تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۵/ شماره ۸۹/بهار ۱۴۰۳/ص ۳۰-۱۵
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله پژوهشی

اثر کیفیت نور و مدت‌زمان نوردهی ال‌ای‌دی بر رشد کاهوی پرطاووسی در کشت طبقاتی

غلامرضا چگینی[1*]، محمدرضا خرم‌تبریزی[2] و ساسان علی‌نیائی فرد[3]

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشیار؛ کارشناس ارشد گروه فنی کشاورزی؛ و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲۸

چکیده

به‌کارگیری محیط‌های کنترل شده با کشت طبقاتی با نور مصنوعی یکی از راه‌های جایگزین تولید محصولات کشاورزی در فضای شهری است. با طیف نورهای مختلف ناشی از لامپ‌های ال‌ای‌دی می‌توان شرایط فتوسنتز گیاه را در کنار سایر پارامترهای مهم رشد گیاه در این گلخانه‌ها در بالاترین شکل فراهم کرد. در این تحقیق با استفاده از محیط کشت طبقاتی، رشد کاهوی پرطاووسی در طیف‌های مختلف نور مصنوعی ارزیابی شد. در این گلخانه تولید کاهو سه ترکیب طیف نوری متفاوت: (۱۰۰ درصد قرمز)، (۷۵ درصد قرمز + ۲۵ درصد آبی)، (۵۰ درصد قرمز + ۲۵ درصد آبی + ۲۵ درصد قرمز دور)، با سه تیمار نوردهی ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته با شدت نور ۲۵۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه برای کشت کاهو با سیستم تغذیه هیدروپونیک ارزیابی شد. در این ارزیابی معلوم شد ۲۱۶ گیاه کاهو در این گلخانه به صورت کامل رشد کرده‌اند و طیف نوری قرمز بیشترین عملکرد را داشته است. با بررسی دقیق کارایی دستگاه فتوسنتز و اثر متقابل کیفیت نور و مدت‌زمان نوردهی بر عملکرد محصول کاهوی واریتهٔ پرطاووسی این نتیجه حاصل شد که ترکیب دقیق طیف نور و فتوپریود مناسب باعث افزایش عملکرد کاهو می‌شود. طیف نوری قرمز دور بیشترین نقش را در ارتفاع گیاه داشته است. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در نوردهی ۲۴ ساعته و در تیمارهای قرمز و آبی قرمز به‌دست آمد. وزن تر و خشک ریشه با کمترین مقدار نوردهی ۱۲ ساعت به ثبت رسید. نتایج بررسی‌ها نشان داد که نوردهی دائمی باعث افزایش رشد رویشی گیاهان می‌شود.

واژه‌های کلیدی

طیف نوری، کشت عمودی، گلخانه، نور مصنوعی

مقدمه

کشاورزی عمودی در قالب محیط‌های کنترل شده با کشت طبقاتی با مقیاس بزرگ روشی است جدید که می‌تواند جایگزین روش سنتی برای تأمین غذای آیندگان شود (Eigenbrod & Gruda, 2015; Kozai, 2013a). کارخانه‌های تولید گیاه را می‌توان در محیط بسته ایجاد کرد و هر طبقه به‌منظور تولید انواع سبزی، میوه و غلات به‌کار رود. ایجاد کارخانه‌های تولید گیاه دارای پتانسیل بالایی به‌منظور افزایش تولید محصولات، نسبت به مساحت زیرکشت، کاهش دورهٔ رشد گیاه، کاهش قابل توجه مصرف آب، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، کاهش تلفات، کاهش آفات و حشرات موذی، داشتن قابلیت تولید محصولات سالم در داخل شهرها، کاهش حمل و نقل و افزایش عمر پس از برداشت محصولات کشاورزی است (Despommier, 2011;

*نگارنده مسئول: Email: chegini@ut.ac.ir
https://doi.org/10.22092/amsr.2024.366698.1497

(Resh, 2016). گلخانه با کشت عمودی و نور از منبع نور مصنوعی لامپ‌های LED (PFAL) از سال ۲۰۰۵ در ژاپن برای تولید نشای بدون آفت شروع به تجاری‌سازی شد (Ohyama *et al.*, 2005). ضرورت افزودن مقدار کمی نور آبی به نور قرمز ابتدا توسط بولا و همکاران (Bula *et al.*, 1991) و بعدها توسط دیگران گزارش شد که منجر به ایجاد درک عمومی از کیفیت نور مورد نیاز برای رشد گیاه با استفاده از منابع نور تک رنگ شد. در محیطی کنترل شده می‌توان با کنترل دقیق کیفیت نور، شدت نور، مدت‌زمان نوردهی، رطوبت، غلظت دی اکسید کربن، محلول غذایی، pH و دما، بهره‌وری و کیفیت را بهبود بخشید (Stutte *et al*, 2009; Kozai, 2013b).

به طور کلی گیاهان مناسب برای تولید تجاری در کشت‌های طبقاتی داری ارتفاع کمی هستند، (حدود ۳۰ سانتی‌متر یا کمتر) سرعت رشد بالایی دارند، در شدت نور کم و تراکم کشت بالا به خوبی رشد می‌کنند؛ با کنترل عوامل محیطی می‌توان به‌طور مؤثر ارزش محصول را بهبود بخشید. از میان سبزی‌ها، کاهو بیشترین مصرف را در جهان دارا است که باعث می‌شود آن را به مهم‌ترین محصول قابل کشت در سیستم‌های تولید بسته تبدیل کند. سبزی‌های برگی به طور گسترده در نزدیکی و اطراف شهرهای بزرگ تولید می‌شوند. دلیل این کار صرفه‌جویی قابل‌توجه در مصرف منابع، هزینه و زمان انتقال محصولات از محل تولید به مصرف‌کنندهٔ نهایی است (Ohyama *et al.*, 2008). افزون بر این، مسافت کوتاه حمل‌ونقل می‌تواند تا ۹۰ درصد از تبخیر آب محصول و از بین رفتن آن جلوگیری کند (Pessu *et al.*, 2011). در حقیقت گیاهان تمام طول‌موج نور (تابش خورشیدی) را جذب نمی‌کنند و طیف نور مرئی مهم‌ترین بخش نور برای گیاهان است زیرا تقریباً با تابش فعال فتوسنتزی[1] ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر منطبق است (Chen *et al.*, 2014). شدت، کیفیت و مدت‌زمان تابش. این سه متغیر هریک تأثیری متفاوت بر عملکرد گیاه دارد (Nishio, 2000).

هنگامی‌که لامپ‌های الکتریکی در PFAL استفاده می‌شوند، چرخهٔ روشنایی مؤثر بر رشد و تکامل گیاه می‌تواند به‌راحتی تغییر کند. علاوه بر شدت نور لحظه‌ای، مقدار کل نور دریافت شده توسط گیاهان در یک روز (DLI)[2] با رشد، توسعه و کیفیت گیاه ارتباط نزدیکی دارد. در PFAL شدت نور یا همان PAR مقدار ثابتی است، بنابراین می‌توان به‌سادگی DLI را از طریق میزان شدت نور و مدت‌زمان نوردهی محاسبه کرد. در PFAL ها، انواع مختلفی از لامپ‌های الکتریکی استفاده می‌شود. در زمینهٔ مدت‌زمان نوردهی و شدت نور تحقیقات گسترده‌ای شده است.

اینکه گیاهان بعضی از طیف‌های نوری را بهتر از دیگر طیف‌ها جذب می‌کنند امری ثابت شده است. جذب و درک طیف‌های متفاوت نور توسط گیرنده‌های نوری در گیاه از جمله کلروفیل، کریپتوکروم و فیتوکروم که در هنگام تحریک نوری، واکنش‌های مختلفی را به‌دنبال می‌آورند، صورت می‌گیرد. در تحقیقات بسیاری نشان داده شده است که نور قرمز و آبی بیشترین تأثیر را بر فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسیدکربن در گیاه دارند (Purves *et al.*, 2003; Kasajima *et al.*, 2008). طول‌موج‌قرمز به تنهایی برای فتوسنتز و رشد عادی گیاه کافی است و موجب رشد ساقه، گل‌دهی و تولید میوه می‌شود (Yanagi *et al.*, 1996; Tarakanov *et al.*, 2012).

1- PAR

2- Daily Light Integral

با این‌حال، طول‌موج‌های مختلف نور قرمز ممکن است اثرهای متفاوتی بر رشد گیاهان داشته باشند. برای مثال، افزایش طول‌موج‌قرمز از ۶۶۰ به ۶۹۰ نانومتر، باعث افزایش فتوسنتز و زیست‌تودهٔ کاهو می‌شود (Goins *et al.*, 2001). به‌علاوه، نور قرمز ۶۴۰ تا ۶۸۰ نانومتر ایده‌آل‌ترین طول‌موج‌برای پرورش سبزی‌های برگی است. تابش نور قرمز ۶۶۰ نانومتر برای مدت‌زمان محدود در ترکیب با نور خورشید منجر به افزایش تثبیت دی‌اکسیدکربن و افزایش رشد در کلم شده است (Lefsrud *et al.*, 2008). فیتوکروم در گیاه هر دو نور قرمز و قرمز دور را جذب می‌کند و در جوانه‌زنی بذر، انقباض سلولی، تسریع تثبیت نیتروژن، گلدهی و غیره نقش دارد (Lillo & Appenroth, 2001). نور قرمز دور به‌عنوان بالاترین طول‌موج‌در تابش فعال فتوسنتزی برای رشد گیاهان مناسب است. ترکیب نور قرمز دور با نور قرمز، آبی و سفید می‌تواند دارای مزایای بالقوه زیادی از جمله افزایش زیست‌توده، افزایش طول برگ و ساقهٔ گیاه باشد (Stutte *et al.*, 2009). کریپتوکروم گیرندهٔ نور آبی در گیاه است که در فعالیت‌هایی مانند نورگرایی، رشد و گسترش جوانه، کشیدگی دمبرگ، توسعهٔ برگ‌ها، ریتم شبانه‌روزی و غیره دخیل است (Hogewoning, 2010). استفاده از نور آبی ۴۴۰ تا ۴۶۰ نانومتر به‌تنهایی یا در ترکیب با نور قرمز باعث افزایش عملکرد کلم، کاهو و دیگر سبزی‌های برگی می‌شود. نور آبی برای افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی، کیفیت و مقاومت آن در برابر بیماری مؤثر است (Johkan *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2002).

روشنایی لامپ‌های ال‌ای‌دی (LED) اساسا یک تکنولوژی متفاوت با لامپ‌های تخلیهٔ گاز و رشته‌ای است که در حال حاضر در کشاورزی استفاده می‌شود. توانایی‌هایی مانند کنترل دقیق طیف نور و شدت نور بالا با کمترین انرژی مصرفی، این فناوری را بالقوه به یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های نورپردازی در علوم باغبانی از زمان تولید لامپ‌های اولیه تبدیل کرده است. اولین آزمایش‌های لامپ‌های LED روی پرورش و رشد گیاهان (کاهو، اسفناج، سیب‌زمینی و گندم) در ایالات متحده آمریکا بوده است (Bula *et al.*, 1991). در آن زمان، تکنولوژی LED آبی هنوز ساخته نشده بود، بنابراین مطالعات با استفاده از LEDهای قرمز (۶۶۰ نانومتر) به‌تنهایی دلیل اصلی پیشرفت‌های اولیه بود (Emmerich *et al.*, 2004). این تحقیقات ابتدایی به سرعت منجر به توسعهٔ سیستم‌هایی مبتنی بر این لامپ‌ها برای آزمایش‌های فیزیولوژی گیاه شد (Tennessen *et al.*, 1994). تقریباً در همان زمان، LEDها برای جوانه زدن بذرها و ریشه‌زایی قلمه‌ها در هلند (Nijssen *et al.*, 1990) و سیستم‌های کشت بافت در ژاپن (Miyashita *et al.*, 1994) بررسی شدند.

از آنجا که هزینهٔ اولیهٔ سیستم‌های نوردهی LED بسیار گران بودند، کاربرد لامپ‌های LED تنها به استفاده در محیط‌های کنترل شده مانند اتاقک رشد و گاهی گلخانه‌ها محدود می‌شد. گروه تحقیقاتی محصولات کشاورزی در مرکز فضایی کندی، تأثیر سیستم‌های نوردهی LED را بر عملکرد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی چندین گیاه شامل گندم تربچه، اسفناج، کاهو (Goins *et al.*, 2001) بررسی کرد. تأثیر کیفیت نورهای متفاوت را برای اجرای تحقیقات پایه در موضوع‌هایی مانند توسعهٔ بیماری گیاهان (Schuerger & Brown, 1997) و تأثیر نور ترکیبی سبز بر فتوسنتز (Kim *et al.*, 2004) بررسی کرد. در گذر زمان با افزایش دسترسی به

سیستم‌های نوردهی LED، دستورالعمل‌های رشد گیاهان مختلف در زیر نورهای متفاوت LED نیز افزایش یافت. در اولین آزمایش‌ها برای نوردهی مصنوعی گیاهان تنها از لامپ‌های قرمز همراه با لنز استفاده می‌شد زیرا در آن زمان تنها لامپ‌های قرمز (تقریبا ۶۶۰ نانومتر) از شدت کافی برای رشد گیاه برخوردار بود. لامپ‌های ردیفی این سیستم‌ها به‌دلیل هزینهٔ بالا، عملکرد نامتقارن و مشکلات ساخت برای استفاده در مقیاس بزرگ امکان‌پذیر نبود. پانل‌های روشنایی اولیه قابلیت نوردهی سطحی کمتر از یک مترمربع را داشتند اگرچه ژاپنی‌ها با استفاده از پانل‌های بزرگ‌تر می‌توانستند مساحت بیشتری را به پرورش گیاه اختصاص دهند (Ono & Watanabe, 2006). با گذر زمان و پیشرفت فناوری ساخت LEDها، تعداد لامپ‌های بیشتری در هر تراشهٔ پانل نوردهی قابل نصب بود. برای مثال، در یک تراشه به اندازهٔ ۶/۵ سانتی‌مترمربع، ۱۳۲ لامپ LED در ۵ رنگ متفاوت نصب شده است. این تکنولوژی برای استفاده در مقیاس‌های بزرگ خیلی گران است اما برای برنامه‌های تخصصی یا تحقیقاتی که نیاز به شدت نور بالا در چند نوار طیفی قابل کنترل مستقل دارند، ایده‌آل است. با توسعهٔ تکنولوژی در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰، LEDهایی با عملکرد بالا توسط دستگاه‌های تمام اتوماتیک تولید می‌شدند که منجر به اقتصادی شدن قیمت آنها گردید (Massa *et al.*, 2007). به‌طور کلی، LEDها مزایای بسیاری نسبت به لامپ‌های رشته‌ای، فلورسنت و HID دارند (Mitchell *et al.*, 2012). LEDها توانایی تولید شار نوری بالا با تولید گرمای تابشی کم دارند و برای سالیان طولانی نیز توانایی خروجی نور خود را حفظ می‌کنند. در حالی‌که لامپ‌های فلورسنت باید به صورت دوره‌ای جایگزین شوند و علاوه بر مصرف برق بالا، گرمای زیادی تولید می‌کنند. با توجه به تولید کم گرمای تابشی، LEDها می‌توانند نزدیک به گیاهان نصب شوند و به‌راحتی شدت نور بالایی با حداقل مصرف انرژی تولید کنند (Vänninen *et al.*, 2010). افزون بر این، LEDها، نسبت به منابع نور سنتی، تا ۷۰ درصد مصرف انرژی را کاهش می‌دهند و شدت نور بالا، قابلیت کنترل دقیق، اندازهٔ کوچک و وزن کم دارند، هزینهٔ تعمیر و نگهداری آن‌ها پایین است، قابلیت کنترل دقیق طول‌موج و انتشار یکنواخت نور دارند، از تنش گرما روی گیاهان می‌کاهند و عمرشان طولانی است. در این تحقیق، ویژگی‌های رشدی کاهو با استفاده از تغییرات شرایط محیطی محیط کشت طبقاتی با نور مصنوعی مطالعه شده است. با بررسی دقیق کارایی دستگاه فتوسنتز و اثرهای متقابل کیفیت نور و مدت‌زمان نوردهی روی عملکرد محصول کاهوی واریتهٔ پرطاووسی ترکیب دقیق طیف نور و فتوپریود مناسب برای افزایش عملکرد کاهو بررسی شد.

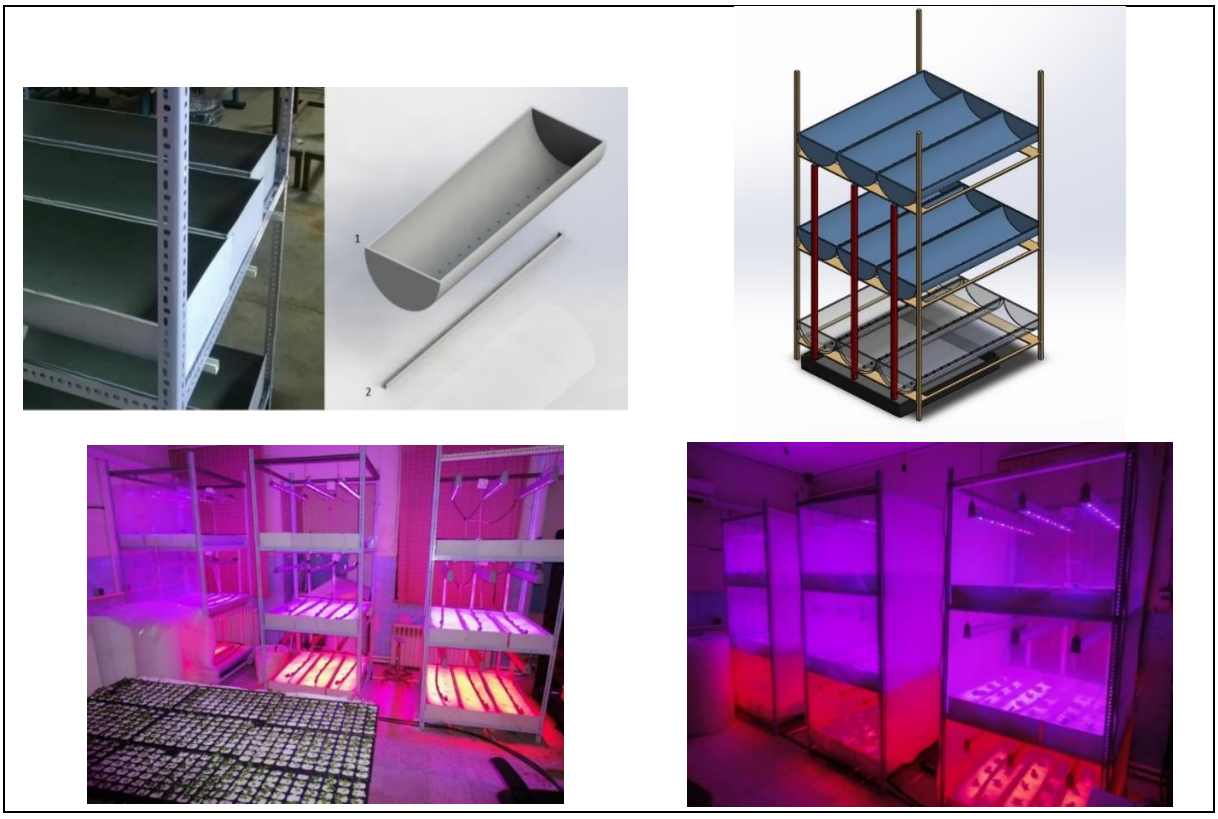
مواد و روش‌ها

نقشهٔ گلخانهٔ طراحی شده در سه بخش با ابعاد ۱×۱ متر، با ارتفاع کل ۲/۳۰ متر با ۳ طبقه با فاصلهٔ بین ۷۵ سانتی‌متر از هم در شکل ۱ نشان داده شده است. حجم هر بخش از گلخانهٔ ساخته شده ۲/۳ مترمکعب و کل حجم گلخانه ۶/۹ مترمکعب است که در اتاقی به ابعاد ۳×۵ ×۴ متر نصب شد. دیگر تجهیزات از جمله مخزن محلول غذایی، پمپ آب و سیستم تزریق و آبیاری فضایی کمتر از یک مترمربع اشغال کردند. دمای ثابت اتاق در زمان نوردهی و تاریکی بین ۲۰ تا ۲۲ درجهٔ سیلسیوس، رطوبت هوای اتاق ۱۰± ۶۰ درصد و مقدار دی‌اکسیدکربن بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ قسمت در میلیون بود که با

سیستم تهویهٔ AR5500, Samsung تنظیم می‌شد. برای اندازه‌گیری دما، رطوبت و دی‌اکسیدکربن از دستگاه GC-2028, Lutron استفاده شد. در کل اتاق هیچ‌گونه منبع نوری دیگری وجود نداشت و تمامی پنجره‌ها پوشیده شده بودند. کنترل طیف نوری و شدت نور مورد استفاده با بهره‌گیری از دستگاه اسپکترومتر C-7000, Sekonic صورت گرفت. برای کنترل آفات کلیهٔ رفت‌وآمدها به اتاق کنترل می‌شد.

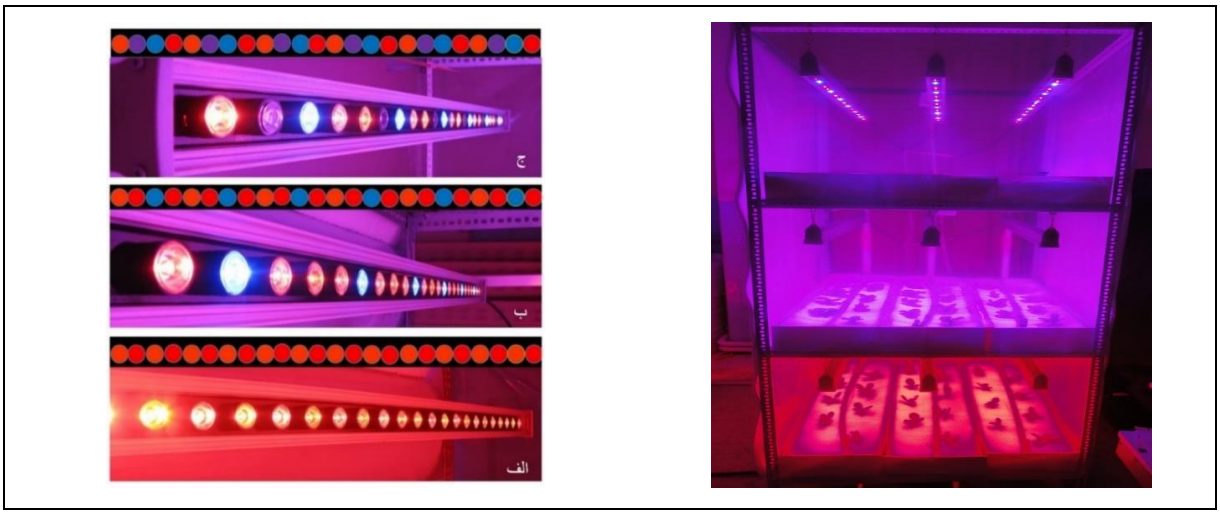
قابلیت‌های سازه ساخته شده

سازهٔ کشت طبقاتی طوری طراحی و ساخته شده بود که به‌راحتی ارتفاع طبقات و لامپ‌ها طبق شرایط گوناگون کشت قابل تغییر بود. قفسه‌بندی امکان نصب دیگر تجهیزات جانبی از جمله فن‌ها، لوله‌ها و ... را روی سازه فراهم می‌کرد. هر طبقه از سه بستر از جنس لولهٔ پلی‌اتیلن (PE60) به ۱×۰/۳۳ متر تشکیل شده است. بسترهای کشت از پرلیت ابعاد یک میلی‌متر پر شده و روی سازهٔ اصلی قرار گرفتند. از پرلیت (با pH برابر ۶ تا ۸) برای به حداقل رساندن هیپوکسی ریشه و توانایی آن در جذب بالای آب (۳ تا ۴ برابر وزن خود) استفاده شد (Resh, 2016). لامپ‌ها در فاصلهٔ ۶۰ سانتی‌متری بالای بسترهای کشت با قلاب و زنجیر نصب گردیدند تا قابلیت تنظیم ارتفاع را نیز داشته باشند (شکل ۱ و ۲). تمام سطح کشت با فوم سفید به ضخامت ۲ میلی متر پوشانده شد. از این فوم سفید پلی اتیلن (بی آنکه جنس آن تداخل نوری ایجاد کند) همراه با کاغذ آلومینیمی در دیوارهٔ سازه نیز استفاده شد تا از تداخل نوری جلوگیری شود.



شکل ۱- سازهٔ کشت طبقاتی، چپ: سازه قبل از کاشت، راست: پس از نصب لامپ‌ها و کاشت کاهو

Fig. 1- Vertical greenhouse, left: structure before planting, right: greenhouse with lamps and planting lettuce



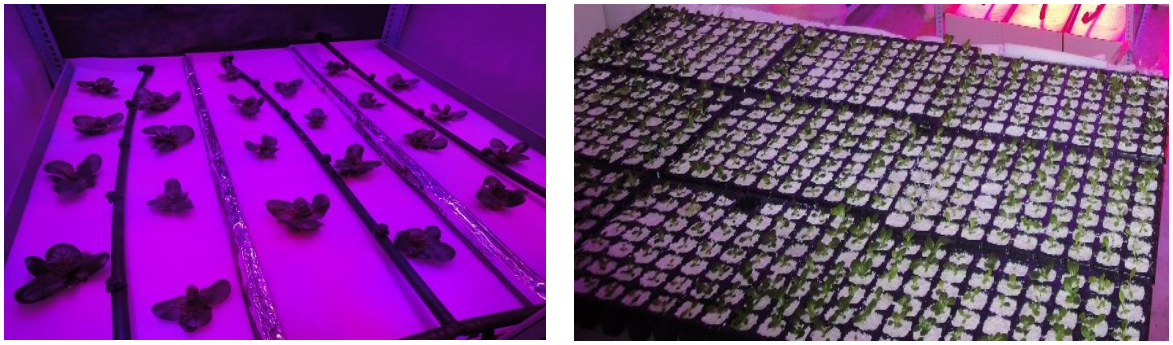
شکل ۲- طراحی و نقشه قرارگیری لامپ‌ها (آبی: ٤٤٠ nm نارنجی: ٦٣٥ nm قرمز: ٦٦٠ nm)

Fig. 2- Design and location map of lamps (blue: 440nm, orange: 635nm, red: 660nm)

در طبقهٔ اول تنها از ترکیب طیف نوری قرمز با طول‌موج‌های ۶۳۵ نانومتر و ۶۶۰ نانومتر استفاده شد (شکل ۲- الف). در طبقهٔ دوم از ترکیب طیف نوری قرمز (۷۵ درصد) و آبی (۲۵ درصد) با طول‌موج‌های ۶۶۰ نانومتر و ۴۴۰ نانومتر به‌ترتیب استفاده شد (شکل ۲- ب)، و در طبقهٔ سوم از ترکیب نورهای قرمز (۵۰ درصد)، آبی (۲۵ درصد) و قرمز دور (۲۵ درصد) با پیک طول‌موج ۶۶۰، ۴۴۵ و ۷۴۰ نانومتر به‌ترتیب استفاده شد (شکل ۲- ج). برای توزیع یکنواخت نور در هر طبقه ۳ ردیف وال واشر ۲۴ لامپی (۳۶ وات) در ابعاد ۳×۴×۱۰۰ سانتی‌متر قرار گرفت و دستگاه طوری طراحی شد که از تداخل نور در طبقات جلوگیری شود. شدت نور هر وال واشر از فاصله ۶۰ سانتی‌متری، با سنسور نوری (FluorPen ,Z990) ۲۵۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه اندازه‌گیری شد.

مواد گیاهی و شرایط رشدی

از کاهوی واریتهٔ پرطاووسی در این آزمایش استفاده شد. بذرهای کاهو ابتدا در داخل سینی‌های کشت ۷۰ سلولی (ابعاد سینی کشت: ۵۰×۲۷×۶ سانتی متر) و درون پرلیت کاشته شد. بذرها هر روز با آب مقطر در زیر نور سفید با شدت ۱۵۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و فتوپریود (ساعت نوردهی) ۱۶ ساعته، آبیاری می‌شدند. گیاهان پس از ۱۵ روز در مرحله ۳ تا ۴ برگی به بستر محیط کشت طبقاتی منتقل شدند. در مراحل اولیه از محلول غذایی نصف هوگلند، در مرحلهٔ ۴ برگ بالغ از نصف غلظت هوگلند و در انتهای رشد گیاه از غلظت کامل هوگلند استفاده شد. سپس گیاهان به مدت ۳۰ روز تحت نور ۲۴ ساعته در ترکیب‌های متفاوت طیف نوری (تیمارهای مختلف نوری که در جدول ۱ آمده است)، در شرایط دمایی ۲۱±۱ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ۱۰±۶۰ درصد قرار گرفتند (Johkan *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2014). پس از برداشت، وزن تر و خشک تمامی کاهوها اندازه‌گیری شد و طبق شکل ۳ رشد گیاه کاهو تحت تأثیر طیف نور قرار گرفت. در مجموع پس از گذشت تنها ۳۰ روز، ۷۲ کاهو از سیستم برداشت شد در حالی‌که فقط فضایی به ابعاد یک مترمربع اشغال شده بود.



شکل ۳- قرارگیری بذرهای کاهو راست: سینی‌های کشت و چپ: انتقال به گلخانه عمودی

Fig. 3- Placement of lettuce seeds right: cultivation trays and left: transfer to vertical greenhouse

اندازه‌گیری ویژگی‌های رشدی

در پایان دورهٔ رشد، ویژگی‌های رشدی شامل ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ریشه، حجم ریشه و وزن تر و خشک ریشه ارزیابی شد. برای تعیین ارتفاع گیاهان از خط‌کش با دقت یک میلی‌متر استفاده شد. پس از اندازه‌گیری مساحت سطح برگ (شکل ۴)، وزن تر و خشک اندام هوایی، قسمت‌های هوایی گیاهان از محل طوقه از ریشه جدا و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند. پس از توزین، نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی بسته‌بندی شدند و به مدت ۴ روز در آون با دمای ۸۰ درجهٔ سیلسیوس قرار گرفتند و مجدداً وزن شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر ریشه، ابتدا ریشه‌ها از بستر به آرامی خارج و پس از پاک شدن پرلیت باقی‌مانده از روی آن‌ها، وزن شدند؛ برای به‌دست آوردن حجم ریشه‌ها، از استوانهٔ مدرج حاوی مقدار مشخصی آب استفاده شد و تفاوت حجم آب در حضور ریشه و پیش از آن، به‌عنوان حجم ریشه ثبت گردید. سرانجام، ریشه‌ها در بسته‌های کاغذی بسته‌بندی شدند و به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجهٔ سیلسیوس قرار گرفتند. پس از گذشت زمان تعیین شده، نمونه‌ها وزن شدند.

محاسبات آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری این آزمایش از نرم‌افزار XLSTAT استفاده شد. پس از تجزیهٔ واریانس، میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد درطرح کاملا تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با پنج تکرار مقایسه شدند.

شکل .Error! No text of specified style in document- **نمونهٔ اجزای رویشی گیاه برای اندازه‌گیری در آزمایشگاه**

Fig. 4- Samples of vegetative parts of the plant for measurement in the laboratory

نتایج و بحث

ویژگی‌های رشدی

نتایج مقایسهٔ میانگین (انالیز واریانس) در جدول ۱ نشان می‌دهد داده‌های مربوط به ویژگی‌های رشدی کاهو در فتوپریود و طیف‌های نوری مختلف دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد در وزن تر اندام هوایی و دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد در ویژگی‌های رشدی شامل وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه در مورد اثر متقابل طیف نور و فتوپریود است.

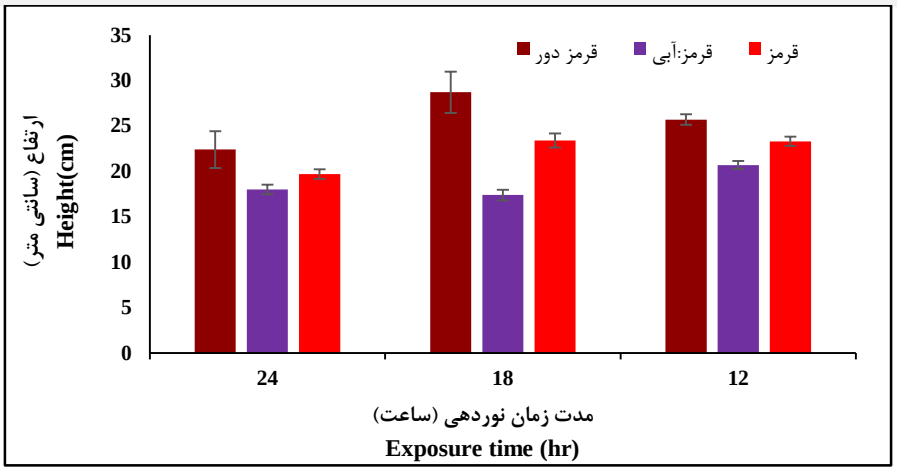
جدول .Error! No text of specified style in document- **نتایج مقایسهٔ میانگین ویژگی‌های رشدی**

Table 1- The results of comparing the average of growth characteristics

طیف نور (الف) light spectrum	فتوپریود (ب) photoperiod	ارتفاع کاهو (سانتی متر) height of lettuce	حجم ریشه (میلی لیتر) Root volume	طول ریشه (سانتی متر) root length	وزن تر (گرم) Wet weight		وزن خشک (گرم) Dry weight	
					اندام هوایی aerial organs	ریشه Root	اندام هوایی aerial organs	ریشه Root
قرمز دور FarRed	24	22.4 b-d	bc4.4	ab16	cd54.43	bc5.08	bc4.15	a-c0.45
	18.6	28.7 a	cd3.4	ab16	d44.36	cd3.49	cd3.17	cd0.31
	12.12	25.7 ab	b-d4	bc11.6	cd51.8	cd3.83	cd2.94	de0.19
آبی و قرمز Red&Blue	24	18 e	a7.6	ab16	a103.33	a7.64	a7.01	a0.61
	18.6	17.4 e	ab6.1	a-c13.4	b84.52	ab6.4	b5.25	ab0.56
	12.12	20.07 c-e	bc5	a-c13.6	c64.25	bc5.05	bc3.84	de0.24
قرمز Red	24	19.7 de	bc4.5	a16.6	a102.48	a-c5.95	a7.33	bc0.43
	18.6	23.4 bc	bc4.5	bc11.9	b83.9	a-c5.7	b4.99	cd0.36
	12.12	23.3 bc	d1.9	c9.8	۴۱,۷۴d	d2.37	d 2.28	e0.13
آزمون F	(الف)	**	**	ns	**	*	**	*
	(ب)	**	*	**	**	*	**	**
	(الف) × (ب)	*	ns	ns	**	ns	*	ns

ارتفاع ساقه

بر اساس نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین‌ها، بیشترین ارتفاع ساقه در نور قرمز دور و فتوپریود ۱۸ ساعت، و کمترین ارتفاع در نور قرمز-آبی با فتوپریود ۱۸ و ۲۴ ساعت مشاهده شد. در نوردهی ۲۴ ساعته کمترین ارتفاع در گیاهان رشد یافته در نور قرمز-آبی مشاهده شد در حالی‌که گیاهان رشد کرده در دیگر تیمارهای نوری تفاوت معنی‌داری در ارتفاع ساقه نداشتند و بیشترین ارتفاع را نشان دادند. در فتوپریود ۱۸ ساعته بیشترین ارتفاع مربوط به طیف نور قرمز دور و کمترین ارتفاع در نور قرمز- آبی مشاهده شد. نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین داده‌ها در فتوپریود ۱۲ ساعته نشان داد که بالاترین ارتفاع در نور قرمز دور و کمترین ارتفاع در نور قرمز-آبی است (اشکال ۶ و ۷).



شکل Error! No text of specified style in document.**- اثر متقابل تیمارهای مختلف نوری و فتوپریود بر ارتفاع کاهو**

Fig. 6- Interaction effect of different light treatments and photoperiod on lettuce height

شکل ۷- ارتفاع کاهو در الف) نور قرمز دور، ب) قرمز و ج) قرمز:آبی، ارتفاع کاهوهای تحت تیمار نور قرمز دور ۲۴ ساعته (۴۵ روز)

Fig. 7- height of lettuce in a) far red light, b) red and c) red-blue, height of lettuce treated with 24-hour red light (45 days)

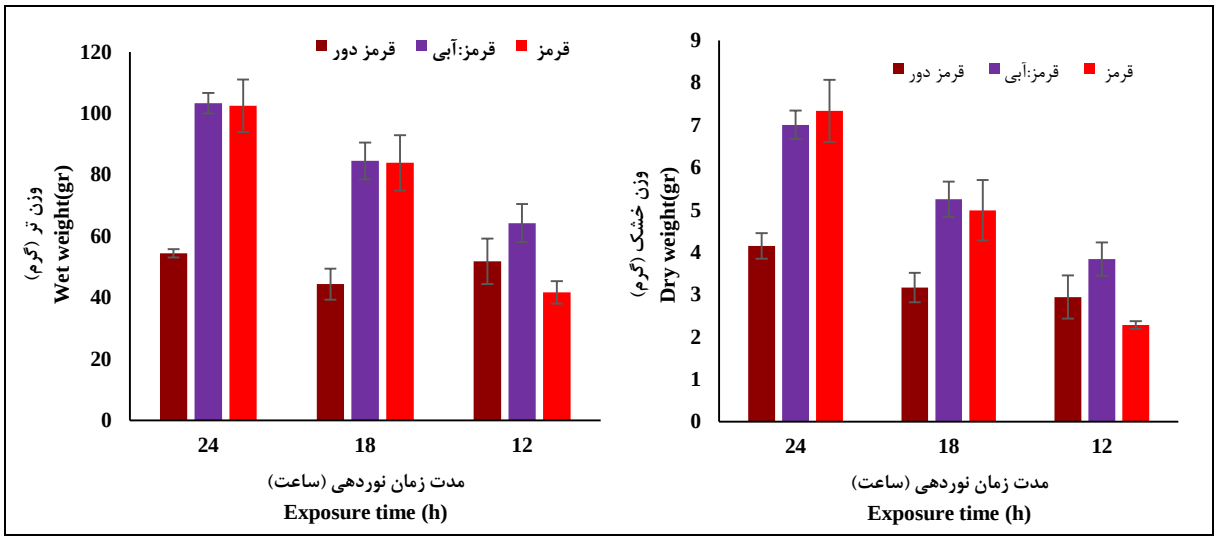
در بین طیف‌های مختلف نور، قرمز دور می‌تواند بر بسیاری از فرآیندهای گیاهی، از جمله طول ساقه، تأثیر داشته باشد و باعث افزایش آن شود به نظر می‌رسد گیرنده‌های نور آبی نقش مهمی در پاسخ به فتوپریود بازی کند (Guo *et al.*, 1998).

وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج مقایسهٔ میانگین صفات رشدی و مورفولوژی در گیاهان تحت تیمار فتوپریود در طیف‌های مختلف نور به این صورت بود که بیشترین میزان وزن تر در فتوپریود ۲۴ ساعته و در تیمارهای نوری قرمز و قرمز-آبی مشاهده شد. کمترین میزان وزن تر در نوردهی ۲۴ ساعته مربوط به نور قرمز دور بود. در تیمار فتوپریود ۱۸ ساعته کمترین میزان وزن تر مربوط به نور قرمز دور بود و بیشترین میزان وزن تر در تیمارهای نوری قرمز دور و قرمز-آبی مشاهده شد که در یک سطح قرار گرفتند. در نوردهی ۱۲ ساعته، اگرچه اختلاف معنی‌داری بین طیف‌های نوری مختلف وجود نداشت اما بیشترین و کمترین میزان وزن تر به ترتیب مربوط به نور قرمز-آبی و قرمز بود (شکل ۸).

بیشترین وزن خشک اندام هوایی در فتوپریود ۲۴ ساعته و کمترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۱۲ ساعته با نور قرمز بود. بیشترین میزان وزن خشک در نوردهی ۲۴ ساعته در طیف‌های مختلف نوری مربوط به نور قرمز و پس از آن مربوط به نور قرمز-آبی، و کمترین میزان مربوط

به نور قرمز دور بود. در نوردهی ۱۸ ساعته وزن خشک در تیمار نوری قرمز و ترکیب قرمز-آبی نسبت به تیمار دیگر بیشتر و در یک سطح بود. در تیمار ۱۲ ساعته، بیشترین وزن خشک در تیمار قرمز-آبی و بعد از آن در تیمار نوری قرمز دور مشاهده شد (شکل ۸). در آزمایش‌های گزارش شده با گفته شده است با افزایش میزاننوردهی وزن خشک و تراکم اندام هوایی کاهو افزایش می‌یابد (Knight & Mitchell, 1983; Koontz & Prince, 1986).



شکل ۸- اثر متقابل تیمارهای مختلف نوری و فتوپریود بر وزن تر و خشک اندام هوایی

Fig. 8- Interaction effect of different light treatments and photoperiod on wet&dry weight of shoot

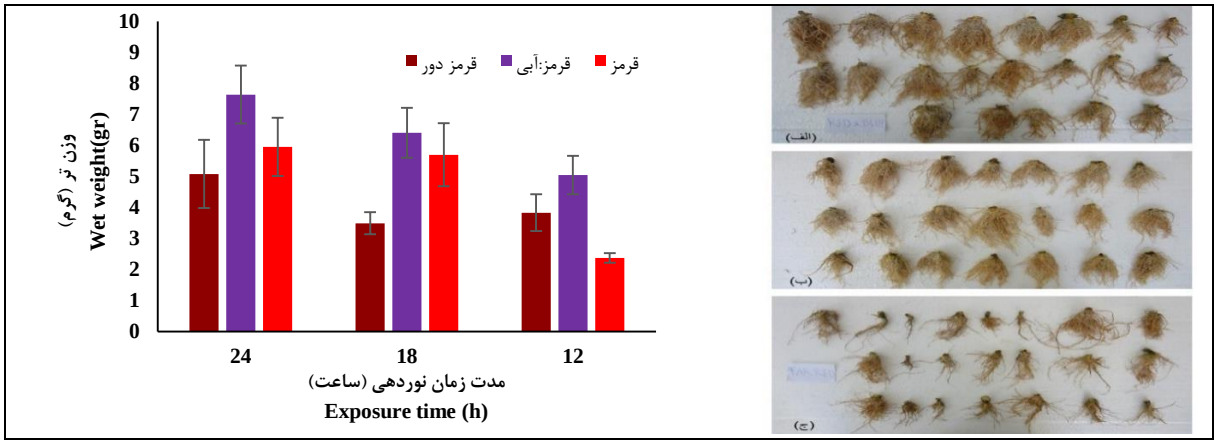
وزن تر ریشه

نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان می‌دهند بالاترین وزن تر ریشه در فتوپریود ۲۴ ساعته در نور قرمز-آبی و کمترین میزان آن در فتوپریود ۱۲ ساعته در تیمار نوری قرمز است. اگرچه در نوردهی ۲۴ ساعته بیشترین و کمترین وزن تر ریشه به‌ترتیب در ترکیب نوری قرمز-آبی و قرمز دور ثبت شده است اما با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. در نوردهی ۱۸ ساعته نیز کمترین مقدار وزن تر ریشه در نور قرمز دور به‌دست آمده است، در حالی‌که نور قرمز با نور قرمز-آبی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در تیمار ۱۲ ساعته، کمترین مقدار وزن تر ریشه در نور قرمز به‌دست آمده است در حالی‌که بیشترین مقدار در نور قرمز-آبی مشاهده شده است (شکل ۹). مطالعات گذشته نشان داده‌اند که ترکیب نوری قرمز-آبی تأثیر بسزایی در افزایش وزن تر ریشهٔ کاهو دارد (Dougher & Bugbee, 2001).

وزن خشک ریشه

با توجه به نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها، کمترین مقدار وزن خشک ریشه در فتوپریود ۱۲ ساعته و نور قرمز و بیشترین مقدار آن در تیمارهای نوری قرمز-آبی در دو نوردهی ۲۴ و ۱۸ ساعته مشاهده شده است. در نوردهی ۲۴ ساعته کمترین مقدار وزن خشک برای تیمار نور قرمز و قرمز دور ثبت شد که این دو تیمار با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. به‌طور مشابه، در نوردهی ۱۸ ساعته نیز کمترین مقدار وزن خشک ریشه در نور قرمز و قرمز

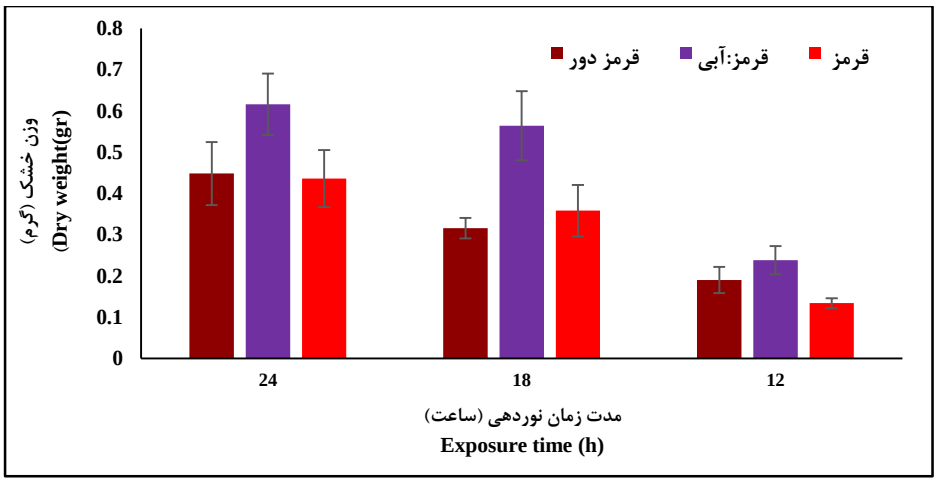
دور مشاهده شد که اختلاف معنی‌دار نبود. در بین همه تیمارهای نوردهی، کمترین مقدار وزن خشک مربوط به فتوپریود ۱۲ ساعته بود که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای نور قرمز-آبی و قرمز دور مشاهده نشد (شکل ۱۰). اضافه کردن نور آبی به ترکیب نوری به‌منظور پرورش گیاهانی مانند کاهو و توت فرنگی باعث افزایش وزن خشک ریشه می‌شود (Nhut *et al*., 2003).



شکل Error! No text of specified style in document.**- اثر متقابل تیمارهای مختلف نوری و فتوپریود بر وزن تر ریشه و ریشه کاهوهای رشد یافته در نوردهی ۲٤ ساعته**

الف) قرمز:آبی، ب) قرمز و ج) قرمز دور

Fig. 9- The interaction effect of different light treatments and photoperiod on root wet weight and roots of lettuces grown in 24-hour exposure a) red: blue, b) red and c) far red



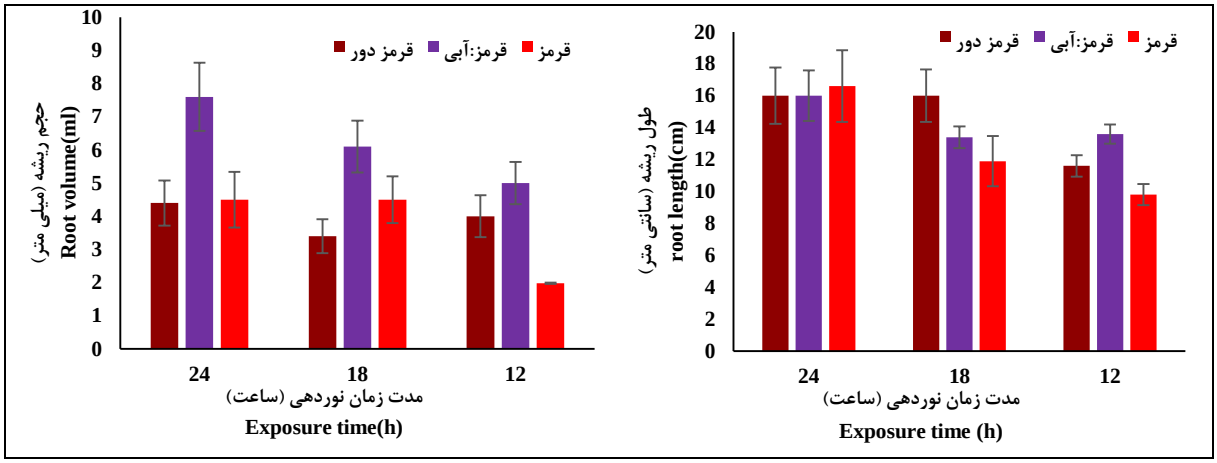
شکل Error! No text of specified style in document.**۱۰- اثر متقابل تیمارهای مختلف نوری و فتوپریود بر وزن خشک ریشه**

Fig. 10- Interaction effect of different light treatments and photoperiod on root dry weight

حجم و طول ریشه

بر اساس نتایج به‌دست آمده از مقایسهٔ میانگین داده‌ها، بیشترین حجم ریشه در نوردهی ۲۴ ساعته و در نور قرمز-آبی و کمترین مقدار آن در نوردهی ۱۲ ساعته و در نور قرمز بود. حجم ریشه در فتوپریود ۲۴ ساعته کمترین مقدار را در تیمارهای نوری قرمز و قرمز دور داشت و میانگین آن‌ها با یکدیگر تفاوت معناداری

نداشت. حجم ریشه در نوردهی ۱۸ ساعته در نور قرمز-آبی بالاترین و در نور قرمز دور در کمترین میزان خود بود که این میزان با حجم ریشه در نور قرمز تفاوت معناداری نشان نداد. در فتوپریود ۱۲ ساعته، حجم ریشه در تیمارهای نوری قرمز دور و قرمز-آبی بالاترین مقدار را داشت که البته تفاوت معنی‌داری در حجم ریشه در بین این دو تیمار نوری مشاهده نشد (شکل ۱۱). وجود نور آبی در ترکیب نوری برای پرورش گیاهانی مانند کاهو و ارکیده باعث افزایش حجم ریشه می‌شود Shin *et al.*, (2008). بیشترین طول ریشه در نوردهی ۲۴ ساعته و همه تیمارها و نوردهی ۱۸ ساعته در نور قرمز دور و کمترین طول ریشه در فتوپریود ۱۲ ساعته و در نور قرمز مشاهده شد. در فتوپریود ۲۴ ساعته، اختلاف معناداری بین تیمارهای نوری مشاهده نشد. در فتوپریود ۱۸ ساعته، بالاترین طول ریشه در نور قرمز دور مشاهده شد در حالی‌که گیاهان رشد کرده در دیگر تیمارهای نوری تفاوت معناداری در طول ریشه نداشتند و کمترین طول را نشان دادند. نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین داده‌ها در نوردهی ۱۲ ساعته نشان داد که بیشترین طول ریشه در نور قرمز-آبی و پس از آن در نور قرمز دور و کمترین طول ریشه در نور قرمز مشاهده شده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- اثر متقابل تیمارهای مختلف نوری و فتوپریود بر حجم ریشه

Fig. 11- Interaction effect of different light treatments and photoperiod on root volume

نتیجه‌گیری

در محیط کشت طبقاتی با کمک نور لامپ‌های LED نه‌تنها میزان تابش نور قابل تنظیم است، بلکه می‌توان طیف نوری تابیده شده به هر گیاه را به‌صورت جداگانه تعیین کرد. متغیرهای دیگر مانند دما و رطوبت نیز به‌طور دائم کنترل می‌شوند. در پژوهش حاضر، با بررسی دقیق کارایی محیط کشت، فتوسنتز و اثرهای متقابل کیفیت نور و مدت‌زمان نوردهی بر عملکرد محصول کاهوی واریتهٔ پرطاووسی بررسی و نتایج آن نشان داد که ترکیب دقیق طیف نور و فتوپریود مناسب باعث افزایش عملکرد کاهو می‌شود. در بررسی طول ساقه، طیف نوری قرمز دور بیشترین نقش را در ارتفاع گیاه داشته است. با در نظر گرفتن این موضوع که نور قرمز دور تنها ۲۵ درصد از تعداد لامپ‌ها را تشکیل می‌داد، اما کاهوهای رشد کرده در تیمارهای قرمز دور در تمام فتوپریودهای مختلف بیشترین ارتفاع را داشتند. بیشترین میزان ارتفاع ساقه محصولات در تیمار ۱۸

ساعته در ترکیب نوری قرمز دور، آبی و قرمز ثبت شد. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در نوردهی ۲۴ ساعته و در تیمارهای قرمز و آبی قرمز بود. که نشان‌دهندهٔ آن است که نوردهی دائمی باعث افزایش رشد رویشی گیاهان می‌شود. کمترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی در نوردهی ۱۲ ساعته مشاهده شد. در مورد وزن تر و خشک ریشه می‌توان گفت که کمترین مقدار آن در نوردهی ۱۲ ساعته به ثبت رسیده است. اگرچه بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه در نوردهی ۲۴ ساعته بود، اما می‌توان گفت اختلاف قابل توجهی با نوردهی ۱۸ ساعته نداشته است. کیفیت نور نیز در وزن تر و خشک ریشه بی‌تأثیر نبوده است. به‌وضوح در تمام تیمارهای نوردهی می‌توان مشاهده کرد که بیشترین مقدار در ترکیب نور قرمز و آبی رخ داده است و در دیگر ترکیب‌های نوری اختلاف معناداری مشاهده نشد. در مورد حجم ریشه نیز همین امر صادق است و بیشترین مقدار حجم ریشه را کاهوهای رشد کرده در زیر طیف نوری قرمز و آبی در نوردهی ۲۴ ساعته داشته‌اند. طیف نوری قرمز منجر به افزایش رشد رویشی کاهو شد، اما باعث ایجاد اختلالات مورفولوژیکی در گیاه نیز شده است. با اضافه کردن طیف نوری آبی این اختلالات کاهش یافتند اما به‌طور کامل از بین نرفتند. بهترین عملکرد کاهو با تلفیق طیف نوری قرمز (۵۰ درصد)، آبی (۲۵ درصد) و قرمز دور (۲۵ درصد) در فتوپریود ۱۸ ساعت پیشنهاد می‌شود. با توجه به تغییرات در ارتفاع طبقات، تغییر ترکیب نوری و تغییر در ساعات نوردهی این سیستم کشت دارای انعطاف بالایی است. محیط‌های کشت گیاه با نور مصنوعی با افزایش عملکرد تولید در صورت باصرفه بودن مصرف برق می‌تواند جایگزین مناسبی برای کشاورزی سنتی باشد.

قدردانی

نویسندگان مقاله از گروه فنی کشاورزی و گروه باغبانی دانشکده فناوری ابوریحان، دانشگاه تهران به پاس حمایت‌های خوبشان سپاسگزاری می‌کنند.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Bula, R., Morrow, R., Tibbitts, T., Barta, D., Ignatius, R., & Martin, T. (1991). Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience, 26*(2), 203-205 .

Chen, X. L., Guo, W. Z., Xue, X. Z., Wang, L. C., & Qiao, X. J. (2014). Growth and quality responses of ‘Green Oak Leaf’lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Scientia Horticulturae, 172*, 168-175 . https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.009.

Despommier, D. (2011). The vertical farm: controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 6*(2), 233-236. https://doi.org/10.1007/s00003-010-0654-3.

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)073<0199:ditrow>2.0.co;2.

Eigenbrod, C., & Gruda, N. (2015). Urban vegetable for food security in cities. A review. *Agronomy for Sustainable Development, 35*(2), 483-498. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0273-y.

Emmerich, J. C., Morrow, R. C., Clavette, T. J., Sirios, L. J., & Lee, M. C. (2004). Plant Research Unit lighting system development (0148-7191). *SAE Technical Paper*, 2004-01-2454. https://doi.org/10.4271/2004-01-2454.

Goins, G. D., Ruffe, L. M., Cranston, N. A., Yorio, N. C., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2001). Salad crop production under different wavelengths of red light-emitting diodes (LEDs) (0148-7191). *SAE Technical Papers*. https://doi.org/10.4271/2001-01-2422.

Guo, H., Yang, H., Mockler, T. C., & Lin, C. (1998). Regulation of flowering time by Arabidopsis photoreceptors. *Science, 279*(5355), 1360-1363. https://doi.org/10.1126/science.279.5355.1360.

Hogewoning, S. W. (2010). An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra. *Journal of experimental botany, 61*(5), 1267-1276 . https://doi.org/10.1093/jxb/erq005.

Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S. N., & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience, 45*(12), 1809-1814. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809.

Kasajima, S. Y., Inoue, N., Mahmud, R., & Kato, M. (2008). Developmental responses of wheat cv. Norin 61 to fluence rate of green light. *Plant Production Science, 11*(1), 76-81. https://doi.org/10.1626/pps.11.76 .

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). https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1617.

Knight, S. L., & Mitchell, C. A. (1983). Stimulation of lettuce productivity by manipulation of diurnal temperature and light. *HortScience, 18*(4), 462-463. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.18.4.462.

Koontz, H., & Prince, R. (1986). Effect of 16 and 24 hours daily radiation (light) on lettuce growth. *HortScience, 21*(1), 123-124 https://doi.org/10.21273/HORTSCI.21.1.123.

Kozai, T. (2013a). Plant factory in Japan-current situation and perspectives. *Chronica Horticulture, 53*(2), 8-11. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00001-7.

Kozai, T. (2013b). Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy, Series B, 89*(10), 447-461. https://doi.org/10.2183/pjab.89.447.

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.

Lillo, C., & Appenroth, K. J. (2001). Light regulation of nitrate reductase in higher plants: Which photoreceptors are involved? *Plant Biology, 3*(5), 455-465. https://doi.org/10.1055/s-2001-17732.

Massa, G. D., Emmerich, J. C., Morrow, R. C., Bourget, C. M., & Mitchell, C. A. (2007). Plant-growth lighting for space life support: A review. *Gravitational and Space Research, 19*(2). https://doi.org/10.1080/23818107.2016.1194228.

Mitchell, C. A., Both, A. J., Bourget, C., Burr, J., Kubota, C., Lopez, R., Morrow, R. C., & Runkle, E. (2012). LEDs: The future of greenhouse lighting! *Chronica Horticulturae, 52*(1), 6-12.

Miyashita, Y., Kimura, T., Kitaya, Y., Kubota, C., & Kozai, T. (1994). *Effects of red light on the growth and morphology of potato plantlets in vitro: using Light Emitting Diodes (LEDS) as a light source for*

micropropagation. Proceedings of the ISHS Acta Horticulturae 418: III International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture, Dec. 1, Noordwijkerhout, Netherlands.

Nhut, D. T., Takamura, T., Watanabe, H., Okamoto, K., & Tanaka, M. (2003). Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 73*(1), 43-52. https://doi.org/10.1023/A:1022638508007.

Nijssen, C. T., Kuhn, O. A., & Verbeek, W. (1990). Method and device for lighting seeds or plants. Patent number: 4914858. Available at: https://patents.justia.com/patent/4914858.

Nishio, J. (2000). Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement. *Plant, Cell & Environment, 23*(6), 539-548. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00563.x.

Ohyama, K., Murase, H., Yokoi, S., Hasegawa, T., & Kozai, T. (2005). A precise irrigation system with an array of nozzles for plug transplant production. *Transactions of the ASAE, 48*(1), 211-215. https://doi.org/10.13031/2013.17956.

Ohyama, K., Takagaki, M., & Kurasaka, H. (2008). Urban horticulture: Its significance to environmental conservation. *Sustainability Science, 3*(2), 241-247. https://doi.org/10.1007/s11625-008-0054-0.

Ono, E., & Watanabe, H. (2006). Plant factories blossom. *Resource, 13*(2), 13-14 .

Pessu, P., Agoda, S., Isong, I., & Ikotun, I. (2011). The concepts and problems of postharvest food losses in perishable crops. *African Journal of Food Science, 5*(11), 603-613.

Purves, W. K., Purves, W. K., Orians, G. H., Sadava, D., & Heller, H. C. (2003). *Life: The science of biology: Plants and animals.* Vol. III. W H Freeman & Co Pub.

Resh, H. M. (2016). *Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. ISBN 9780367678753. CRC Press.

Schuerger, A. C., & Brown, C. S. (1997). Spectral quality affects disease development of three pathogens on hydroponically grown plants. *HortScience, 32*(1), 96-100. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.32.1.96.

Shin, K. S., Murthy, H. N., Heo, J. W., Hahn, E. J., & Paek, K. Y. (2008). The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured Doritaenopsis plants. *Acta Physiologiae Plantarum, 30*(3), 339-343. https://doi.org/10.1007/s11738-007-0128-0.

Stutte, G. W., Edney, S., & Skerritt, T. (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *HortScience, 44*(1), 79-82. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.79.

Tarakanov, I., Yakovleva, O., Konovalova, I., Paliutina, G., & Anisimov, A. (2012). *Light-emitting diodes: On the way to combinatorial lighting technologies for basic research and crop production. Proceedings of the VII International Symposium on Light in Horticultural Systems.* Oct. 15-18, Wageningen (Netherlands).

Tennessen, D. J., Singsaas, E. L., & Sharkey, T. D. (1994). Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynthesis research, 39*(1), 85-92. https://doi.org/10.1007/BF00027146.

Vänninen, I., Pinto, D., Nissinen, A., Johansen, N., & Shipp, L. (2010). In the light of new greenhouse technologies: 1. Plant-mediated effects of artificial lighting on arthropods and tritrophic interactions. *Annals of Applied Biology, 157*(3), 393-414. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00438.x

Xu, H. L., Xu, Q., Li, F., Feng, Y., Qin, F., & Fang, W .(2002). Applications of xerophytophysiology in plant production-LED blue light as a stimulus improved the tomato crop. *Scientia Horticulturae, 148*, 190-196. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.06.044.

Yanagi, T., Okamoto, K., & Takita, S. (1996). *Effect of blue and red light intensity on photosynthetic rate of strawberry leaves. Proseedings of the International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems 440.* Aug. 26-29, Narita, Japan. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.440.65.

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.25/No.89/Spring 2024/P:15-30
Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir

Research Paper

The Effect of Light Quality and Quality and Duration of LED on the Growth of Lettuce in a Vertical Greenhouse

Gh. Chegini*, M. R. Khoramtabrizi and S. Aliniaeifard

*Corresponding Author: Associate Professor, Department of Agrotechnolgy, University of Tehran, Pakdasht, Iran.
Email: chegini@ut.ac.ir
Received: 27 July 2024, Accepted: 14 October 2024
https://doi.org/10.22092/amsr.2024.366698.1497

Abstract

Using controlled environments with stratified cultivation with artificial light is one of the alternative ways to produce agricultural products in urban spaces. With the spectrum of different lights shined by LED lamps, the conditions of plant photosynthesis can be provided in the highest form along with other important parameters of plant growth in these greenhouses. In this research, the growth of lettuce was evaluated in different spectrums of artificial light using a stratified culture medium. In this greenhouse, three different combinations of light spectra : (100% red), (75% red + 25% blue), (50% red + 25% blue + 25% far red), with three exposure treatments of 12, 18 and 24 hours with light intensity of 250 µmol/m2/s were evaluated for lettuce cultivation with hydroponic feeding system. Two hundred sixteen (216) lettuce plants were fully grown in this greenhouse and the red light spectrum had the highest performance. By carefully examining the efficiency of the photosynthesis device and the mutual effects of light quality and exposure time on the performance of Pertavosi variety lettuce, it was concluded that the precise combination of light spectrum and appropriate photoperiod help increasing the yield of lettuce. The far-red light spectrum played the greatest role in plant height. The highest wet and dry weight of shoot was obtained in 24-hour exposure and in red and blue-red treatments. The wet and dry weight of the root was recorded with the lowest amount of exposure of 12 hours. The results showed that permanent exposure increased the vegetative growth of plants.

Keywords: Artificial Light, Greenhouse, Light Spectrum, Vertical Farming

© 2024 Agricultural Mehanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)