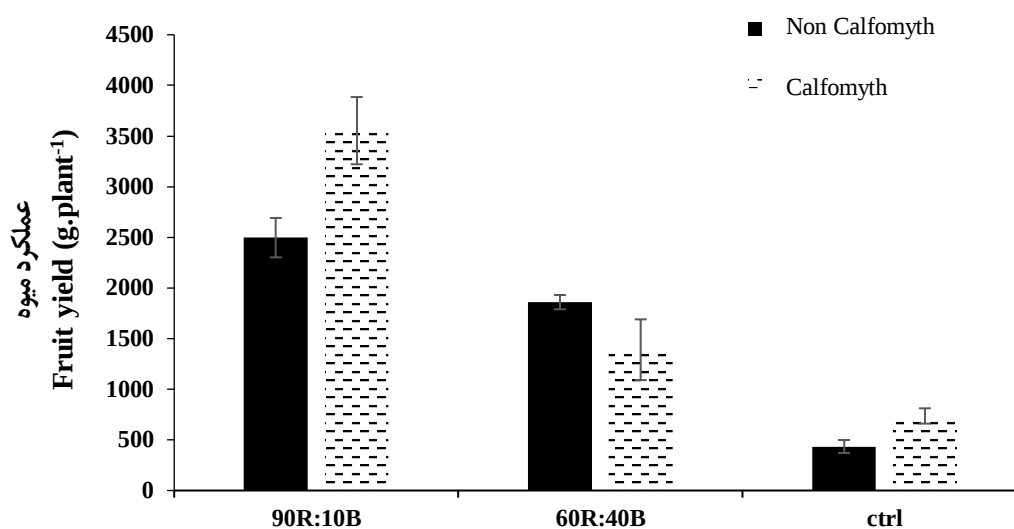
شکل ۱- اثر متقابل نور تکمیلی × تغذیه بر تعداد برگ گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰'

Figure 1- The interaction effect of complementary light × nutrition on leaf number of tomato cv. Hybrid 240 (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۲- اثر متقابل نور تکمیلی × تغذیه بر تعداد گل گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰'

Figure 2- The interaction effect of complementary light × nutrition on flower number of tomato cv. Hybrid 240 (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۳- اثر متقابل نور تکمیلی × تغذیه بر عملکرد میوه تازه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰'

Figure 3- The interaction effect of complementary light × nutrition on fresh fruit yield of tomato cv. Hybrid 240 (LSD, $p \leq 0.05$)

نتیجه‌گیری

طول موج (آبی و قرمز) برای رشد بهتر و کامل گیاه ضروری و لازم می‌باشد. در این بین، علاوه بر اثر مثبت طول موج‌ها، اثر مثبت محلول‌پاشی برگ‌ها را نیز می‌توان مشاهده کرد که به همراه نور تکمیلی توانست رشد را بهبود بخشد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که عملکرد و رشد تحت پوشش نور LED (ترکیب قرمز و آبی) نسبت به شرایط طبیعی برتری داشت. همچنین محلول‌پاشی برگ‌ها توسط فسفر و کلسیم توانست نتیجه بهتری را نسبت به عدم محلول‌پاشی در بر داشته باشد. بنابراین می‌توان پیشنهاد داد که

در این تحقیق، تمامی صفات ریخت‌شناختی بررسی شده در گیاه گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' تحت تأثیر نوردهی تکمیلی توسط لامپ‌های LED قرار گرفتند که هرکدام از طول موج‌ها اثر خاص و ویژه‌ای بر گیرنده‌های خودشان در گیاه اعمال کرده بودند که در نهایت میزان رشد و عملکرد را در گیاه افزایش دادند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، نور آبی بر روی صفات رویشی و نور قرمز بیشتر بر روی صفات زایشی اثرگذار بودند. می‌توان چنین گفت که وجود هر دو

استفاده از این لامپ‌ها به همراه محلول‌پاشی با کالقومیت برای تولید اقتصادی بهتر در شرایط کنترل‌شده (گلخانه) می‌تواند امکان‌پذیر باشد. در صورتی که هدف از کشت، بهبود رشد زایشی و گل‌دهی باشد، می‌توان تیمار نوری ۹۰ درصد قرمز + ۱۰ درصد آبی را پیشنهاد داد و اگر هدف از کشت توسعه برگ و رشد رویشی گیاه باشد، بهتر است از تیمار نوری ۶۰ درصد قرمز + ۴۰ درصد آبی استفاده نمود. به هر میزانی که درصد نور آبی بالا رود، رشد رویشی بهبود می‌یابد. همچنین کاربرد عناصری همچون فسفر و کلسیم در سطح گسترده‌ای می‌تواند باعث بهبود رشد و عملکرد در تمام ابعاد رویشی و زایشی شود

که کاربرد آن، بهترین نتیجه را نسبت به عدم کاربرد در پی خواهد داشت.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از مؤسسه کشاورزی عنبری (تولید و توزیع بذور اصلاح‌شده) به‌ویژه جناب آقای علی عنبری که در تهیه بذور گوجه‌فرنگی رقم 'هیبرید ۲۴۰' و همچنین محلول تجاری کالقومیت همکاری داشتند، سپاسگزاری می‌کنند.

References

1. Brown, C. S., Schuerger, A. C., & Sager, J. C. (1995). Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(5), 808-813. <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.5.808>
2. Cooke, G. W. (1982). *Fertilizing for maximum yield (3rd ed.)*. London, England: Granada Publishing Limited. P 465.
3. Deram, P., Lefsrud, M. G., & Orsat, V. (2014). Supplemental lighting orientation and red-to-blue ratio of light-emitting diodes for greenhouse tomato production. *HortScience*, 49(4), 448-452. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.4.448>
4. Dong, C. X., Zhou, J. M., Fan, X. H., Wang, H. Y., Duan, Z. Q., & Tang, C. (2005). Application methods of calcium supplements affect nutrient levels and calcium forms in mature tomato fruits. *Journal of Plant Nutrition*, 27(8), 1443-1455. <https://doi.org/10.1081/PLN-200025861>
5. Dorais, M., Gosselin, A., & Trudel, M. J. (1991). Annual greenhouse tomato production under a sequential intercropping system using supplemental light. *Scientia Horticulturae*, 45(3-4), 225-234. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(91\)90067-9](https://doi.org/10.1016/0304-4238(91)90067-9)
6. Dougher, T. A., & Bugbee, B. (2001). Differences in the Response of Wheat, Soybean and Lettuce to Reduced Blue Radiation. *Photochemistry and Photobiology*, 73(2), 199-207. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2001\)0730199DITROW2.0.CO2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2001)0730199DITROW2.0.CO2)
7. Dougher, T. A., & Bugbee, B. G. (1998). Is blue light good or bad for plants? *Life Support & Biosphere Science*, 5(2), 129-136.
8. Gaudreau, L. (1994). Photoperiod and photosynthetic photon flux influence growth and quality of greenhouse-grown lettuce. *HortScience*, 29(11), 1285-1289. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.11.1285>
9. Giacomelli, G. (1987). Lettuce and tomato intercropping system with supplemental lighting. *Soilless Culture*, 3(1), 39-50.
10. Giovanelli, G. (1999). Variation in antioxidant components of tomato during vine and post harvest ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(12), 1583-1588. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199909\)79:12<1583::AID-JSFA405>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199909)79:12<1583::AID-JSFA405>3.0.CO;2-J)
11. Goto, E. (2003). Effects of light quality on growth of crop plants under artificial lighting. *Environment Control in Biology*, 41(2), 121-132. <https://doi.org/10.2525/ecb1963.41.121>
12. Gunes, A., & Alpaslan, M. (2000). Boron uptake and toxicity in maize genotypes in relation to boron and phosphorus supply. *Journal of Plant Nutrition*, 23(4), 541-550. <https://doi.org/10.1080/01904160009382038>
13. Geowacka, B. (2004). The effect of blue light on the height and habit of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) transplant. *Folia Horticulturae*, 16(2), 3-10.
14. Baneh, H. D., & Taheri, M. A. H. D. I. (2009). Effects of foliar application of nutrient elements on fruit set and quantitative and qualitative traits of Keshmeshi grape cultivar. *Seed and Plant Production Journal*, 25(1), 103-115.
15. Hertogh, A. A. (1989). *Holland Bulb Forcers Guide*. Hillegom, The Netherlands: International Flower Bulb Center.
16. Hochmuth, G. J., & Hochmuth, R. C. (1990). *Nutrient solution formulation for hydroponic (perlite, rockwool, NFT) tomatoes in Florida*. Gainesville, FL, USA: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. SSVEC-44.
17. 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. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq132>
18. Atherton, J. G., & Rudich, J. (Eds.). (1986). *The Tomato Crop: A Scientific Basis for Improvement*. London, UK: Chapman and Hall. 661 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3137-4>
19. Kara, A., Kotov, A., & Bukhov, N. (1997). Specific distribution of gibberellins, cytokinins, indole-3-acetic acid, and abscisic acid in radish plants closely correlates with photomorphogenetic responses to blue or red light. *Journal of Plant Physiology*, 151(1), 51-59. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(97\)80035-1](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(97)80035-1)
20. Kim, H. H., Goins, G. D., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 39(7), 1617-1622. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1617>
21. Lefsrud, M. G., Kopsell, D. A., & Sams, C. E. (2008). Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience*, 43(7), 2243-2244. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2243>
22. Li, C., Tao, J., Zhao, D., You, C., & Ge, J. (2012). Effect of calcium sprays on mechanical cell wall fractions of Herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) inflorescence stems. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 4704-4713. <https://doi.org/10.3390/ijms13044704>
23. Li, H., Tang, C., & Xu, Z. (2013). The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. *Scientia Horticulturae*, 150, 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.009>
24. Marschner, P., Solaiman, Z., & Rengel, Z. (2007). Brassica genotypes differ in growth, phosphorus uptake and rhizosphere properties under P-limiting conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(1), 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.06.014>
25. Maas, J. L. (Ed.). (1984). *Compendium of Strawberry Diseases*. St. Paul, MN, USA: American Phytopathological Society in cooperation with Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. 138 p.
26. Massa, G. D. Kim, H. H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7), 1951-1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>
27. Matar, A., Torrent, J., & Ryan, J. (1992). Soil and fertilizer phosphorus and crop responses in the dryland Mediterranean zone. *Advances in Soil Science*, 81-146. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2844-8_3
28. Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., Goto, E., & Kurata, K. (2004). Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light. *Plant and Cell Physiology*, 45(12), 1870-1874. <https://doi.org/10.1093/pcp/pch203>
29. Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., & Kurata, K. (2008). Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO₂ assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves. *Plant and Cell Physiology*, 49(4), 664-670. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcn041>
30. Miller, W. B., & Langhans, R. W. (1989). Reduced irradiance affects dry weight partitioning in Easter lily. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114(2), 306-309. <https://doi.org/10.21273/JASHS.114.2.306>
31. Mullins, G. L. (2009). *Phosphorus, Agriculture and the Environment*. Blacksburg, VA, USA: Virginia Cooperative Extension, Virginia Polytechnic Institute and State University.
32. Ménard, C., Dorais, M., Hovi, T., & Gosselin, A. (2006). Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. In *V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture*; Lillehammer, Norway. *Acta Horticulturae*, 711, 291-296. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.39>
33. Bukhov, N. G., Drozdova, I. S., & Bondar, V. V. (1995). Light response curves of photosynthesis in leaves of sun-type and 9-shade-type plants grown in blue or red light. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 30(1), 39-41. [https://doi.org/10.1016/1011-1344\(95\)07124-K](https://doi.org/10.1016/1011-1344(95)07124-K)
34. O'Carrigan, A., Hinde, E., Lu, N., Xu, X. Q., Duan, H., Huang, G., & Chen, Z. H. (2014). Effects of light irradiance on stomatal regulation and growth of tomato. *Environmental and Experimental Botany*, 98(65-73). <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.007>
35. Okamoto, K., Yanagi, T., Takita, S., Tanaka, M., Higuchi, T., Ushida, Y., & Watanabe, H. (1996). *Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source*. In: *International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems*. (1996). Narita, Japan. *Acta Horticulturae*, 440, 111-116. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.440.20>
36. Papadopoulos, A. P. (2003). Effects of calcium and magnesium on growth, fruit yield and quality in a fall greenhouse tomato crop grown on rockwool. *Canadian Journal of Plant Science*, 83(4), 903-912. <https://doi.org/10.4141/P02-140>
37. Radin, J. W. (1984). Stomatal responses to water stress and to abscisic acid in phosphorus-deficient cotton plants. *Plant Physiology*, 76(2), 392-394. <https://doi.org/10.1104/pp.76.2.392>
38. Robichaux, M. B. (2008). *The effect of calcium or silicon on potted miniature roses or poinsettias* (M.S. thesis). Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge, Louisiana, USA.

39. Royers, D. L., Berner, R. A. M., Tabor, I. P., Beerling, N. J., & Beerling, D. J. (2004). CO₂ as a primary driver of Phanerozoic climate. *GSA Today*, 14(3), 4-10. [https://doi.org/10.1130/1052-5173\(2004\)014<4:CAAPDO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/1052-5173(2004)014<4:CAAPDO>2.0.CO;2)
40. Schuerger, A. C., Brown, C. S., & Stryjewski, E. C. (1997). Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Annals of Botany*, 79(3), 273-282. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0341>
41. Singh, V., Pallaghy, C. K., & Singh, D. (2006). Phosphorus nutrition and tolerance of cotton to water stress: II. Water relations, free and bound water and leaf expansion rate. *Field Crops Research*, 96(2), 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.06.011>
42. Taragola, N., & Van Lierde, D. (2000). Competitive strategies in the sector of greenhouse tomato production in Belgium. In *XXV International Horticultural Congress, Part 14: Horticultural Economics at Micro and Macro Level, International Trade and Marketing*; Brussels, Belgium. *Acta Horticulturae*, 524, 193-200. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.524.17>
43. Turnbull, T. L., Warren, C. R., & Adams, M. A. (2007). Novel mannose sequestration technique reveals variation in subcellular orthophosphate pools do not explain the effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Eucalyptus globulus* seedlings. *New Phytologist*, 176(4), 849-861. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02229.x>
44. Urbonavičiūtė, A., Pinho, P., Samuolienė, G., Duchovskis, P., Vitta, P., Stonkus, A., & Halonen, L. (2007). Effect of short-wavelength light on lettuce growth and nutritional quality. *Sodininkystė ir Daržininkystė*, 26, 157-165.
45. Wissuwa, M., Gamat, G., & Ismail, A. M. (2005). Is root growth under phosphorus deficiency affected by source or sink limitations? *Journal of Experimental Botany*, 56(417), 1943-1950. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri189>
46. XiaoYing, L., ShiRong, G., ZhiGang, X., XueLei, J., & Tezuka, T. (2011). Regulation of chloroplast ultrastructure, cross-section anatomy of leaves, and morphology of stomata of cherry tomato by different light irradiations of light-emitting diodes. *HortScience*, 46(2), 217-221. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.2.217>
47. Xiaoying, L., Shirong, G., Taotao, C., Zhigang, X., & Tezuka, T. (2012). Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). *African Journal of Biotechnology*, 11(22), 6169-6177.
48. Xu, Y., Chang, Y., Chen, G., & Lin, H. (2016). The research on LED supplementary lighting system for plants. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 127(18), 7193-7201. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.05.056>
49. Yorio, N. C., Wheeler, R. M., Goins, G. D., Sanwo-Lewandowski, M. M., Mackowiak, C. L., Brown, C. S., Sager, J. C., Stutte, G.W.; & Sager, J. C. (1998). Blue light requirements for crop plants used in bioregenerative life support systems. *Life Support & Biosphere Science*, 5(2), 119-128.
50. Yorio, N. C. Goins, G. D., Kagie, H. R., Wheeler, R. M., Sager, J. C., Goins, G. D., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2001). Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, 36(2), 380-383. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.2.380>
51. Zhang, S. Jiang, H., Zhao, H., Korpelainen, H., & Li, C. (2014). Sexually different physiological responses of *Populus cathayana* to nitrogen and phosphorus deficiencies. *Tree Physiology*, 34(4), 343-354. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu025>