فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۲، شماره ۵۴، خرداد و تیرماه ۱۴۰۲ صفحه: ۲۵۹-۲۷۴

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر پرایمینگ با نور LED بر شاخص‌های رشد، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان ترکیبات فنولیک کل در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) تحت تنش شوری

معصومه رفیعی دمنه[۱]، لیلا شبانی[۱و۲*] و محمد رضا سبزعلیان[۳]

[۱]گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

[۲]پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

[۳] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۰/۲۸، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۷/۰۲)

چکیده

پرایمینگ، قرار گرفتن موجودات یا سلول‌ها در معرض میزان کمی از عوامل خسارت‌زای فیزیکی یا شیمیایی است که موجود زنده را برای قرار گرفتن در معرض تنش بعدی از طریق پاسخ بهبود یافته آماده می‌کند. بر این اساس در این مطالعه تأثیر پیش تیمار چهار نور مختلف LED شامل نور LED قرمز، نور LED قرمز (۷۰٪) + آبی (۳۰٪)، نور LED آبی و نور LED سفید در مقایسه با نور گلخانه بر روی دو ژنوتیپ سبز و بنفش گیاه ریحان شیرین در شرایط شاهد و تنش شوری با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl مورد بررسی قرار گرفت. جهت انجام پژوهش، بذرهای دو ژنوتیپ سبز و بنفش ریحان شیرین در گلدان‌های حاوی خاک لومی شنی کشت داده شد. پس از گذشت ۵۰ روز، تعداد ۴۸ گلدان به اتاقک حاوی لامپ‌های LED منتقل شد و تعداد ۱۲ گلدان در گلخانه نگهداری شد. پس از دو هفته گلدان‌ها از اتاقک حاوی لامپ‌های LED به گلخانه منتقل شدند و تیمار شوری به مدت دو هفته اعمال شد. نتایج نشان داد تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl سبب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و کلروفیل *a* و افزایش میزان پراکسید هیدروژن، فعالیت آنزیم کاتالاز و ترکیبات فنولیک کل در هر دو ژنوتیپ در شرایط نور گلخانه شد. در شرایط شاهد نوری در هر دو ژنوتیپ، نور LED قرمز + آبی نسبت به بقیه نورها وزن تر و خشک اندام هوایی، میزان کلروفیل *a* و ترکیبات فنولیک کل را افزایش و محتوای پراکسید هیدروژن را کاهش داد. در شرایط شوری نتایج نشان داد که پیش تیمار با نور LED قرمز + آبی در ژنوتیپ سبز و LED قرمز در ژنوتیپ بنفش سبب افزایش وزن تر اندام هوایی (به‌ترتیب ۶۵ درصد و ۵۲ درصد) و وزن خشک اندام هوایی (به‌ترتیب ۲ برابر و ۷۳ درصد)، کلروفیل *a* (به‌ترتیب ۹۸ درصد و ۵۸ درصد)، ترکیبات فنولیک کل (به‌ترتیب ۲ برابر و ۲۰ درصد) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن (به‌ترتیب ۳۳ درصد و ۷۲ درصد) نسبت به گیاهان پیش تیمار نشده با این نورها شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از پیش‌تیمار LED (نور LED قرمز + آبی در ژنوتیپ سبز و LED قرمز در ژنوتیپ بنفش) با تقویت مکانیسم‌های حمایتی مانند کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، ترکیبات فنلی و رنگیزه‌های فتوسنتزی، در بهبود وضعیت گیاه ریحان در هر دو شرایط شاهد نوری و شوری نقش بسزایی داشته است.

کلمات کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ترکیبات فنولیک، تنش شوری، دیودهای ساطع‌کننده نور (LED)، ریحان

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: lshabani@gmail.com; shabani-l@ sku.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

مقدمه

امروزه با توجه به رشد جمعیت و نیاز روز افزون بشر به افزایش تولید مواد غذایی و منابع غذایی غنی و با کیفیت، مناطق قابل کشت محدود و شرایط خاص آب و هوایی، کشاورزی کنترل شده به گزینه‌ای جذاب برای تولیدکنندگان تبدیل شده است (Dou *et al*., 2017). از این‌رو بشر به سمت کشاورزی گلخانه‌ای و شهری مثل کشت‌های عمودی روی آورده است تا بتواند محصولات کشاورزی را در تمام طول سال تولید کند (Massa, 2006). در گذشته کاشت گیاهان در محیط‌های کنترل شده دارای محدودیت‌هایی از نظر منابع نوری بود، در این محیط‌ها میزان ثابت و پایداری از انرژی تابشی با جریان بالای فوتون فتوسنتزی و طیف نوری نزدیک به طیف نور خورشید فراهم نمی‌شد (Darko *et al*., 2014). اخیراً، تعداد زیادی از مطالعات اثرات مفید نور LED بر رشد و کیفیت گیاهان را نشان داده‌اند (Peng *et al*., 2015; Qian *et al*., 2016; Samuolienė *et al*., 2017). مطالعات اخیر نشان‌دهنده نقش مثبت LEDها به‌عنوان منبع نوری گیاه در افزایش رشد و مقاومت گیاه است. این اثرات می‌تواند به دلیل طول‌موج‌های خاص نورهای LED و راندمان بالای تبدیل فتوالکتریک آن‌ها باشد. همچنین LEDها قادر به شبیه‌سازی و تقلید شدت و طول‌موج نور خورشید در طول روز هستند، و در میان سیستم‌های نورپردازی مصنوعی، حداکثر بازده PAR (تابش‌های فعال فتوسنتزی) (٪۱۰۰–۸۰) را نشان می‌دهند. بنابراین از طریق کنترل ترکیب این طیف‌ها و تعدیل شدت نور، مقدار و کیفیت نور ضروری برای مراحل مختلف رشد گیاه عرضه می‌شود. از این‌رو زیست‌توده و محصولات متابولیسم گیاهان کاشت شده می‌تواند اصلاح شود (Darko *et al*., 2014). لامپ‌های LED با شدت نور بالای خود تولید متابولیت‌های ثانویه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (Sung *et al*., 2013). به‌عنوان مثال، در ریحان نور LED آبی متابولیت‌های ثانویه مانند آسکوربات کل، ترکیبات فنلی کل، آنتوسیانین، محتوای فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده است (Al Murad *et al*., 2021).

پرایمینگ توانایی آماده شدن برای بهبود القا پاسخ‌های تنش و همچنین وسیله‌ای برای جلوگیری از تأخیر در القا پاسخ ماندگار است. تجربه تنش اول ممکن است ارگانیسم را برای پاسخ بهبود یافته به تنش بعدی آماده کند. برای مثال، قرار گرفتن گیاه در معرض تنش غیرزیستی خفیف می‌تواند گیاه را برای مقاومت علیه تنش‌های شدید بعدی نظیر گرما، سرما، خشکی و تنش اسمزی آماده کند (Hilker *et al*., 2016). در شرایط مطلوب، می‌توان گیاهان را برای مقابله با تنش‌های محیطی در سطح مولکولی و فیزیولوژیکی آماده کرد. در این راستا، آماده‌سازی گیاهان با مولکول‌های شیمیایی برون‌زا به عنوان یک ابزار امیدوارکننده به آن‌ها کمک می‌کند تا در برابر تنش‌های غیرزنده تحمل ایجاد کنند. با این حال، استفاده از نور به جای مواد شیمیایی برای کنترل ساختار گیاه می‌تواند اثرات زیست محیطی را کاهش دهد (Abidi *et al*., 2013). دخالت کیفیت‌های مختلف نور در فعال شدن واکنش‌های اولیه و ثانویه مرتبط با متابولیسم نشان داده شده است. مطالعات نشان داده که وقتی موجودات در معرض مقادیر پایینی از پرتوهای یونیزه کننده مثل پرتو فرابنفش قرار گیرند، افزایش میزان تقسیم سلول و زنده ماندن سلول‌ها در شرایط سخت در این گونه موجودات مشاهده می‌شود. از آن‌جایی که این گونه پاسخ‌ها می‌توانند از نظر تکاملی و حفاظت بیولوژیک حائز اهمیت باشند، بنابراین بررسی جنبه‌های کاربردی پرتوهای مصنوعی در کشاورزی جهت مقاوم نمودن گیاهان به تنش‌های محیطی موضوع جالبی به نظر می‌رسد (علیمرادی و منوچهری، ۱۳۸۷). همان‌طور که بیان شد اخیراً، لامپ‌های LED به‌عنوان منبع نوری جایگزین برای گیاهان توسعه یافته‌اند. LEDها می‌توانند طول‌موج خاصی از شار فوتون کافی را ایجاد کرده و طیف نوری سفارشی را برای حداکثر تولید گیاهان ایجاد کنند (Manivannan *et al*., 2015). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که ویژگی‌های رشد و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی را می‌توان با استفاده از لامپ‌های LED کنترل کرد (Manivannan *et al*., 2015; Lobiuc *et al*., 2017; Ali *et al*., 2019). به‌عنوان مثال Ahmadi و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

پیش تیمار دو ژنوتیپ گیاه دارویی بادرنجبویه با طول‌موج‌های مختلف نور LED تحمل این گیاه را به تنش خشکی افزایش داده است. He و همکاران (۲۰۲۱) دریافتند پرایمینگ *Mesembryanthemum crystallinum* با نور LED قبل از تنش شوری سبب افزایش بهره‌وری و کیفیت غذایی می‌شود.

تنش‌های محیطی زیادی نظیر تغییرات گسترده آب و هوایی کره زمین، بروز خشکسالی و تشدید تنش شوری، بر عملکرد گیاهان زراعی و سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی تأثیر می‌گذارند (Sudha and Ravishankar, 2003). شوری پس از خشکی یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین مشکلات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است که مزارع را غیرحاصلخیز کرده و یکی از معضلات کشاورزی به خصوص در ایران به شمار می‌رود. شوری، رشد و عملکرد گیاهان را در بسیاری از مناطق جهان و بسیاری از محصولات کشاورزی کاهش می‌دهد (Qaseminezhad *et al*., 2011). در بسیاری از مطالعات فیزیولوژیک، ممانعت از رشد گیاه به‌واسطه شوری به کاهش در فتوسنتز نسبت داده شده است. کاهش شدت فتوسنتز ناشی از تنش شوری به‌دلیل عوامل متعددی نظیر دهیدراتاسیون غشا سلول و در نتیجه کاهش نفوذپذیری CO_2، سمیت ناشی از نمک، کاهش میزان CO_2 به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها و نیز کاهش مصرف NADPH از طریق چرخه کالوین، تسریع در فرایند پیری در نتیجه شوری، تغییر فعالیت آنزیم‌ها به دلیل تغییرات ساختاری در سیتوپلاسم است (Abdel Latef *et al*., 2018).

ریحان (*Ocimum basilicum*) یکی از گیاهان مهم متعلق به تیره نعناع (Lamiaceae) است که به عنوان گیاه دارویی، ادویه‌ای و همچنین به صورت سبزی تازه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ozcan *et al*., 2005). ترکیبات فیتوشیمیایی ریحان شیرین از طریق چندین مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است و در حال حاضر بیش از ۲۰۰ ترکیب فیتوشیمیایی مانند مونوترپن‌ها، لیمونن، میرسن، ترپینولن، فلاونوئیدها (کوئرستین، کامپفرول، روتین، آپی‌ژنین و کاتچین)، اسیدهای فنولیک (پارا کوماریک، کافئیک، کافتریک، سینامیک، سیناپیک، رزمارینیک و فرولیک اسید)، استروئیدها و ویتامین‌ها (A، C، E، K) در این گیاه شناسایی شده است (Marvat *et al*., 2011). این ترکیبات به عنوان آنتی‌اکسیدان قوی عمل می‌کنند، و به‌واسطه وجود این ترکیبات در گیاه ریحان، این گیاه کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی، آرایشی، بهداشتی، داروسازی و پزشکی دارد (Cook and Samman, 1996).

با توجه به گزارش‌های ذکر شده در بالا، اثرات مفید پرایمینگ با واسطه نور LED بر هر دو تنش زیستی و غیرزیستی مشهود است، و همچنین با توجه به معضل کمبود آب‌های شیرین، در مطالعه حاضر پیش تیمار چهار منبع نور LED (قرمز، قرمز+ آبی، آبی و سفید) قبل از تنش NaCl در دو ژنوتیپ (سبز و بنفش) ریحان (*O. basilicum*) به‌کار برده شد و تأثیر پرایمینگ با واسطه لامپ‌های LED در هر دو شرایط شاهد نوری و شوری بر میزان وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل *a* و *b*، محتوای پراکسید هیدروژن، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان ترکیبات فنولیک کل بررسی شد.

مواد و روش‌ها

کاشت گیاهان و اعمال تیمار: در آبان ماه سال ۱۳۹۸ بذرهای ریحان سبز و بنفش خریداری شده از شرکت پاکان بذر اصفهان ابتدا با محلول اتانول (۷۰ درصد حجمی) به طور کامل استریل شدند. سپس در گلدان‌های (قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) حاوی خاک لومی شنی با pH برابر ۷/۷۸ کشت شدند و در گلخانه دانشگاه شهرکرد نگهداری شدند. نهال‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۷۰ درصد با دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی ۸ ساعت تاریکی رشد کردند. تمام گلدان‌ها با ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول نیم قدرت هوگلند آبیاری شدند. جهت پیش تیمار گیاهچه‌ها با نور LED قبل از تنش شوری، گیاهچه‌های ۵۰ روزه به دستگاه انکوباتور مجهز به LED ساخت شرکت آروین تجهیز اسپادانا، اصفهان، منتقل شدند. برای همه تیمارها، انکوباتور LED به صورت دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی ۸ ساعت تاریکی و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

تحت چگالی شار فوتون فتوسنتزی (PPFD) ۱۵۰ میکرومول در مترمربع بر ثانیه طراحی شدند (Bian *et al*., 2017; Gimenez *et al*., 2021; Kim *et al*., 2013). هر دو ژنوتیپ گیاه ریحان تحت چهار منبع نور مختلف با طیف گسترده‌ای از LEDهای سفید (۷۶۰–۳۸۰ نانومتر)، LEDهای آبی (۴۶۰ نانومتر)، LEDهای قرمز (۶۵۰ نانومتر) و LEDهای قرمز + آبی (۷۰٪ : ۳۰٪) رشد کردند. همچنین شش گلدان از هر ژنوتیپ به‌عنوان گروه شاهد در شرایط گلخانه‌ای نگهداری شد. پس از دو هفته، گیاهچه‌های ریحان که در انکوباتور با تابش‌های مختلف LED نگهداری می‌شدند، به گلخانه منتقل شدند. گیاهچه‌های ریحان با ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول نیم قدرت هوگلند حاوی دو غلظت NaCl (صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار) دو بار در هفته آبیاری شدند (Rafeie *et al*., 2022).

سنجش شاخص‌های رشد: پس از دو هفته تنش شوری، گیاهچه‌های دو ژنوتیپ *O. basilicum* برداشت شدند. وزن تر اندام هوایی برحسب گرم تعیین شد. اندام‌های هوایی گیاه برداشت شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و وزن خشک آن‌ها برحسب گرم اندازه‌گیری شد. جداسازی ریشه و توزین آن به دلیل ظریف بودن بیش از حد ریشه‌ها و عدم امکان جداسازی آن‌ها از خاک مقدور نبود.

سنجش محتوای کلروفیل *a* و *b*: میزان جذب محلول سانتریفیوژ شده برگ‌های ساییده شده در استون ۸۰ درصد در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل براساس روش تعریف شده توسط Arnon (۱۹۴۹) خوانده شد.

سنجش محتوای پراکسید هیدروژن: محتوای پراکسید هیدروژن به روش اسپکتروفتومتری طبق روش Alexieva و همکاران (۲۰۰۱) محاسبه شد. ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم برگ تازه ریحان در ۱/۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک (۰/۱ درصد) همگن شد. سپس در ۱۵۰۰۰×g به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰ میلی‌مولار (pH=۷) و ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم ۱ مولار به ۰/۵ میلی‌لیتر مایع رویی اضافه شد. واکنش به مدت ۱ ساعت در تاریکی انجام شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۳۵۰ نانومتر ثبت شد. محتوای پراکسید هیدروژن با استفاده از یک منحنی استاندارد براساس غلظت‌های شناخته شده H_2O_2 اندازه‌گیری شد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: طبق روش Aebi (۱۹۸۴)، ۱۰۰ میلی‌گرم برگ تازه در ۱/۵ میلی‌لیتر از ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH = ۷/۸) حاوی ۰/۱ میلی‌مولار EDTA همگن شد. سپس در ۱۲۰۰۰×g به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. در ادامه، ۵۰۰ میکرولیتر از مایع رویی به ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم حاوی ۱۰ میلی‌مولار H_2O_2 اضافه شد. تغییر در جذب نوری محلول با استفاده از دستگاه طیف‌سنج کینتیک در ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و فعالیت کاتالاز به صورت واحد در هر گرم وزن تر برگ گزارش شد.

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: طبق روش Nakano و Asada (۱۹۸۷)، ۶۲۵ میکرولیتر بافر فسفات حاوی EDTA، ۱۷۵ میکرولیتر آسکوربیک اسید، ۵۰ میکرولیتر H_2O_2، ۵۰ میکرولیتر BSA (آلبومین سرم گاوی) و ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی نمونه مخلوط شده و جذب آن توسط دستگاه طیف‌سنج کینتیک در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر به مدت ۶۰ ثانیه خوانده شد.

سنجش ترکیبات فنولیک کل: طبق روش Singleton و Rossi (۱۹۶۵)، ۰/۱ گرم برگ تازه گیاه در هاون سرد شده با ۳ میلی‌لیتر متانول ۸۰٪ ساییده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۴۰۰۰×g سانتریفیوژ شد. محلول رویی برای سنجش میزان ترکیبات فنولیک مورد استفاده قرار گرفت. جذب نوری مخلوط واکنش شامل ۳۰ میکرولیتر عصاره، ۱۲۰ میکرولیتر Na_2Co_3 و ۱۵۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو پس از قرار گرفتن به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی، در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. مقدار ترکیبات فنولیک کل در برگ‌ها با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میکروگرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد.

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. داده‌ها با استفاده از روش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

جدول ۱- تجزیه واریانس (مقادیر میانگین مربعات) تأثیر پیش‌تیمار نورهای گلخانه، LED قرمز، LED قرمز + آبی، LED آبی و LED سفید بر وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، پراکسید هیدروژن، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنولیک کل در دو ژنوتیپ ریحان تحت شوری.

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	پراکسید هیدروژن	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	ترکیبات فنولیک کل
ژنوتیپ	۱	۲۷۸۷۶/۰۵**	۱۸۷/۶۵**	۵/۹۲**	۰/۰۴^{ns}	۰/۱۱**	۱۰۹/۸۱**	۰/۰۰**	۴۶۵۰۵۷۴۷۷/۲**
نور	۴	۲۸۴۷/۸۹**	۴۲/۹۹**	۲۹/۸۹**	۲۲/۲۲**	۰/۰۵**	۳۱۰/۷۷**	۰/۲۲**	۲۲۸۰۷۷۶۳۸/۵**
شوری	۱	۳۷۸۵۳/۵۸**	۳۸/۰۱**	۹۷/۹۶**	۰/۱۸^{ns}	۰/۷۵**	۸۳۸/۴۱**	۰/۷۲**	۳۴۵۹۰۳۰۹۲/۸**
ژنوتیپ × نور	۴	۴۳۹/۸۵**	۴/۹۵**	۷/۲۸**	۱۰/۱۷**	۰/۰۹**	۱۷۰/۳۲**	۰/۲۴**	۴۴۵۸۵۷۲/۶**
ژنوتیپ × شوری	۱	۷۶۰۰/۰۲**	۰/۰۹^{ns}	۱/۰۶**	۷/۶۲**	۰/۱۶**	۸۷۶/۰۹**	۰/۰۰**	۱۱۲۴۴۸۵/۴**
نور × شوری	۴	۸۰۲/۵۵**	۷/۵۰**	۳/۶۹**	۷/۷۶**	۰/۱۱**	۱۶۹/۲۹**	۰/۰۸**	۶۲۱۶۷۸۴۲/۶**
ژنوتیپ×نور×شوری	۴	۱۲۰۷/۴۹**	۱۲/۸۹**	۳/۵۴**	۲۳/۷۴**	۰/۰۴**	۵۶۴/۱۴**	۰/۰۴**	۸۷۹۱۰۷۸۰/۲**
خطا	۴۰	۰/۴۷۵	۰/۱۳۱	۰/۱۴۱	۰/۲۵۱	۰/۰۰۰۰۸	۰/۸۷۱	۰/۰۰۰۲	۱۰۲۰۴۷
ضریب تغییرات		۰/۸۰۵	۴/۸۳	۴/۴۴	۸/۳۷	۱/۵۲	۳/۱۵	۴/۰۱	۲/۳۲

**بیانگر معنی‌دار بودن و ns بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ است.

GLM نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت تعیین تفاوت معنی‌دار بین تیمارها از آزمون استاندارد فیشر استفاده شد. معنی‌داری با $\alpha \leq 0.05$ تعیین شد.

نتایج

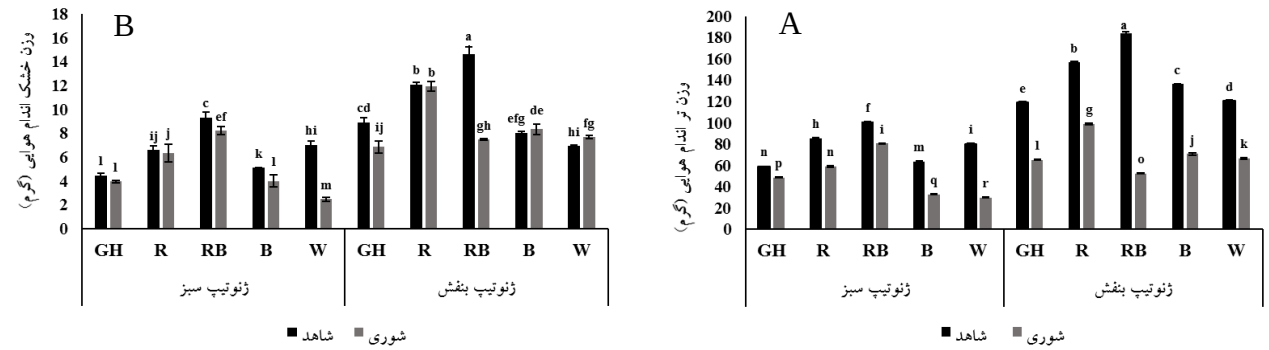
جدول ۱، نتایج تجزیه واریانس داده‌های وزن تر و خشک اندام هوایی، کلروفیل *a* و *b*، محتوای پراکسید هیدروژن، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنولیک کل را بر روی دو ژنوتیپ ریحان پس از پیش تیمارهای مختلف نور LED و قرار گرفتن در معرض تنش شوری نشان می‌دهد.

تأثیر نورهای LED و تنش شوری بر وزن تر و خشک اندام هوایی: تنش شوری، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی را در گیاهان گلخانه تیمار شده با NaCl به ترتیب ۱۷/۵ و ۴۵/۳ درصد (ژنوتیپ سبز) و ۱۱ و ۲۳ درصد (ژنوتیپ بنفش) نسبت به شاهد کاهش داد. در شرایط شاهد نوری، بیشترین مقدار وزن تر اندام هوایی و وزن خشک اندام هوایی در هر دو ژنوتیپ، در شرایط قرار گرفتن در معرض LED قرمز + آبی و به دنبال آن شرایط نوردهی قرمز در مقایسه با گیاهان رشد یافته در نور گلخانه مشاهده شد، که در ژنوتیپ سبز میزان وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب ۷۰/۹ درصد و ۲ برابر در گیاهچه‌های در معرض نور LED قرمز + آبی نسبت به نور گلخانه افزایش نشان داد. در ژنوتیپ بنفش میزان وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب ۵۴/۷ و ۶۴/۲ درصد در گیاهچه‌های در معرض نور LED قرمز + آبی نسبت به نور گلخانه افزایش نشان داد. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۱، در شرایط شوری، در ژنوتیپ سبز، پیش تیمار نورهای قرمز و قرمز + آبی، به‌ترتیب وزن تر (۲۱ و ۶۵ درصد) و وزن خشک (۵۹ درصد و ۲ برابر) را نسبت به گیاهان در معرض تنش شوری در شرایط گلخانه افزایش دادند، درحالی که در ریحان بنفش، پیش تیمار با نور LED قرمز بالاترین وزن تر و خشک اندام هوایی را به‌ترتیب ۵۲ و ۷۳ درصد در مقایسه با گیاهان گلخانه تیمار شده با شوری نشان دادند.

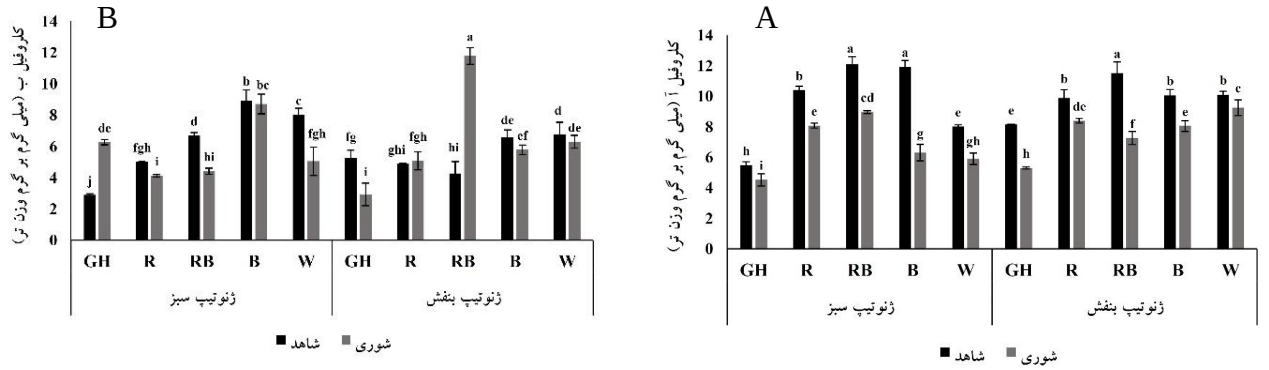
تأثیر نورهای LED و تنش شوری بر کلروفیل *a* و *b*: تنش شوری منجر به کاهش کلروفیل *a* به میزان ۱۷ درصد (ژنوتیپ سبز) و ۳۵ درصد (ژنوتیپ بنفش) نسبت به شاهد در گیاهان گلخانه شد. همچنین، سبب افزایش دو برابری میزان کلروفیل *b* در ژنوتیپ سبز و کاهش ۴۴ درصدی در ژنوتیپ بنفش نسبت به شاهد در گیاهان گلخانه شد (شکل ۲). نتایج

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]



شکل ۱- تأثیر نورهای گلخانه (GH)، LED قرمز (R)، LED قرمز + آبی (RB)، LED آبی (B) و LED سفید (W) بر وزن تر اندام هوایی (A) و وزن خشک اندام هوایی (B)، در دو ژنوتیپ ریحان تحت کنترل و شرایط شوری (حروف غیریکسان بیانگر اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ آزمون LSD است).

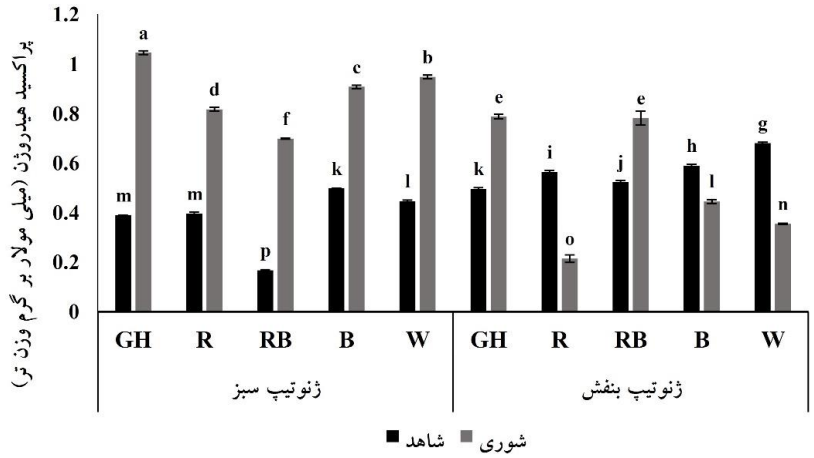


شکل ۲- تأثیر نورهای گلخانه، LED قرمز، LED قرمز + آبی، LED آبی و LED سفید بر کلروفیل *a* (A) و کلروفیل *b* (B)، در دو ژنوتیپ ریحان تحت شاهد و شرایط شوری (حروف غیریکسان بیانگر اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ آزمون LSD است).

نشان داد محتوای کلروفیل *a* و *b* در هر دو ژنوتیپ به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تیمارهای نور LED قرار گرفت به‌طوری‌که در شرایط شاهد نوری، بالاترین میزان کلروفیل *a* در ژنوتیپ سبز در گیاهان در معرض نور LED قرمز + آبی و آبی بود که دو برابر بالاتر از گیاهان در معرض نور گلخانه بود و در ژنوتیپ بنفش بالاترین میزان کلروفیل *a* در گیاهان در معرض نور LED قرمز + آبی بود که ۴۱ درصد بالاتر از گیاهان در معرض نور گلخانه بود (شکل A ۲). میزان کلروفیل *b* در این شرایط در ژنوتیپ سبز و ژنوتیپ بنفش به‌ترتیب در گیاهان در معرض نور LED آبی و نور LED سفید بالاترین بود که به ترتیب سه برابر و ۲۸ درصد بیشتر از گیاهان در معرض نور گلخانه بود (شکل B ۲). در شرایط شوری، در ژنوتیپ سبز، بیشترین میزان کلروفیل *a* و *b* به ترتیب در گیاهان پیش تیمار با نور LED قرمز + آبی (۹۸ درصد) و آبی (۳۸/۳ درصد) در مقایسه با گیاهان گلخانه تیمار شده با NaCl مشاهده شد. در حالی‌که در ژنوتیپ بنفش، بیشترین میزان کلروفیل *a* و *b* به ترتیب در گیاهان پیش تیمار شده با LED سفید (۷۴ درصد) و LED قرمز + آبی (چهار برابر) در مقایسه با گیاهان گلخانه تیمار شده با NaCl مشاهده شد (شکل ۲).

تأثیر نورهای LED و تنش شوری بر محتوای پراکسید هیدروژن: با قرار گرفتن گیاهان رشد یافته در نور گلخانه در معرض تنش شوری سطح H_2O_2 در ژنوتیپ سبز ۲/۶ برابر و در ژنوتیپ بنفش ۱/۵ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت. در ژنوتیپ سبز نور LED قرمز + آبی سطح H_2O_2 را ۵۶/۸ درصد در شرایط شاهد نوری کاهش داد و پیش تیمار با نورهای LED قرمز، قرمز + آبی، آبی و سفید (به‌ترتیب ۲۱/۹، ۳۳/۱۷،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]



شکل ۳- تأثیر نورهای گلخانه، LED قرمز، LED قرمز + آبی، LED آبی و LED سفید بر محتوای پراکسید هیدروژن در دو ژنوتیپ ریحان تحت کنترل و شرایط شوری (حروف غیریکسان بیانگر اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ آزمون LSD است).

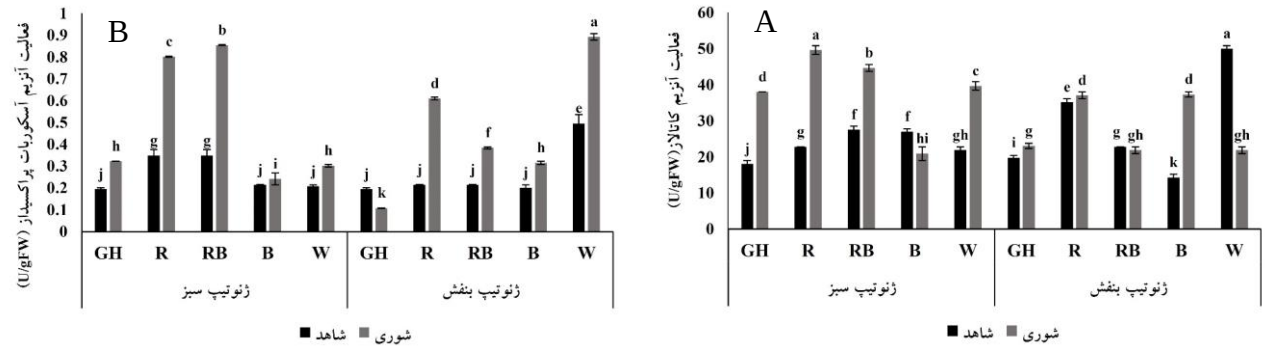
۱۳/۲ و ۹/۳۶ درصد) سطح H_2O_2 را در شرایط شوری نوری کاهش داد. پیش تیمار گیاهان ریحان بنفش با نور LED قرمز سطح H_2O_2 را ۷۲ درصد در شرایط شوری کاهش داد (شکل ۳).

تأثیر نورهای LED و تنش شوری بر فعالیت آنزیم کاتالاز: در شرایط تنش شوری، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در ژنوتیپ سبز دو برابر و در ژنوتیپ بنفش ۱۷ درصد در گیاهان گلخانه نسبت به شاهد افزایش یافت. در شرایط شاهد نوری، بالاترین میزان فعالیت این آنزیم در نور LED قرمز + آبی و آبی (ژنوتیپ سبز) و نور LED سفید و قرمز (ژنوتیپ بنفش) به ترتیب ۵۲/۶۳، ۴۹/۳۴ درصد، ۲/۵ برابر، ۷۸/۳۱ درصد نسبت به نور گلخانه مشاهده شد. در شرایط شوری، گیاهان ریحان سبز پیش تیمار شده با تمام نورهای LED بجز نور آبی فعالیت این آنزیم افزایش یافته است، و بالاترین فعالیت آنزیم کاتالاز در نور قرمز مشاهده شد که ۳۰/۶۲ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. گیاهان ریحان بنفش پیش تیمار شده با تمام نورهای LED فعالیت این آنزیم افزایش یافته است، و بالاترین فعالیت آنزیم کاتالاز در نور قرمز و آبی مشاهده شد که به ترتیب ۶۰/۸۲ و ۶۱/۸۵ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (شکل A ۴).

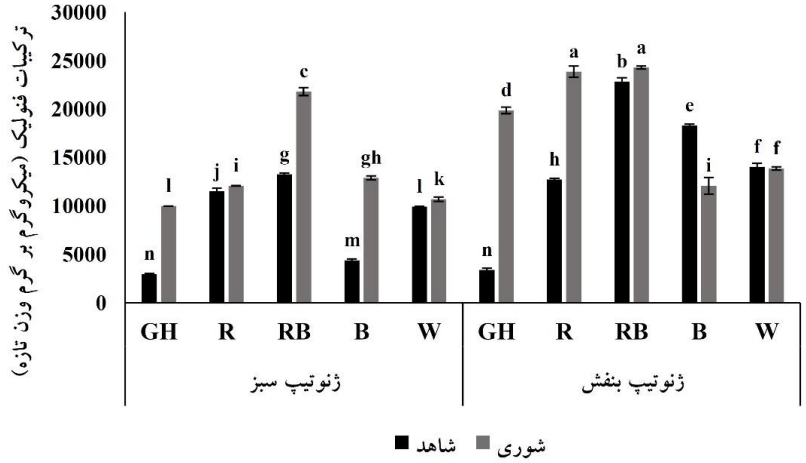
تأثیر نورهای LED و تنش شوری بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: تحت تنش شوری میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گیاهان رشد یافته در نور گلخانه در ژنوتیپ سبز ۶۵/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش و در ژنوتیپ بنفش ۴۴/۸ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. در شرایط شاهد نوری، میزان فعالیت این آنزیم در ژنوتیپ سبز در گیاهان در معرض نورهای LED قرمز و قرمز + آبی ۷۹ درصد و در ژنوتیپ بنفش میزان فعالیت این آنزیم تنها در گیاهان در معرض نور LED سفید دو برابر نسبت به نور گلخانه افزایش نشان داد. در شرایط شوری، گیاهان ریحان سبز پیش تیمار شده با نور LED قرمز و قرمز + آبی به‌ترتیب ۲/۴ و ۲/۶ برابر و گیاهان ریحان بنفش پیش تیمار شده با نور LED قرمز و سفید به‌ترتیب ۵/۶ و ۸/۳ برابر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را نسبت به گیاهان گلخانه افزایش دادند (شکل B ۴).

تأثیر نورهای LED و تنش شوری بر ترکیبات فنولیک کل: تنش شوری سبب افزایش قابل توجهی در میزان ترکیبات فنولیک کل شده است، به‌طوری‌که بالاترین میزان این ترکیبات در ژنوتیپ سبز سه برابر و در ژنوتیپ بنفش پنج برابر نسبت به شاهد در شرایط گلخانه افزایش نشان داد. در شرایط شاهد نوری، در هر دو ژنوتیپ گیاهان تیمار شده با تمامی نورهای LED افزایش قابل توجهی در میزان ترکیبات فنولیک کل نسبت به گیاهان گلخانه نشان دادند. به‌طوری‌که بالاترین میزان ترکیبات فنولیک کل در هر دو ژنوتیپ در گیاهان در معرض

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]



شکل ۴- تأثیر نورهای گلخانه، LED قرمز، LED قرمز + آبی، LED آبی و LED سفید بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (A) و آسکوربات پراکسیداز (B) در دو ژنوتیپ ریحان تحت کنترل و شرایط شوری (حروف غیریکسان بیانگر اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ آزمون LSD است).



شکل ۵- تأثیر نورهای گلخانه، LED قرمز، LED قرمز + آبی، LED آبی و LED سفید بر میزان ترکیبات فنولیک کل در دو ژنوتیپ ریحان تحت کنترل و شرایط شوری (حروف غیریکسان بیانگر اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ آزمون LSD است).

نور LED قرمز + آبی بود که ۴ برابر (ژنوتیپ سبز) و شش برابر (ژنوتیپ بنفش) نسبت به گیاهان در معرض نور گلخانه افزایش نشان دادند. در شرایط شوری میزان ترکیبات فنولیک کل در گیاهان ریحان سبز پیش تیمار شده با تمام نورهای LED نسبت به نور گلخانه افزایش نشان داد و بالاترین میزان این ترکیبات در نور LED قرمز + آبی مشاهده شد که ۲/۱۸ برابر نسبت به نور گلخانه افزایش نشان داد. در ژنوتیپ بنفش گیاهان پیش تیمار شده با نور LED قرمز و قرمز + آبی نسبت به نور گلخانه افزایش نشان داد و به‌ترتیب ۲۰/۰۸ و ۲۲/۲۷ درصد بالاتر بود (شکل ۵).

بحث

افزایش رشد گیاهان در معرض نورهای LED در مقایسه با گلخانه نشان‌دهنده اهمیت نور در رشد گیاهان است، زیرا نور نه تنها منبع اصلی انرژی برای فتوسنتز، بلکه همچنین سیگنال کلیدی تنظیم‌کننده رشد و نمو گیاه است (Ding *et al.*, 2011). از آن‌جا که ارزشمندترین ویژگی LEDها طیف قابل تنظیم در طول‌موج خاص است، امکان کنترل واقعی طیف نور را فراهم می‌کند و کیفیت نور از طریق ایجاد آبشار سیگنال بر بیان ژن‌های گیرنده‌های نوری مانند فیتوکروم‌ها، کریپتوکروم‌ها و فوتوتروپین‌ها تأثیر می‌گذارد (Chen *et al.*, 2016)، علاوه بر این LEDها سبب افزایش جذب مواد مغذی در گیاه می‌شوند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

(Kopsell *et al*., 2017). در تحقیق حاضر هر دو ژنوتیپ گیاه ریحان مورد مطالعه، در معرض نور LED قرمز + آبی، بالاترین وزن تر و خشک اندام هوایی را نشان دادند. مشابه با نتایج این تحقیق Kim و همکاران (۲۰۰۵) با مطالعه رشد گیاه کاهو تحت نورهای مختلف LED، نشان دادند که وزن تر گیاه در ترکیب نورهای قرمز و آبی بیشتر از سایر تیمارها بود. در همین راستا در مطالعه Johkan و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیشترین وزن کاهو، رشد یافته تحت ترکیب نور قرمز و آبی به‌دست آمد. اکثر مطالعات نشان دادند که گیاهان عمدتاً از قسمت‌های قرمز و آبی طیف نور استفاده می‌کنند، زیرا این طول‌موج‌ها به طور مؤثری جذب رنگدانه‌های اصلی فتوسنتزی می‌شوند (Fan *et al*., 2013). کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاهان رشد یافته در گلخانه که تحت تنش NaCl بودند در مقایسه با آن‌هایی که تحت تنش NaCl نبودند، مؤید تأثیر منفی تنش شوری بر رشد گیاه است، در بسیاری از مطالعات فیزیولوژیک، ممانعت از رشد گیاه به‌واسطه شوری، به کاهش در فتوسنتز، عدم انتقال الکترون فتوسنتزی، کاهش هدایت روزنه‌ای و افزایش تولید ROS نسبت داده شده است. همچنین گیاه در تنش شوری نوعی تنش آبی را تجربه می‌کند و گسترش برگ را کاهش می‌دهد (Jamil *et al*., 2006; Arshad and Rashid, 2001). Khorasaninejad و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که با افزایش شوری میزان وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه نعنا کاهش یافت. همچنین Kausar و Shahbaz (۲۰۱۳) گزارش کردند که شوری ۱۵۰ میلی‌مولار باعث کاهش وزن خشک و وزن تر گیاه گندم شد. اما He و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند که پیش تیمار گیاه *Mesembryanthemum crystallinum* با LED در شرایط شوری بر وزن تر و خشک معنی‌دار است، در تحقیق حاضر نیز پیش تیمار گیاهان ریحان با نور LED قرمز + آبی و قرمز (ژنوتیپ سبز) و قرمز (ژنوتیپ بنفش) در شرایط شوری سبب افزایش پارامترهای رشد نسبت به گیاهان گلخانه در شرایط شوری شد. در همین راستا Ahmadi و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند پیش تیمار نور LED قرمز + آبی قبل از تنش خشکی سبب افزایش پارامترهای رشد در گیاه بادرنجبویه شد. گزارش شده است که نورهای قرمز و آبی مختلط بهترین طول‌موج برای تقویت رشد گیاه است و ترکیب مناسب نورهای قرمز و آبی باعث تسریع فتوسنتز و رشد گیاهان دارویی می شود (Liu *et al*., 2019; Zhang *et al*., 2020). با این حال، در برخی از مطالعات، مشخص شده است که چراغ‌های LED تک رنگ ممکن است برای رشد و تولید گیاهان مؤثرتر از نورLED قرمز + آبی باشد (Lobiuc *et al*., 2017; Phansurin *et al*., 2017; Yu *et al*., 2017).

کاهش در سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل *a* و کلروفیل *b*) در اثر شوری ممکن است به‌دلیل ایجاد اختلال در جذب یون‌های لازم در مسیر سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند یون‌های منیزیم و آهن رخ دهد. علاوه بر این، شوری بر شکل‌گیری کلروپلاست و سنتز پروتئین و یا تفکیک پلاستیدها و آنزیم‌های درگیر در مسیر سنتز کلروفیل نیز تأثیر منفی می‌گذارد (Nazarbeygi *et al*., 2011). نتایج پژوهش حاضر نشان داد مقدار کلروفیل *a* در هر دو ژنوتیپ و مقدار کلروفیل *b* در ژنوتیپ بنفش گیاهان گلخانه تحت تنش شوری کاهش نشان داد. مشابه با نتایج ما، Heidari (۲۰۱۲) با بررسی اثرات شوری بر محتوای کلروفیل در گیاه ریحان مشاهده کرد با افزایش غلظت NaCl محتوای کلروفیل *a* و *b* کاهش پیدا می‌کند. افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان پیش تیمار شده با نور LED قرمز + آبی و قرمز در هر دو شرایط کنترل و شوری نسبت به گیاهان گلخانه نشان داد که طول‌موج‌های باریک لامپ‌های LED اثرات منفی تنش NaCl را بر فعالیت فتوسنتزی خنثی می‌کند. این نتیجه می‌تواند تا حدودی به دلیل طیف جذب رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد که عمدتاً بر روی طیف‌های نور قرمز (۷۰۰ – ۶۰۰ نانومتر) و آبی (۵۰۰ – ۴۰۰ نانومتر) تمرکز می‌کنند، از این‌رو طول‌موج‌های قرمز و آبی نقش دینامیکی در فتوسنتز دارند (Fan *et al*., 2013). نور قرمز محتوای کلروفیل، فتوسنتز و رشد رویشی را افزایش می‌دهد. نور آبی که به شدت توسط رنگدانه‌های کاروتنوئیدی (لوتئین و β- کاروتن) جذب می‌شود، باعث افزایش محتوای کلروفیل و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

نسبت کلروفیل *a/b*، افزایش دهانه روزنه و کنترل یکپارچگی پروتئین کلروپلاست می‌شود (Huche-Thelier *et al*., 2016). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که نسبت بهینه نور قرمز: آبی برای فتوسنتز مفیدتر است (Nanya *et al*., 2012; Miao *et al*., 2019). ترکیب نور قرمز و آبی می‌تواند بهره‌وری گیاه را افزایش دهد. همچنین نور قرمز همراه با سطح مطلوب نور آبی کارایی فتوسنتز که شامل ظرفیت فتوسنتزی بالاتر، هدایت روزنه‌ای، فتوشیمی PSII و رنگدانه‌های فتوسنتزی است را در مقایسه با نور قرمز به تنهایی، افزایش می‌دهد (Wang *et al*., 2016). افزایش نرخ فتوسنتز در گندم، اسفناج، کاهو، خیار، کلم چینی و گل داودی تحت ترکیبی از LEDهای قرمز و آبی گزارش شده است (Al Murad *et al*., 2021). همچنین مطالعه Matsuda و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که گیاهان برنج رشد یافته تحت ترکیبی از LEDهای قرمز (۶۶۰ نانومتر) و آبی (۴۷۰ نانومتر) میزان فتوسنتز برگ بالاتری نسبت به برگ‌های گیاهان رشد یافته در LED قرمز به تنهایی نشان دادند.

تنش شوری سبب آسیب‌های اکسیداتیو می‌شود که عامل اصلی تولید ROS هستند که به عدم تعادل و بروز چالش‌های فیزیولوژیک و اختلال در متابولیسم طبیعی از طریق آسیب اکسیداتیو به لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها در گیاهان منجر می‌شوند (Navarro *et al*., 2006). Liu و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند تنش شوری سبب افزایش مقدار H_2O_2 در سویا می‌شود. همچنین Goharrizi و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند تنش شوری سبب افزایش مقدار H_2O_2 در *Lepidium draba* می‌شود. در این پژوهش نیز میزان H_2O_2 در گیاهان گلخانه تحت تنش شوری افزایش نشان داد، اما محتوای آن در گیاهان پیش تیمار شده با نورهای LED نسبت به نور گلخانه در شرایط شوری کاهش نشان داد. نتایج ما نشان داد گیاهان پیش تیمار شده با LED قرمز + آبی (ژنوتیپ سبز) و قرمز (ژنوتیپ بنفش) میزان پراکسید هیدروژن کمتری نسبت به نور گلخانه در شرایط شوری نشان دادند. در همین راستا Cao و همکاران (۲۰۱۸) پیشنهاد کردند نهال‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری که تحت شرایط نور قرمز رشد کرده‌اند تجمع کمتر H_2O_2 را نشان دادند. گیاهان عالی استراتژی‌های مختلفی را برای بهبود ROS اضافی و حفظ تعادل در تشکیل و حذف ROS ایجاد کرده‌اند. افزایش آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی مشاهده شده در گیاهان پیش تیمار شده با نورهای LED احتمالاً از این گیاهان در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کنند و نشان می‌دهد که پیش تیمار نور LED یک استراتژی کارآمد جهت حذف ROS است.

جهت از بین بردن سطح بالای ROS، یک سیستم کارآمد از آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و آنزیمی درگیر است. فراتنظیمی آنتی‌اکسیدان‌ها در ارقام متحمل به شوری گوجه‌فرنگی، نخود، *Jatropha* و *Calendula* مشاهده شده است که نقش مرتبط آنتی‌اکسیدان‌ها را در کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری نشان می‌دهد (Hernandez *et al*., 2000; Chaparzadeh *et al*., 2004; Mittova *et al*., 2004; Gao *et al*., 2008). Wu و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گوجه‌فرنگی تحت تنش اکسیداتیو ناشی از شوری تجمع رادیکال اکسیژن را در گیاه مهار می‌کند. آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در خنثی‌کردن رادیکال سوپراکسید و پراکسید هیدروژن در گیاه درگیر هستند و وارد عمل می‌شوند. نتایج پژوهش ما نیز بیانگر افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز تحت تنش شوری است. به‌طور مشابه Ahmad و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که در گیاه نخود تحت تنش شوری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز افزایش یافت. Sairam (۲۰۰۲) افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون ردوکتاز را در گندم تحت تنش دو سطح شوری ۵/۴ ds m^{-1} و ۱۰/۶ نشان دادند. Wu و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که نور LED قرمز میزان آنتی اکسیدان‌های گیاه نخود را به صورت معنی‌داری تا دو برابر افزایش می‌دهد. در این راستا نتایج این تحقیق نیز بیانگر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با تابش نور LED نسبت به نور گلخانه است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که در گیاهان پیش تیمار شده با نور LED قرمز + آبی (ژنوتیپ سبز) و قرمز (ژنوتیپ بنفش) در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

شوری سطح فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز افزایش یافت و افزایش فعالیت این آنزیم‌ها سبب کاهش ROS و در نتیجه بهبود رشد گیاه نسبت به نور گلخانه در این شرایط شد. Khanam و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند افزایش فعالیت کاتالاز تحت تیمار نور LED قرمز به مهار تشکیل جراحت و رشد قارچ در برگ‌های باقلا سبز آلوده با *Botrytis cinere* کمک می‌کند. همچنین Mirzahosseni و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند پیش تیمار نور LED فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز را در گیاهان آرابیدوپسیس تحت تنش جراحت افزایش می‌دهد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد میزان ترکیبات فنولیک کل در گیاهان رشد یافته در گلخانه تحت تنش شوری و گیاهان تیمار شده با نور LED در شرایط شاهد نسبت به گیاهان رشد یافته در نور گلخانه افزایش یافت. ترکیبات فنولیک فعالیت آنتی‌اکسیدانی را از طریق غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد لیپیدی و یا از طریق جلوگیری از تجزیه شدن هیدروپراکسیدها به رادیکال‌های آزاد نشان می‌دهند. در مطالعات پیشین از تنش‌های محیطی (درجه حرارت بالا و پایین، خشکسالی، شوری، اشعه فرابنفش و آلودگی پاتوژن‌ها) و محرک‌های مختلف برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه استفاده شده است، زیرا بیوسنتز فنیل پروپانوئیدها از مسیر شیکیمات می‌گذرد و توسط یک گروه آنزیمی هدایت می‌شود که اولین مرحله در تولید فنیل پروپانوئیدها عمل آمین‌زدایی توسط آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) بر روی L- فنیل آلانین است که منجر به ساخت ترکیبات فنولی از سینامیک اسید می‌شود (Iijima *et al*., 2004). انواع تنش‌ها از عوامل مؤثر در افزایش بیان و فعالیت آنزیم PAL هستند که منجر به تولید ترکیبات فنولی در گیاه می‌شوند (Sgarbi, 2003). Valifard و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند تنش شوری ترکیبات فرار، محتوای فنول کل و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدان را در *Salvia mirzayanii* افزایش می‌دهد. Navarro و همکاران (۲۰۰۶) افزایش در محتوای فنولیک کل در فلفل قرمز تحت شوری متوسط را گزارش کردند. Qian و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند محتوای فنولیک کل جوانه‌های کلم بروکلی رشد یافته تحت نور LEDهای سفید و آبی به ترتیب ۳۴/۵۵ درصد و ۶۹/۰۹ درصد در مقایسه با شاهد، افزایش یافته است. Ghaffari و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند نور LED سبب افزایش متابولیت‌های ثانویه در گونه‌های جنس *Perovskia* می‌شود. تولید متابولیت‌های ثانویه در سلول‌های گیاهی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد که از بین آن‌ها کیفیت نور یکی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر و کنترل‌کننده غلظت این ترکیبات است (Lee *et al*., 2010). گزارشاتی وجود داد که بیوسنتز ترکیبات دارویی گیاهی و انباشت آن در گیاهان به خوبی با مقدار فتوسنتز ارتباط دارد. بنابراین، شرایط نور مناسب برای بهینه‌سازی انباشت ترکیبات دارویی گیاهی اهمیت حیاتی دارد (Bian *et al*., 2015). پیش تیمار هر دو ژنوتیپ گیاهان ریحان با منابع نوری LED قرمز و قرمز + آبی در شرایط شوری سبب افزایش ترکیبات فنولیک کل نسبت به گیاهان گلخانه در این شرایط شد. اثر پیش تیمار منابع نور LED بر روی ترکیبات فنولیک کل در مطالعات قبلی نیز نشان داده شده است. Mirzahosseni و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند پیش تیمار گیاهان آرابیدوپسیس با نورهای LED آبی، قرمز و قرمز + آبی قبل از تنش زخم سبب افزایش ترکیبات فنولیک کل و افزایش بیان نسبی ژن *PAL* شده است.

نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن پیشنهاداتی مبنی بر دخالت کیفیت نور در رشد، متابولیسم ROS و تولید ترکیبات دارویی گیاهی در حال حاضر کاربرد کیفیت نور برای ارتقای متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی در حال افزایش است. این تحقیق تأثیر منابع مختلف نور LED را بر روی دو ژنوتیپ ریحان به عنوان پیش تیمار در شرایط بدون تنش و تنش شوری مورد بررسی قرار داد. نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، برای اولین بار، اثرات مفید پیش تیمار طول‌موج‌های باریک چراغ‌های LED بر دو ژنوتیپ ریحان تحت تنش ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که گیاهان در معرض LED قرمز + آبی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

در ژنوتیپ سبز و گیاهان در معرض LED قرمز در ژنوتیپ بنفش می‌توانند به طور قابل‌توجهی تنش اکسیداتیو ناشی از NaCl را در نهال‌های ریحان کاهش دهند، که با افزایش زیست توده گیاهی، رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای آنتی‌اکسیدان آنزیمی و ترکیبات فنولیک که با سم‌زدایی ROS باعث افزایش بهره‌وری و رشد در دو ژنوتیپ ریحان تحت شرایط کنترل و شوری می‌شوند، مرتبط است. با این وجود، می دانیم که برای تأیید این نقش به مطالعات بیشتری نیاز است. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که تشدید سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی در طول پرایمینگ با واسطه نور می‌تواند اثرات مضر ROS ناشی از تنش ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl را از طریق مهار H_2O_2 و افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی کاهش دهد.

نتایج این مطالعه ممکن است مدیران گلخانه‌ها را برای استفاده از طول‌موج‌های LED به‌عنوان پیش تیمار بر روی نهال‌های تازه سبز شده سبزی‌ها در زمانی که در معرض آبیاری با آب با کیفیت پایین قرار می‌گیرند یا به عنوان روشنایی مکمل برای رشد سبزیجات با محتوای بالای ترکیبات دارویی تشویق کند.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب رساله دکترای تخصصی و با حمایت مالی دانشگاه شهرکرد (گرنت شماره 99GRN31M1032) انجام شده است، که بدین وسیله قدردانی می‌گردد.

منابع

علیمرادی، ح. و منوچهری، خ. (۱۳۸۷) بررسی اثر پیش تیمار پرتو فرا بنفش C بر جوانه زنی بذر و برخی از پارامترهای بیوشیمیایی دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش شوری، مجله علمی - پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم پایه) ۶: ۸۹-۱۰۲.

Abdel Latef, A. A., Srialhvi vastava, A. K., AbdElsadek, M., Kordrostami, M. and Phan Tran, L. S. (2018) Titanium dioxide nanoparticles improve growth and enhance tolerance of broad bean plants under saline soil conditions. Land Degradation and Development 29: 1065-1073.

Abidi, F., Girault, T., Douillet, O., Guillemain, G., Sintes, G., Laffaire, M., Ben Ahmed, H., Smiti, S., Huche-Thelier, L. and Leduc, N. (2013) Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis. Plant Biology 15: 67-74.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods in Enzymology 105: 121-126.

Ahmad, R., Lim, C. J. and Kwon, S. Y. (2013) Glycine betaine: A versatile compound with great potential for gene pyramiding to improve crop plant performance against environmental stresses. Plant Biotechnology Reports 7: 49-57.

Ahmadi, T., Shabani, L. and Sabzalian, M. R. (2019) Improvement in drought tolerant of lemon balm, *Melissa officinalis* L. under the pre-treatment of LED lighting. Plant Physiology and Biochemistry 139: 548-557.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant Cell and Environment 24: 1337-1344.

Ali, H., Khan, M. A., Kayani, W. K., Dilshad, E., Rani, R. and Khan, R. S. (2019) Production of biomass and medicinal metabolites through adventitious roots in *Ajuga bracteosa* under different spectral lights. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 193: 109-117.

Al Murad, M., Razi, K., Jeong, B. R., Muthu Arjuna Samy, P. and Muneer, S. (2021) Light emitting diodes (LEDs) as agricultural lighting: Impact and its potential on improving physiology, flowering, and secondary metabolites of crops. Sustainability 13: 19-85.

Arnon, D. I. (1949) Cooper enzymes in isolated chloroplasts. Phenol-oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.

Arshad, M. and Rashid, A. (2001) Nitrogen uptake and dry mater production by tomato plants under salt stress. Pak Journal of Biology Science 4: 397-399.

Bian, Z. H., Yang, Q. and Liu, W. (2015) Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments. Science of Food and Agriculture 95: 869-877.

Bian, Z., Jiang, N., Grundy, S. and Lu, C. (2017) Uncovering LED light effects on plant growth: new angles and perspectives – LED light for improving plant growth, nutrition and energy-use efficiency. Acta Horticulturae 1227: 491-498.

Cao, K., Yu, J., Xu, D., Ai, K., Bao, E. and Zou, Z. (2018) Exposure to lower red to far-red light ratios improve tomato tolerance to salt stress. BMC Plant Biology 18: 1-12.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

Chaparzadeh, N., D'Amico, M. L., Khavari-Nejad, R. A., Izzo, R. and Navari-Izzo, F. (2004) Antioxidative responses of *Calendula officinalis* under salinity conditions. Plant Physiology and Biochemistry 42: 695-701.

Chen, X. L., Xue, X. Z., Guo, W. Z., Wang, L. C. and Qiao, X. J. (2016) Growth and nutritional properties of lettuce affected by mixed irradiation of white and supplemental light provided by light-emitting diode. Scientia Horticulturae 200: 111-118.

Cook, N. C. and Samman, S. (1996) Flavonoids-chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. The Journal of Nutritional Biochemistry 7: 66-76.

Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B. and Sabzalian, M. R. (2014) Photosynthesis under artificial light: The shift in primary and secondary metabolism. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 369: 2013-2043.

Ding, Z., Galvan-Ampudia, C. S., Demarsy, E., Langowski, L., Kleine-Vehn, J., Fan, Y., Morita, M. T., Tasaka, M., Fankhauser, C., Offringa, R. and Friml, J. (2011) Light-mediated polarization of the PIN3 auxin transporter for the phototropic response in *Arabidopsis*. Nature Cell Biology 13: 447-452.

Dou, H., Niu, G., Gu, M. and Masabni, J. (2017) Effects of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. Horticulturae 3: 36.

Fan, X. X., Zang, J., Xu, Z. G., Guo, S. R., Jiao, X. L., Liu, X. Y. and Gao, Y. (2013) Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). Acta Physiologiae Plantarum 35: 2721-2726.

Gao, S., Ouyang, C., Wang, S., Xu, Y., Tang, L. and Chen, F. (2008) Effects of salt stress on growth, antioxidant enzyme and phenylalanine ammonia-lyase activities in *Jatropha curcas* L. seedlings. Plant, Soil and Environment 54: 374-381.

Ghaffari, Z., Rahimmalek, M. and Sabzalian, M. M. (2019) Variation in the primary and secondary metabolites derived from the isoprenoid pathway in the *Perovskia* species in response to different wavelengths generated by light emitting diodes (LEDs). Industrial Crops and Products 140: 111592.

Gimenez, A., Martinez-Ballesta, M. C., Egea-Gilabert, C., Gomez, P. A., Artes-Hernandez, F. and Pennisi, G. (2021) Combined effect of salinity and LED lights on the yield and quality of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) microgreens. Horticulturae 7: 180-195.

Goharrizi, K. J., Riahi-Madvar, A., Rezaee, F., Pakzad, R., Jadid Bonyad, F. and Ghazizadeh, M. (2020) Effect of salinity stress on enzymes' activity, ions concentration, oxidative stress parameters, biochemical traits, content of sulforaphane, and *CYP79F1* gene expression level in *Lepidium draba* plant. Journal of Plant Growth Regulation 39: 1075-1094.

He, J., Koh, D. J. Q. and Qin, L. (2021) LED spectral quality and NaCl salinity interact to affect growth, photosynthesis and phytochemical production of *Mesembryanthemum crystallinum*. Functional Plant Biology 12: 686910.

Heidari, M. (2012) Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes. African Journal of Biotechnology 2: 379-384.

Hernandez, J. A., Jimenez, A., Mullineaux, P. and Sevilla, F. (2000) Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. Plant, Soil and Environment 23: 853-862.

Hilker, M., Schwachtje, J., Baier, M., Balazadeh, S., Baurle, I., Geiselhardt, S. and Kopka, J. (2016) Priming and memory of stress responses in organisms lacking a nervous system. Biological Reviews 91: 1118-1133.

Huche-Thelier, L., Crespel, L., Le Gourrierec, J., Morel, P., Sakr, S. and Leduc, N. (2016) Light signaling and plant responses to blue and UV radiations-Perspectives for applications in horticulture. Environmental and Experimental Botany 121: 22-38.

Iijima, Y., Rikanati, R. D., Fridman, E., Gang, D. R., Bar, E., Lewinsohn, E. and Pichersky, E. (2004) The biochemical and molecular basis for the divergent in the biosynthesis of terpenes and phenylpropenes in the peltate gland of three cultivars of basil. Plant Physiology 136: 3724-36.

Jamil, M., Lee, D. B., Jung, K. Y., Lee, S. C. and Rha, E. S. (2006) Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. Journal of Central European Agriculture 7: 273-282.

Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S. and Yoshihara, T. (2010) Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. American Society for Horticultural Science 45: 1809-1814.

Kausar, F. and Shahbaz, M. (2013) Interactive effect of foliar application of nitric oxide (NO) and salinity on wheat (*Triticum aestivum L.*) Pak Journal of Botany 45: 67-73.

Khanam, N. N., Ueno, M., Kihara, J. and Honda, Y. (2005) Suppression of red light-induced resistance in broad beans to *Botrytis cinerea* by salicylic acid. Physiological and Molecular Plant Pathology 66: 20-29.

Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, K. H. and Khalighi, A. (2010) The effect of salinity at various on growth parameters, essential oil yield and constituent of eppermint (*Mentha piperita* L.). World Applied Sciences Journal 11: 1403-1407.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

Kim, H., Wheeler, R. M., Sager, J. C., Yorio, N. C. and Goins, G. D. (2005) Light-emitting diodes as an illumination source for plants: A review of research at Kennedy Space Center. Habitation 10: 71-78.

Kim, K., Kook, H., Jang, Y., Lee, W. and Chae, J. (2013) The effect of blue-light-emitting diodes on antioxidant properties and resistance to *Botrytis cinerea* in Tomato. Plant Pathology and Microbiology 4: 2157-2171.

Kopsell, D. A., Sams, C. E. and Morrow, R. C. (2017) Interaction of light quality and fertility on biomass, shoot pigmentation and xanthophyll cycle flux in Chinese kale. Journal of the Science of Food and Agriculture 97: 911-917.

Lee, N. Y., Lee, M., Kim, Y., Park, J., Park, H., Choi, J., Hyun, J., Kim, K., Park, K., Ko, J. and Kim, J. (2010) Effect of light emitting diode radiation on antioxidant activity of barley leaf. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry 53: 685-690.

Liu, H., Song, J., Dong, L., Wang, D., Zhang, S. and Liu, J. (2017) Physiological responses of three soybean species (*Glycine soja*, *G. gracilis*, and *G. max* cv. Melrose) to salinity stress. Journal of Plant Research 130: 723-733.

Liu, Y., Ren, X. and Jeong, B. R. (2019) Supplementary light source affects growth, metabolism, and physiology of *Adenophora triphylla* (Thunb.) A. DC. Seedlings. BioMed Research International 2019: 1-16.

Lobiuc, A., Vasilache, V., Pintilie, O., Stoleru, T., Burducea, M., Oroian, M. and Zamfirache, M. M. (2017) Blue and red LED illumination improves growth and bioactive compounds contents in acyanic and cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens. Molecules 22: 2111.

Manivannan, A., Soundararajan, P., Halimah, N., Ko, C. H. and Jeong, B. R. (2015) Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. Horticulture Environment and Biotechnology 56: 105-113.

Marvat, S. K., Rehman, F. U., Khan, M. S., Ghulam, S., Anwar, N., Mustafa, G. and Usman, K. H. (2011) Phytochemical constituents and pharmacological activities of sweet basil *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). Asian Journal of Chemistry 23: 3773-3782.

Massa, G. D. (2006) Plant growth lighting for space life support: A review. Gravitational and Space Research 19: 19-30.

Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., Goto, E. and Kurata, K. (2004) Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light. Plant and Cell Physiology 45: 1870-1874.

Miao, Y., Chen, Q., Qu, M., Gao, L. and Hou, L. (2019) Blue light alleviates 'red light syndrome' by regulating chloroplast ultrastructure, photosynthetic traits and nutrient accumulation in cucumber plants. Scientia Horticulturae 257: 108680.

Mirzahosseini, Z., Shabani, L. and Sabzalian, M. R. (2020) LED lights increase an antioxidant capacity of *Arabidopsis thaliana* under wound-induced stresses. Functional Plant Biology 47: 853-864.

Mittova, V., Guy, M., Tal, M. and Volokita, M. (2004) Salinity up-regulates the antioxidative system in root mitochondria and peroxisomes of the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*. Journal of Experimental Botany 55: 1105-1113.

Nakano, Y. and Asada, K. (1987) Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. Plant and Cell Physiology 28: 131-140.

Nanya, K., Ishigami, Y., Hikosaka, S. and Goto, E. (2012) Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. Acta Horticulturae 956: 261-266.

Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C. and Martinez, V. (2006) Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at ripening stages, as affected by salinity. Food Chemistry 96: 66-73.

Nazarbeygi, E., Lori Yazdi, H., Naseri, R. and Soleimani, R. (2011) The effects of different levels of salinity on proline and *a-b* chlorophylls in canola. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science 10: 70-74.

Ozcan, M., Derya, A. and Unver, M. (2005) Effect of drying methods on the mineral content of basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Food Engineering 69: 375-379.

Phansurin, W., Jamaree, T. and Sakhonwasee, S. (2017) Comparison of growth, development, and photosynthesis of petunia grown under white or red-blue LED lights. Horticultural Science and Technology 35: 689-699.

Peng, L., Zou, L., Su, Y., Fan, Y. and Zhao, G. (2015) Effects of light on growth, levels of anthocyanin, concentration of metabolites in *Fagopyrum tataricum* sprout cultures. International Journal of Food Science and Technology 50: 1382-1389.

Qaseminezhad, P., Mehrafarin, A., Biglori, M. and Mansuri, M. (2011) The effect of light and salinity stress on germination and growth seedlings of artichokes. In: Proceedings of the Second National Conference on Seed Science and Technology, Islamic Azad University of Mashhad, Mashhad, Iran (in Persian).

Qian, H., Liu, T., Deng, M., Miao, H., Cai, C., Shen, W. and Wang, Q. (2016) Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. Food Chemistry 196: 1232-1238.

Rafeie, M., Shabani, L., sabzalian, M. R. and Gharibi, Sh. (2022) Pretreatment with LEDs regulates antioxidant capacity and polyphenolic profile in two genotypes of basil under salinity stress. Protoplasma 259: 1567-1583.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

Sairam, R. (2002) Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science 163: 1037-1046.

Samuolienė, G., Virsilė, A., Brazaityte, A., Jankauskiene, J., Sakalauskiene, S., Vastakaite, V., Novickovas, A., Viskeliene, A., Sasnauskas, A. and Duchovskis, P. (2017) Blue light dosage affects carotenoids and tocopherols in microgreens. Food Chemistry 228: 50-56.

Sgarbi, E., Fornasiero, R. B., Lins, A. P. and Bonatti, P. M. (2003) Phenol metabolism is differentially affected by ozone in two cell lines from grape (*Vitis vinifera* L.) leaf. Plant Science 165: 951-7.

Singleton, V. L. and Rossi, J. A. (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphotungstic acid reagents. Journal of Enology and Viticulture 16: 144-158.

Sudha, G. and Ravishankar, G. A. (2003) Elicitation of anthocyanin production in callus cultures of *Daucus carota* and involvement of calcium channel modulators. Current Science 84: 775-779.

Sung, J. E., Lee, S., Lim, S. H., Ha, S. H., Liu, K. H. and Lee, C. H. (2013) Metabolite profiling of the short-term responses of rice leaves (*Oryza sativa* cv. Ilmi) cultivated under different LED lights and its correlations with antioxidant activities. Plant Science 210: 61-69.

Valifard, M., Mohsenzadeh, S., Kholdebarin, B. and Rowshan, V. (2014) Effects of salt stress on volatile compounds, total phenolic content and antioxidant activities of *Salvia mirzayanii*. South African Journal of Botany 93: 92-97.

Wang, J., Lu, W., Tong, Y. and Yang, Q. (2016) Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. Frontiers in Plant Science 7: 250.

Wu, M., Hou, C., Jiang, C., Wang, Y., Wang, C. and Chen, H. (2007) A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. Food Chemistry 101: 1753-1758.

Wu, X. X., Zhu, W., Zhang, H., Ding, H. and Zhang, H. J. (2011) Exogenous nitric oxide protects against salt- induced oxidative stress in the leaves from two genotype sof tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Acta Physiologiae Plantarum 33: 1199-1209.

Yu, W., Liu, Y., Song, L., Jacobs, D. F., Du, X., Ying, Y., Shao, Q. and 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: 148-160.

Zhang, S., Ma, J., Zou, H., Zhang, L., Li, S. and Wang, Y. (2020) The combination of blue and red LED light improves growth and phenolic acid contents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. Industrial Crops and Products 158: 112959.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]

Effect of LED priming on growth indices, antioxidant enzymes and total phenolic compounds in basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress

Masoome Rafiei Demne[1], Leila Shabani[1, 2*], Mohammad R. Sabzalian[3]

[1] Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahrekord University, Shahrekord
[2] Biotechnology Research Institute of Shahrekord University, Shahrekord
[3] Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan
(Received: 18/01/2022, Accepted: 24/09/2022)

Abstract

Priming is the exposure of organisms or cells to a small amount of physically or chemically damaging agents that prepare the organism for subsequent stress exposure through an enhanced response. Accordingly, in this study, the effect of pretreatment of four different LED lights including red LED light, red LED light (70%) + blue light (30%), blue LED light and white LED light in comparison with greenhouse light on two green and purple genotypes of sweet basil was studied under control and salinity stress with a concentration of 150 mmol NaCl. For research, seeds of two genotypes of green and purple sweet basil were planted in pots containing sandy loam soil. After 50 days, 48 pots were transferred to a chamber containing LED lamps and 12 pots were kept in the greenhouse. After 2 weeks, the pots were transferred from the chamber containing LED lamps to the greenhouse and salinity treatment was applied for 2 weeks. The results showed that 150 mM NaCl treatment reduced the fresh and dry weight of shoot and chlorophyll a and increased the amount of hydrogen peroxide, catalase activity and total phenolic compounds in both genotypes under greenhouse light conditions. In light control conditions in both genotypes, red + blue LED light increased the fresh and dry weight of aerial parts, chlorophyll a and total phenolic compounds and decreased the content of hydrogen peroxide compared to other lights. In saline conditions, the results showed that pretreatment with red + blue LED light in green genotype and red LED in purple genotype increased shoot fresh weight (65% and 52%, respectively) and shoot dry weight (2 and 73%, respectively), chlorophyll a (98% and 58%, respectively), total phenolic compounds (2 times and 20%, respectively) and the activity of antioxidant enzymes and reduction of hydrogen peroxide content (33% and 72%, respectively) compared to plants not pre-treated with these lights. According to the results, the use of LED pretreatment (red + blue LED light in green genotype and red LED in purple genotype) by strengthening support mechanisms such as reducing membrane lipid peroxidation, increasing the activity of antioxidant enzymes, phenolic compounds and photosynthetic pigments have played an important role in improving the condition of basil in both control and salinity conditions.

Keywords: Antioxidant enzymes, Basil, Light emitting diodes (LEDs), Phenolic compounds, Salinity stress

Corresponding author, Email: lshabani@gmail.com; shabani-l@ sku.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.16.6]