

اثر نور تکمیلی و تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر رشد، عملکرد و برخی تغییرات بیوشیمیایی در گل ژربرا

حسین ساریخانی خرمی^۱، احمد ارشادی*^۱، داود عسگری^۱ و مهدی قبولی^۲

^۱ گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

^۲ دانشیار بخش تولیدات گیاهی و ژنتیک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳)

چکیده

گل ژربرا از تیره کاسنی یکی از پر استفاده‌ترین گل‌های شاخه بریده در جهان است. بهبود عملکرد و عمر پس از برداشت گل از مهمترین مسائل پژوهشی در صنعت گل‌های شاخه بریده است. در این پژوهش اثر کیفیت نوردهی تکمیلی (نور قرمز ۱۰۰ درصد، قرمز ۸۳ درصد و آبی ۱۷ درصد، قرمز ۶۶ درصد و آبی ۳۴ درصد و عدم نوردهی تکمیلی) و تلقیح با قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر رشد، عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گل ژربرا رقم 'Dune' با استفاده از یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. تلقیح با قارچ پیریفورموسپورا ضمن افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی باعث بهبود وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، تعداد برگ و سطح برگ گردید، ولی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را کاهش داد. ترکیب‌های مختلف نور تکمیلی بدون اختلاف معنی داری با هم باعث افزایش رشد شاخساره شدند، ولی نور ترکیبی اثر بیشتری بر افزایش کلروفیل *a*، کاروتنوئید، رشد ریشه، تعداد گل و طول ساقه گل در مقایسه با نور قرمز ۱۰۰ درصد داشت. نوردهی تکمیلی به‌ویژه ۶۶ درصد قرمز و ۳۴ درصد آبی باعث بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی و پرولین در برگ شد. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد نور تکمیلی ترکیبی به‌ویژه ۶۶ درصد قرمز و ۳۴ درصد آبی توأم با تلقیح با قارچ پیریفورموسپورا از طریق افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و تولید کربوهیدرات‌ها باعث بهبود رشد گیاه و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی شده و نهایتاً به افزایش تعداد و قطر گل و طول ساقه گل دهنده منجر گردید.

کلمات کلیدی: قارچ اندوفیت، کیفیت گل، گل شاخه بریده، نوردهی

مقدمه

قارچ *Piriformospora indica* یک اندوفیت با ویژگی‌های همانند قارچ‌های آربسکولار مایکوریز است (Varma et al., 2001, 2013). این قارچ می‌تواند با تولید یک گلیکوپروتئین به نام گلومالین که باعث بهبود زهکشی خاک و حرکت و جذب عناصر مغذی از خاک می‌شود رشد گیاه را افزایش دهد

ژربرا (*Gerbera jasmonica*) از تیره کاسنی یکی از گل‌های شاخه بریده محبوب در سراسر جهان است که به علت ظاهر زیبا، رنگ‌های جذاب و عمر گلجای مناسب مورد توجه بسیاری است. این گل در رده‌بندی‌های جهانی جز ۱۰ گل برتر جهان از لحاظ کمیت تولید محسوب می‌گردد (Oki and

افزایش بیان برخی ژن‌های مرتبط با فتوسنتز می‌گردد (Taiz et al., 2015; Baidya et al., 2021).

مطالعات بروی گل داوودی نشان داد گیاهان پرورش یافته در زیر نور آبی سیستم انتقال الکترون فعال‌تر و نسبت کلروفیل a به b بالاتری نسبت به گیاهان رشد کرده زیر نور قرمز داشتند (Zheng and Labeke, 2017). در بررسی اثر نور قرمز و آبی بر گیاهان ژبربا مشاهده گردید که برگ گیاهان زیر نور آبی بالاترین میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را به خود اختصاص دادند و گیاهان زیر نور قرمز نسبت به نور سفید و آبی کمترین میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را دارا بودند (Meng et al., 2004). امروزه ثابت شده است نوردهی تکمیلی علاوه بر بهبود فتوسنتز می‌تواند اثرات مثبتی بر عملکرد کمی و کیفی در تولید گل داشته باشد، اما میزان این اثر وابسته به شدت و کیفیت نور مورد استفاده است (Sabzalian et al., 2014). زمان استفاده از نوردهی تکمیلی نیز بر نحوه اثرگذاری آن مؤثر است و چنین بیان شده است که نوردهی در انتهای روز باعث ایجاد تغییرات مورفولوژیک در گیاه شده اما نوردهی تکمیلی شبانه باعث افزایش رشد می‌شود (Fukuda et al., 2004; Yang et al., 2012).

با توجه به هزینه‌های بالای احداث گلخانه گیاهان زینتی شاخه بریده، باید به فکر راهکارهای جدید جهت افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت محصول بود، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر همزیستی با قارچ اندوفیت *P. indica* و نوردهی تکمیلی پایان روز بر رشد، عملکرد و کیفیت گل شاخه بریده ژبربا انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تیمار نوردهی تکمیلی (عدم نوردهی تکمیلی (شاهد)، قرمز ۱۰۰ درصد، قرمز ۸۳ درصد+ آبی ۱۷ درصد (ترکیبی ۱) و قرمز ۶۶ درصد+ آبی ۳۴ درصد (ترکیبی ۲)) و دو تیمار تلقیحی (عدم تلقیح و تلقیح با قارچ *P. indica*) بود

(Waller et al., 2005). همزیستی این قارچ با گونه‌های گیاهی فراوانی انجام‌پذیر است که این همزیستی منجر به افزایش رشد و عملکرد محصول می‌شود (Verma et al., 1998; Oelmuller et al., 2009). قارچ *P. indica* اثرات فیزیولوژیک متفاوتی از جمله بهبود استقرار گیاهان حاصل از ریزازدیادی، تشکیل ریشه در قلمه‌ها، تولید لیگنین در ریشه‌های مویین، تقویت گلدهی، بهبود عملکرد محصولات و افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده را ایجاد می‌کند (Varma et al., 2013).

قارچ *P. indica* بیوسنتز اتیلن و متابولیسم کربوهیدرات‌ها و نیتروژن را تحت تأثیر قرار داده و تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد (Waller et al., 2005; Ghaffari et al., 2016). در زمان همزیستی گیاه آنتوریوم با قارچ پیریفورموسپورا مشاهده شده است که قارچ به وسیله بهبود گسترش سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب و مواد غذایی توانسته است باعث افزایش معنی‌دار رشد شود (Lin et al., 2019). قارچ پیریفورموسپورا باعث بهبود فعالیت سیستم ریشه‌ای و جذب آب و عناصر معدنی شده و تولید آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی را افزایش می‌دهد. (Xu et al., 2019; Karimi et al., 2022; Abdelaziz et al., 2022). نوردهی تکمیلی یکی از روش‌های بهبود رشد و عملکرد در روزهای کوتاه و مناطق با تعداد روزهای ابری زیاد در گلخانه‌ها است، که می‌تواند علاوه بر کمیت، بر کیفیت محصول تولیدی نیز اثرگذار باشد. علت این تأثیرگذاری، افزایش میزان فتوسنتز گیاه و در نتیجه بهبود فراهمی کربوهیدرات‌های مورد نیاز جهت رشد و نمو گیاه است (Llewellyn et al., 2020). کیفیت نور بر فیزیولوژی و مورفولوژی گیاه مؤثر است، به طوریکه معمولاً نورهای قرمز و آبی به علت نقش مهم خود در فتوسنتز و فتومورفوزن اهمیت بیشتری دارند (Massa et al., 2008). نور آبی باعث افزایش ساخت کلروفیل و کاروتنوئید، بیان برخی ژن‌ها، تنفس و باز شدن روزنه‌ها می‌شود و نور قرمز موجب بهبود فتوسنتز، ساخت کربوهیدرات‌های پیچیده و

تعداد گل، قطر گل، قطر گردن گل اندازه‌گیری شد و در انتهای آزمایش پس از خارج کردن گیاهان از بستر وزن تر و خشک شاخساره و حجم ریشه اندازه‌گیری شد. ریشه‌ها براساس قطر به سه دسته (ریشه‌های ضخیم: قطر بیش از ۲ میلی‌متر، ریشه‌های متوسط: قطر بین ۱ تا ۲ میلی‌متر و ریشه‌های باریک: قطر کمتر از ۱ میلی‌متر) تقسیم شدند و جداگانه وزن تر و خشک آنها اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌ها و اندام هوایی، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت درون آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

کلروفیل و کاروتنوئید برگ: برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل و کاروتنوئید برگ از روش Lichenthaler و Wellburn (۱۹۸۳) استفاده شد. جهت انجام این کار ۰/۱ گرم از نمونه برگ تازه همراه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ درون هاون چینی با ملایمت ساییده شدند. سپس نمونه‌ها به فالدکون منتقل و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در ادامه جذب فاز مایع به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (شیمادزو مدل UV-1280، ساخت ژاپن) در طول موج‌های ۶۶۳/۶، ۶۴۶/۶ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

پرولین برگ: غلظت پرولین به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه تازه برگ با استفاده از نیتروژن مایع پودر گردید. سپس به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ ۳۰۰۰ دور قرار داده شد. ۲ میلی‌لیتر از معرف ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص به هر نمونه اضافه و سپس به مدت ۷۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۸۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. در ادامه نمونه‌ها بلافاصله به ظرف حاوی یخ منتقل شدند تا سرد شوند. مقدار ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله افزوده شد و به مدت ۳۰ ثانیه ورتکس شدند. سپس جذب نور ۳ میلی‌لیتر از فاز تشکیل شده بالایی در طول موج ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده گردید. غلظت پرولین با استفاده از نمودار استاندارد محاسبه شد.

که در سه تکرار انجام شد. دمای کمینه و بیشینه گلخانه در طول دوره آزمایش به ترتیب ۱۷ و ۲۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی متغیر بین ۵۰-۷۰ درصد بود. تغذیه گیاهان با محلول نیم غلظت هوگلند به صورت روزانه انجام شد. به منظور انجام آزمایش نشاهای تکثیرشده به وسیله کشت‌بافت از مجتمع کشاورزی و دامپروری اتکا ورامین تهیه شد. نشاها پس از تهیه در گلدان‌هایی با حجم ۷ لیتر در بستر کوکوپیت و پرلیت با نسبت یک به یک به کشت شدند. جهت تهیه اسپور و میسلیم مورد نیاز برای تلقیح، قارچ بر روی محیط‌کشت پیچیده جامد (حاوی عناصر پر مصرف، کم مصرف، عصاره مخمر، پیتون و کازئین) کشت شده و به مدت چهار هفته در دمای ۲۸±۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. برای تهیه میسلیم، دیسک‌های فعال قارچ از محیط‌کشت جامد، در ارلن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط‌کشت مایع، کشت و سپس در انکوباتور حاوی شیکر با دمای ۲۸±۲ درجه سلسیوس و ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰-۷ روز قرار داده شدند و پس از اتمام این مراحل اسپور و میسلیم‌های تهیه‌شده مورد استفاده قرار گرفت (Ghabooli et al., 2013). ریشه نشاها برای تلقیح به مدت ۳۰ دقیقه در محلول سوسپانسیون ۱٪ وزنی به حجمی حاوی اسپور و میسلیم قارچ غوطه‌ور شدند. پس از دو هفته از کشت نشاها، مرحله دوم تلقیح با استفاده از تزریق ۵ میلی‌لیتر از محلول سوسپانسیون میسلیم قارچ در ناحیه ریشه انجام گرفت (Ghabooli, 2014). پس از گذشت یک ماه و ایجاد همزیستی بین گیاه و قارچ تیمارهای نوردی تکمیلی به صورت چهار ساعت نوردی آخر روز طی ماه‌های مهر تا آذر (از حدود نیم ساعت به غروب آفتاب) به مدت سه ماه انجام شد. نوردی تکمیلی در اوایل مهر به‌طور تقریبی ساعت ۱۷:۴۵ و در انتهای آذر ساعت ۱۶:۴۵ شروع شد.

صفات رشدی و عملکردی: صفات رشدی شامل تعداد برگ و سطح برگ در آخر آذر ماه اندازه‌گیری شد و در زمان رسیدن هر یک از گل‌ها به شاخص برداشت به صورت تدریجی صفات عملکردی گل شامل طول ساقه گل‌دهنده،

کربوهیدرات‌های محلول برگ و ساقه: جهت اندازه‌گیری غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ و ساقه از روش Irigoyen (۱۹۹۲) استفاده شد. ابتدا ۰/۵ گرم از بافت برگ با استفاده از ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد درون هاون چینی، ساییده شد. محلول رویی جمع‌آوری و عصاره‌گیری با استفاده از اتانول ۷۰ درصد روی رسوبات باقیمانده دو مرتبه دیگر تکرار شد. عصاره الکلی جمع‌آوری شده به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه و سرعت ۳۵۰۰ دور سانتی‌فیوژ شد. در مرحله بعد ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۳ میلی‌لیتر محلول معرف آنترون (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۷۲ درصد) مخلوط شد و به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خارج کردن و خنک نمودن نمونه‌ها، میزان جذب نور آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد. غلظت کربوهیدرات محلول کل با استفاده از فرمول منحنی استاندارد محاسبه شد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه برگ با استفاده از نیتروژن مایع پودر شد. در مرحله بعد میزان یک میلی‌لیتر بافر استخراج (بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=7)، پلی‌وینیل پیرولیدون (یک درصد)، تریتون X100 (نیم درصد) به آن اضافه شد. در ادامه این ترکیب با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتی‌فیوژ شد. سپس فاز مایع رویی عصاره برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان استفاده گردید (Chance and Maely, 1955).

آنزیم کاتالاز: اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش اصلاح‌شده Chance و Maely (۱۹۵۵) انجام پذیرفت. برای این کار ابتدا ۱/۹۵ میلی‌لیتر بافر واکنش (بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH = 7) و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار) با ۰/۰۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مخلوط شد. سپس میزان جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در لحظه شروع واکنش تا ۲ دقیقه

پس از آن اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم کاتالاز از تقسیم فعالیت حجمی کاتالاز بر مقدار پروتئین عصاره که به روش بردفورد اندازه‌گیری شده بود، محاسبه گردید.

آنزیم آسکوربات پراکسیداز: برای سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از روش Nakano و Asada (۱۹۸۱) استفاده شد. برای شروع واکنش، ۳ میلی‌لیتر بافر واکنش (بافر فسفات سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=7) هیدروژن پراکسید ۰/۵ میلی‌مولار و محلول آسکوربات ۵ میلی‌مولار) با ۰/۰۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مخلوط شدند. در ادامه اختلاف جذب بین زمان شروع تا ۲ دقیقه پس از شروع واکنش در طول موج ۲۹۰ نانومتر سنجیده شد. فعالیت آنزیم مطابق با روش مشروح در آنزیم کاتالاز تعیین شد.

آنزیم گایاکول پراکسیداز: اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز از روش Chance و Maely (۱۹۵۵) انجام پذیرفت. برای انجام این کار ۳ میلی‌لیتر بافر واکنش (بافر فسفات سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=7) و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار، ۳/۹ میکرولیتر گایاکول) با ۰/۰۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مخلوط شد. در ادامه اختلاف جذب بین زمان شروع و ۲ دقیقه پس از شروع واکنش در طول موج ۴۷۰ نانومتر سنجیده شد. فعالیت آنزیم مطابق با روش مشروح در آنزیم کاتالاز تعیین گردید.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از روش تغییر یافته Giannopolitis و Ries (۱۹۷۷) اندازه‌گیری شد. در ابتدا ۰/۰۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی با ۳ میلی‌لیتر بافر واکنش (بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=7/8) همراه با EDTA ۰/۰۳ میلی‌مولار، متونین ۱۳ میلی‌مولار، نیتروبولوترازولیوم ۶۳ میکرومولار و ریوفلاوین ۱/۳ میکرومولار) مخلوط گردید. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در معرض نور لامپ فلورسنت ۲۰ وات قرار گرفتند و سپس جذب آنها در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. یک نمونه مشابه، ولی نور ندیده به عنوان بلانک (برای صفر کردن دستگاه) و یک نمونه با همه اجزای بافر واکنش، بدون عصاره آنزیمی، به عنوان شاهد به کار گرفته شد (مانند دیگر

تعداد گل نسبت به شاهد شدند (شکل ۲). تیمار عدم نوردهی تکمیلی باعث کاهش قطر گل شده و تیمارهای نوردهی تکمیلی بدون اختلاف معنی‌داری باعث افزایش قطر گل شدند (شکل‌های ۱ و ۲). بلندترین طول ساقه گل‌دهنده در تیمارهای نور ترکیبی ۱ و ۲ و کوتاه‌ترین ساقه گل‌دهنده مربوط به تیمار عدم نوردهی تکمیلی بود (شکل ۲).

شاخص‌های رشد ریشه: تأثیر نور بر وزن تر و خشک

ریشه‌های ضخیم و کل در سطح احتمال یک درصد و بر وزن تر ریشه‌های باریک و بر وزن خشک ریشه‌های باریک و بر وزن خشک ریشه‌های باریک و متوسط در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). تأثیر قارچ همزیست بر وزن تر و خشک ریشه‌های باریک و کل در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک ریشه‌های ضخیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). اثر متقابل نور و همزیستی با قارچ در هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نبود (جدول ۴).

بیشترین میزان وزن تر و خشک کل ریشه در تیمارهای نوری ترکیبی مشاهده شد و تیمار عدم نوردهی و نور قرمز بدون اختلاف معنی‌دار کمترین مقادیر را نشان دادند (جدول ۵). تیمار ترکیبی ۲ باعث افزایش وزن تر ریشه‌های متوسط گیاه در مقایسه با عدم نوردهی شدند، درحالی‌که بیشترین وزن تر و خشک ریشه‌های ضخیم در تیمار قرمز ۸۳ درصد+ آبی ۱۷ درصد مشاهده شد (جدول ۵). وزن خشک ریشه‌های متوسط و باریک زیر هر دو تیمار ترکیبی نوردهی تکمیلی افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری با تیمار عدم نوردهی نشان داد. به صورت کلی تیمار نور قرمز اثر معنی‌داری بر وزن تر و خشک ریشه در مقایسه با تیمار عدم نوردهی نداشت (جدول ۵).

تلقیح با قارچ باعث افزایش وزن تر و خشک کل ریشه نسبت به تیمار عدم تلقیح گردید (جدول ۵). تلقیح با قارچ باعث افزایش ۱۱/۳ و ۱۶/۷ درصدی وزن تر و خشک ریشه‌های باریک و افزایش ۷/۸ درصدی وزن خشک ریشه‌های ضخیم نسبت به تیمار عدم نوردهی گردید در حالی‌که وزن تر و خشک ریشه‌های متوسط تحت تأثیر تلقیح با قارچ قرار

نمونه‌ها در معرض نور قرار گرفت). فعالیت آنزیم مطابق با روش مشروح در آنزیم کاتالاز اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار (SAS نسخه ۹/۴) صورت پذیرفت و مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج

رشد شاخساره و عملکرد گل: تأثیر نور بر وزن تر و خشک شاخساره و تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد و بر سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تأثیر قارچ همزیست بر وزن تر و خشک شاخساره در سطح احتمال یک درصد و بر سطح برگ و تعداد برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). تأثیر نور بر تعداد گل در سطح احتمال یک درصد و بر قطر گل و طول ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). اثر همزیستی با قارچ بر تعداد گل و طول ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل نور و همزیستی با قارچ در همه این صفات غیر معنی‌دار بود (جدول ۱).

کمترین وزن تر و خشک شاخساره و تعداد برگ در تیمار عدم نوردهی مشاهده شد، تیمارهای مختلف نوردهی تکمیلی بدون اختلاف معنی‌داری با هم وزن تر و خشک شاخساره و تعداد برگ را به مقدار قابل توجهی افزایش دادند (جدول ۲). نور قرمز تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ در مقایسه با عدم نوردهی نداشت (جدول ۲).

تلقیح با قارچ باعث افزایش ۲۷/۸ درصدی وزن تر شاخساره، ۲۵/۲ درصدی وزن خشک شاخساره، ۵/۲ درصدی سطح برگ و ۱۰/۴ درصدی تعداد برگ نسبت به تیمار گیاهان تلقیح نشده گردید (جدول ۳).

کمترین تعداد گل در تیمار عدم نوردهی مشاهده شد، تیمار ترکیبی ۲ بیشترین تعداد گل را با افزایش ۵۷/۴ درصدی نسبت به تیمار عدم نوردهی داشت (شکل ۲). تیمارهای نور ترکیبی ۱ و قرمز ۱۰۰ درصد بدون اختلاف معنی‌داری باعث افزایش

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات نور تکمیلی و تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر رشد شاخساره و عملکرد گل گیاه ژبررا رقم 'Dune'

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	میانگین مربعات			
				سطح برگ	تعداد برگ	تعداد گل	قطر گل
نور	۳	۲۶۴۷۹/۱**	۸۲۳/۰۴**	۶۵۴/۳۴*	۳۱/۲۲**	۱۰/۱۵۲۸**	۱/۷۱۲۷*
قارچ همزیست	۱	۴۰۰۴۴/۴**	۱۱۱۶/۵۷**	۷۷۵/۳۲*	۲۴/۰۱*	۷/۰۴۱۷*	۰/۴۲۶۶ ^{ns}
نور و قارچ	۳	۲۳۶۲/۶ ^{ns}	۱۶۲/۲۴ ^{ns}	۳۶/۴۸ ^{ns}	۰/۷۸ ^{ns}	۰/۲۶۳۹ ^{ns}	۰/۴۸۲۲ ^{ns}
خطا	۱۶	۲۰۵۴/۴	۹۰/۰۷	۱۷۱/۴۹	۳/۸۳	۰/۹۱۶۷	۰/۴۸۴۱
ضریب تغییرات		۱۳/۵۷	۱۵/۵۶	۵/۸۷	۹/۷۱	۱۳/۶	۶/۶۳

***، ** و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری است.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای نوری بر وزن تر و خشک شاخساره، سطح برگ و تعداد برگ در گیاه ژبررا رقم 'Dune'

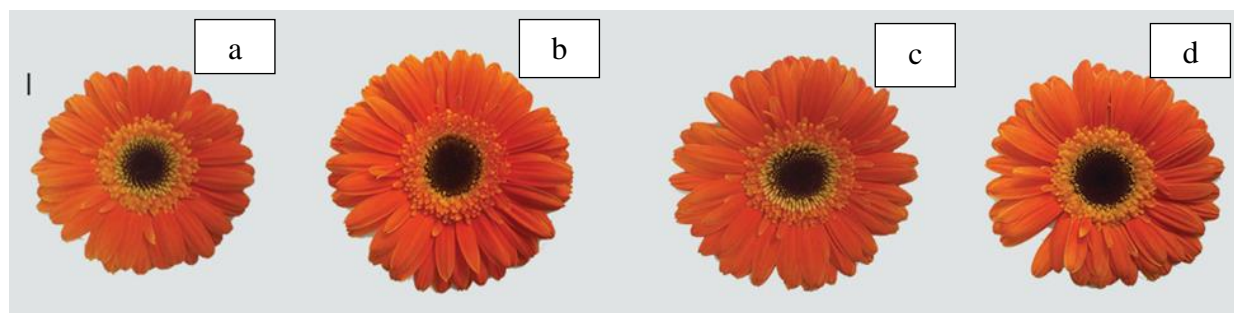
تیمار نوری	وزن تر شاخساره (g)	وزن خشک شاخساره (g)	سطح برگ (cm ²)	تعداد برگ
عدم نوردی	۲۳۵/۳۳ ^b	۴۳/۹۶۷ ^b	۲۰۸/۶۱ ^b	۱۶/۸۳ ^b
قرمز	۳۵۴/۶۸ ^a	۶۲/۵۵ ^a	۲۲۲/۰۴ ^{ab}	۲۲ ^a
ترکیبی ۱	۳۷۱/۵۳ ^a	۶۹/۱۵ ^a	۲۲۹/۰۶ ^a	۲۱ ^a
ترکیبی ۲	۳۷۴/۸۴ ^a	۶۸/۲۵ ^a	۲۳۲/۰۷ ^a	۲۰/۸۳ ^a

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

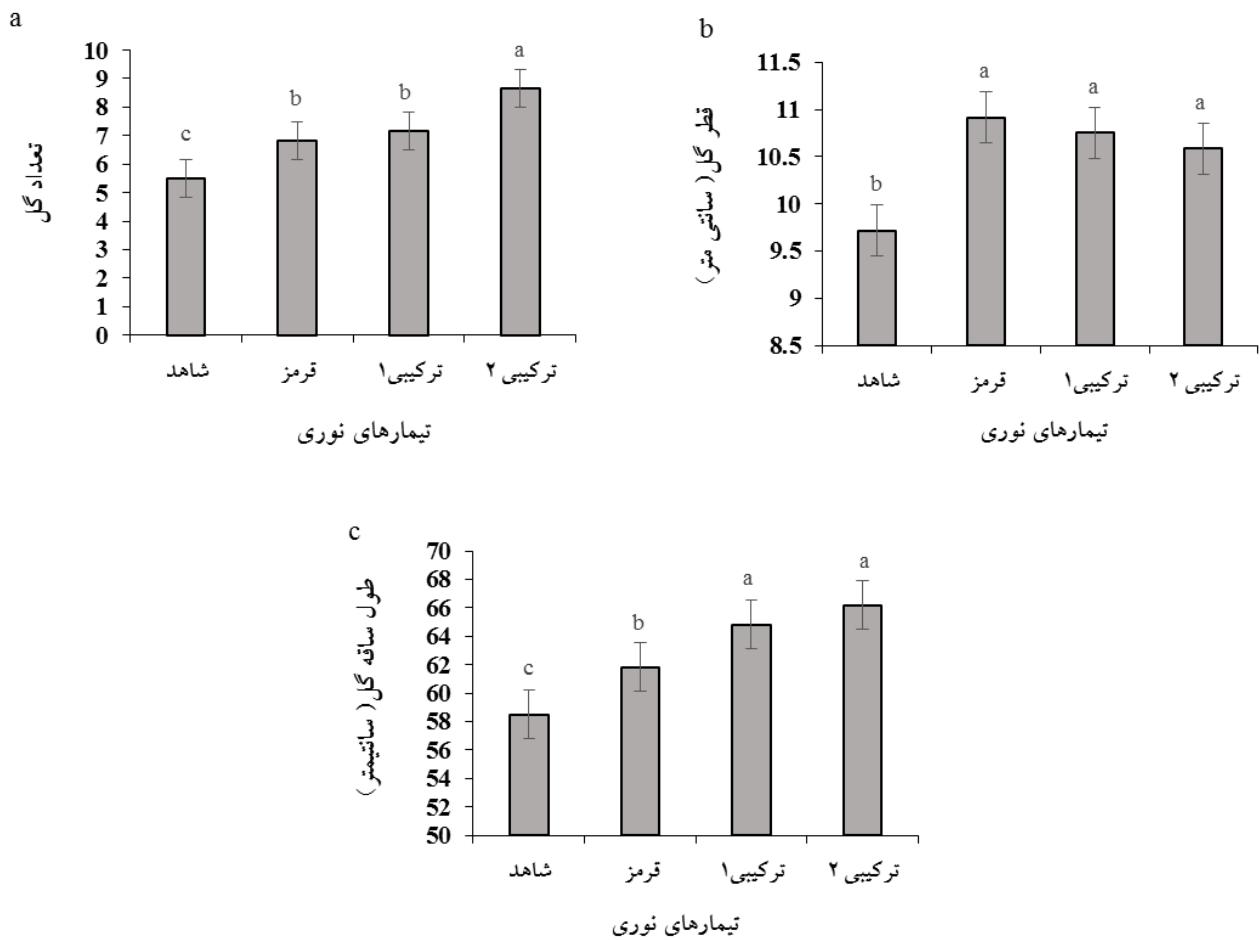
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر رشد شاخساره، تعداد گل و طول ساقه گل در گیاه ژبررا رقم 'Dune'

تیمار نوری	وزن تر شاخساره (g)	وزن خشک شاخساره (g)	سطح برگ (cm ²)	تعداد برگ	تعداد گل	قطر گل (cm)	طول ساقه گل (cm)
عدم تلقیح	۲۹۳/۲۵ ^b	۵۴/۱۵۸ ^b	۲۱۷/۲۶ ^b	۱۹/۱۶۷ ^b	۶/۵ ^b	۱۰/۳۵۸ ^a	۶۱/۳۳ ^a
تلقیح	۳۷۴/۹۴ ^a	۶۷/۸ ^a	۲۲۸/۶۳ ^a	۲۱/۱۶۷ ^a	۷/۵۸۳ ^a	۱۰/۶۲۵ ^a	۶۴/۳۳ ^b

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.



شکل ۱- اثر کیفیت نور تکمیلی بر قطر گل؛ عدم نوردی (a)، نور قرمز (b)، نور ترکیبی ۱ (c)، نور ترکیبی ۲ (d)



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف نوردهی تکمیلی بر تعداد گل، قطر گل و طول ساقه گل در گیاه ژبره رقم 'Dune' (حروف مشابه در هر مقایسه میانگین نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثرات نور تکمیلی و تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر صفات وزن تر و خشک ریشه گیاه ژبره رقم 'Dune'

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییرات
وزن خشک ریشه				وزن تر ریشه					
کل	باریک	متوسط	ضخیم	کل	باریک	متوسط	ضخیم		
۳/۶۳**	۰/۴۱*	۰/۱۱*	۱/۴۹**	۸۳/۷۹**	۱۴/۷۶*	۳/۴۲ ns	۱۹/۹۲**	۳	نور
۵/۴۳**	۱/۱۷**	۰/۰۳۴ ns	۰/۸۸*	۱۳۲/۵۴**	۴۲/۱۴**	۳/۹۲ ns	۶/۱۰ ns	۱	قارچ همزیست
۰/۱۳ ns	۰/۰۳۵ ns	۰/۰۳ ns	۰/۳۱ ns	۰/۵۲ ns	۱/۵۴ ns	۲/۴۲ ns	۳/۴۴ ns	۳	نور و قارچ
۰/۳۹	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۱۲	۱۴/۸۳	۴/۲۲	۱/۵۳	۲/۴۶	۱۶	خطا
۷/۳۱	۹/۹۱	۲۳/۵۳	۶/۷۶	۶/۱۲	۸/۲۸	۲۵/۶	۵/۴۲		ضریب تغییرات

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری است.

نگرفت (جدول ۵). تأثیر نور بر غلظت کلروفیل *a*، کلروفیل کل و کاروتنوئید در رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات محلول و پرولین: سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). اثر قارچ

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای نوری و تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر صفات وزن تر و خشک ریشه در گیاه ژبررا رقم 'Dune'

تیمار نوری	وزن تر ریشه (g)			وزن خشک ریشه (g)			
	ضخیم	متوسط	باریک	کل	ضخیم	متوسط	باریک
نوردهی تکمیلی							
عدم نوردهی	۲۸/۵ ^{bc}	۴/۵۰ ^a	۲۳/۴۵ ^b	۵۶/۴۵ ^b	۵/۱۱ ^b	۰/۵ ^c	۲/۵۶ ^c
قرمز	۲۶/۶ ^c	۴/۰۳۳ ^a	۲۳/۷۳ ^b	۵۴/۳۶ ^b	۴/۵۱ ^c	۰/۵۵ ^{bc}	۲/۷۳ ^{bc}
ترکیبی ۱	۳۰/۹۱ ^a	۴/۹۸۳ ^a	۲۵/۱۸ ^{ab}	۶۱/۰۸ ^a	۵/۷۱ ^a	۰/۷۱۶ ^{ab}	۳/۰۰ ^{ab}
ترکیبی ۲	۲۹/۵۶ ^{ab}	۵/۸ ^a	۲۶/۸۶ ^a	۶۲/۲۳ ^a	۵/۲ ^b	۰/۷۸۳ ^a	۳/۱۵ ^a
تلقیح با قارچ							
عدم تلقیح	۲۸/۴ ^a	۴/۴۲۵ ^a	۲۳/۴۸ ^b	۵۶/۱۸ ^b	۴/۹۴ ^b	۰/۵۷۵ ^a	۲/۶۴۱ ^b
تلقیح	۲۹/۴ ^a	۵/۲۳۳ ^a	۲۶/۱۳ ^a	۶۰/۸۳ ^a	۵/۳۲ ^a	۰/۷۰۰ ^a	۳/۰۸۳ ^a

حروف مشابه در هر ستون و برای هر مقایسه میانگین نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثرات تیمارهای نوری و تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین و کربوهیدرات محلول برگ و ساقه گل‌دهنده گیاه ژبررا رقم 'Dune'

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل <i>a</i>	کلروفیل <i>b</i>	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پرولین	کربوهیدرات برگ
نور	۳	۰/۰۷۸ ^{**}	۰/۰۱۴ ^{ns}	۰/۱۴۶ ^{**}	۰/۰۰۹۴ ^{**}	۰/۰۰۶۹ ^{**}	۱۲۱/۲۹ ^{**}
قارچ همزیست	۱	۰/۰۹۳ ^{**}	۰/۰۸۲ ^{**}	۰/۳۲۷ ^{**}	۰/۰۰۳۹ [*]	۰/۰۰۴۷ [*]	۶۵/۶۳ [*]
نور و قارچ	۳	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۱۴ ^{ns}	۱۲/۴۲ ^{ns}
خطا	۱۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۱۱/۶۴
ضریب تغییرات		۴/۷	۱۵/۶۴	۷/۶	۴/۸۴	۵/۱۳	۱۰/۲۱

^{**}، ^{*} و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری است.

همزیستی با قارچ بر هیچ‌کدام از پارامترها معنی‌دار نبود (جدول ۶).

کمترین غلظت کلروفیل *a*، کلروفیل کل و کاروتنوئید در گیاهان تیمار عدم نوردهی مشاهده شد و تیمارهای نوری باعث افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌جز کلروفیل *b* شدند (جدول ۷). تیمارهای نوردهی تکمیلی ۱ و ۲ تأثیر بیشتری بر افزایش غلظت کلروفیل *a* و کاروتنوئید نسبت به کاربرد نور قرمز به تنهایی داشتند (جدول ۷).

تلقیح با قارچ باعث افزایش به ترتیب ۹، ۲۴/۵، ۱۲/۵ و

همزیست بر کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد و بر کاروتنوئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل دو فاکتور بر رنگیزه‌های فتوسنتزی غیرمعنی‌دار بود (جدول ۶). تأثیر نوردهی تکمیلی بر غلظت پرولین و کربوهیدرات محلول برگ در سطح احتمال یک درصد و بر غلظت کربوهیدرات محلول ساقه گل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). همچنین تأثیر قارچ همزیست بر غلظت پرولین و کربوهیدرات محلول برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، اثر متقابل نور و

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تیمارهای نوری و تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین و کربوهیدرات محلول برگ و ساقه گل‌دهنده در گیاه ژربرا رقم 'Dune'

تیمار نوری	کلروفیل <i>a</i> (mg/g FW)	کلروفیل <i>b</i> (mg/g FW)	کلروفیل کل (mg/g FW)	کاروتنوئید (mg/g FW)	پرولین (μg/g FW)	کربوهیدرات برگ (mg/g FW)	کربوهیدرات ساقه گلدهنده (mg/g FW)
نوردهی تکمیلی							
عدم نوردهی	۱/۲۹۸ ^c	۰/۴۶۹ ^a	۱/۷۶۷ ^b	۰/۴۳۷ ^c	۰/۴۵۵ ^b	۲۶/۸۹۶ ^b	۱۸/۸۳۲ ^b
قرمز	۱/۴۲۴ ^b	۰/۵۵۶ ^a	۱/۹۸ ^a	۰/۴۷۹ ^b	۰/۴۵۹ ^b	۳۴/۶۳۵ ^a	۲۷/۲۲۱ ^a
ترکیبی ۱	۱/۵۱۲ ^a	۰/۵۳۶ ^a	۲/۰۳۴ ^a	۰/۵۱۵ ^a	۰/۴۷۴ ^b	۳۵/۰۹۹ ^a	۲۴/۸۴۳ ^a
ترکیبی ۲	۱/۵۵۶ ^a	۰/۵۸۲ ^a	۲/۱۳۸ ^a	۰/۵۲۵ ^a	۰/۵۲۹ ^a	۳۷/۱۳۴ ^a	۲۹/۰۷ ^a
تلقیح با قارچ							
عدم تلقیح	۱/۳۸۵ ^b	۰/۴۷۷ ^b	۱/۸۶۳ ^b	۰/۴۷۶ ^b	۰/۴۳۸ ^a	۳۱/۷۸۷ ^b	۲۳/۱۷۱ ^a
تلقیح	۱/۵۱ ^a	۰/۵۹۴ ^a	۲/۰۹۷ ^a	۰/۵۰۲ ^a	۰/۴۶۵ ^b	۳۵/۰۹۵ ^a	۲۶/۸۱۳ ^a

حروف مشابه در هر ستون و برای هر مقایسه میانگین نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

تیمار نوردهی ترکیبی ۲ با افزایش ۱۹ درصدی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، ۲۲/۳ درصدی فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز و ۱۷ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به تیمار عدم نوردهی بیشترین تأثیر مثبت را بر افزایش فعالیت آنزیم‌ها داشت، سایر تیمارهای نوردهی تکمیلی تأثیر معنی‌داری بر افزایش فعالیت آنزیم‌ها نسبت به شاهد نداشتند (جدول ۹).

عدم تلقیح با قارچ باعث افزایش ۱۲/۴ درصدی فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز، افزایش ۹ درصدی آنزیم آسکوربات پراکسیداز و افزایش ۹/۸ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به گیاه تلقیح شد (جدول ۹).

بحث

بر اساس نتایج این پژوهش نوردهی تکمیلی باعث بهبود شاخص‌های رشدی نظیر وزن تر و خشک شاخساره، سطح برگ و تعداد برگ شد، بین تیمارهای مختلف نوردهی از این نظر اختلافی مشاهده نشد. در بررسی روی گل شاخه بریده رز مشاهده شد استفاده از نوردهی تکمیلی باعث افزایش شاخص‌های رشدی همچون طول شاخه، تعداد شاخه، قطر شاخه، وزن تر و خشک شاخساره شد (Naing et al., 2016).

۵/۳ درصدی غلظت کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید نسبت به گیاهان تلقیح نشده گردید (جدول ۷).

تیمار نوردهی ترکیبی ۲ باعث افزایش ۱۶/۱ درصدی غلظت پرولین نسبت به تیمار عدم نوردهی شد، بین تیمار شاهد و سایر تیمارهای نوری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). تیمارهای نوردهی تکمیلی بدون اختلاف معنی‌دار با هم باعث افزایش غلظت کربوهیدرات محلول برگ شدند (جدول ۷). نور تکمیلی قرمز، ترکیبی ۱ و ترکیبی ۲ به ترتیب باعث افزایش ۲۸/۷، ۳۰/۵ و ۳۸ درصدی کربوهیدرات محلول برگ و افزایش ۴۴/۵، ۳۲ و ۶۳ درصدی کربوهیدرات محلول ساقه گل‌دهنده نسبت به تیمار عدم نوردهی شدند (جدول ۷).

تلقیح با قارچ باعث کاهش ۶ درصدی پرولین و افزایش ۱۰/۴ درصدی کربوهیدرات محلول برگ نسبت به گیاهان تلقیح نشده گردید، اما بر کربوهیدرات ساقه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: تأثیر نوردهی تکمیلی و قارچ همزیست بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۸). اثر متقابل نور و همزیستی با قارچ بر هیچ‌کدام از پارامترها معنی‌دار نبوده است (جدول ۸).

جدول ۸- تجزیه واریانس اثرات تیمارهای نوری و تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز گیاه ژبر بر رقم 'Dune'

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	گایاکول پراکسیداز
نور	۳	۰/۱۰۹۹*	۰/۰۰۳۸ ^{ns}	۱/۱۱۳۸*
قارچ همزیست	۱	۰/۱۳۳۵*	۰/۰۰۳۸۷ ^{ns}	۱/۴۵۶*
نور و قارچ	۳	۰/۰۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۰۴۵ ^{ns}	۰/۰۵۹۸ ^{ns}
خطا	۱۴	۰/۰۳۲۱	۰/۰۰۲۱۶	۰/۱۷۰۵۶
ضریب تغییرات		۹/۸۹	۱۹/۸۴	۹/۸۳

***، ** و * به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری است.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر تیمارهای نوری و تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاه ژبر بر رقم 'Dune'

تیمار	آسکوربات پراکسیداز (U/mg protein)	کاتالاز (U/mg protein)	گایاکول پراکسیداز (U/mg protein)	سوپراکسید دیسموتاز (U/mg protein)
عدم نوردی	۱/۵۸۷ ^b	۰/۲۶۲۴ ^a	۳/۹۳۶ ^b	۴/۱۱۱۹ ^b
قرمز	۱/۶۳۲۳ ^b	۰/۲۴۳۵ ^a	۴/۱۸۱۸ ^b	۴/۱۶۳۷ ^b
ترکیبی ۱	۱/۷۵۲۸ ^{ab}	۰/۲۰۲۷ ^a	۳/۸۷۱۲ ^b	۴/۴۲۲۷ ^{ab}
ترکیبی ۲	۱/۸۸۹۲ ^a	۰/۲۲۹۳ ^a	۴/۸۱۵۵ ^a	۴/۸۱۰۳ ^a
عدم تلقیح	۱/۷۸۹۹ ^a	۰/۲۲۱۸ ^a	۴/۴۴۷۵ ^a	۴/۵۸۲۹ ^a
تلقیح	۱/۶۴۰۸ ^b	۰/۲۴۷۲ ^a	۳/۹۵۴۸ ^b	۴/۱۷۱۴ ^b

حروف مشابه در هر ستون و برای هر مقایسه میانگین نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

آن عملکرد و حجم زیست‌توده گیاه افزایش یابد. بررسی‌های پیشین نشان داده است نور آبی می‌تواند علاوه بر اثر در افزایش سنتز کلروفیل بر افزایش عملکرد، جذب نوری و برانگیختگی الکترونی کلروفیل اثرگذار باشد (Fan et al., 2013). در بررسی روی پنج گیاه گلخانه‌ای شامل کاهو، اسفناج، کیل، ریحان و فلفل مشاهده گردید نور ترکیبی قرمز و آبی عملکرد بهتری در افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی نسبت به تک نور قرمز داشت. نور آبی علاوه بر اثراتی که در فتوسنتز دارد می‌تواند به عنوان تسریع‌کننده سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد (Naznin et al., 2019).

تیمارهای نوری قرمز، آبی و ترکیب قرمز و آبی توانست باعث افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی همچون سطح برگ، وزن تر و خشک و ارتفاع گیاهیچه در خیار گردد. علت این افزایش بهبود شاخص‌های فتوسنتزی و افزایش سطح رنگیزه‌های فتوسنتزی بیان شده است که باعث بهبود نرخ فتوسنتز و تولید ترکیبات اولیه (قندهای ساده) بیشتر می‌شود (Jeong et al., 2020).

غلظت کلروفیل و کاروتنوئید به عنوان اصلی‌ترین رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر نوردی تکمیلی افزایش یافت که به نوبه خود می‌تواند باعث بهبود فتوسنتز گیاه شده و در نتیجه

تیمار نوردھی تکمیلی با استفاده از لامپ‌های سدیمی مشاهده شد گیاهچه‌های رز زیر نوردھی تکمیلی تعداد گل بیشتر با ساقه‌های بلندتر تولید کردند (Naing *et al.*, 2016). نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که تیمار نور ترکیبی ۲ که بالاترین میزان نور آبی (۳۴٪) را داشت منجر به تولید بیشترین تعداد گل در هر گیاه شد.

تیمارهای نور ترکیبی رشد ریشه را تحت تأثیر قرار دادند و باعث افزایش وزن تر و خشک هر سه دسته ریشه ضخیم، متوسط و باریک شدند. در بررسی روی ریز نمونه‌های توت‌فرنگی مشاهده شد نور ترکیبی قرمز و آبی باعث افزایش وزن تر ریشه‌ها گردید. افزایش سطح برگ به دنبال نوردھی تکمیلی باعث افزایش تعرق گیاه می‌گردد، لذا گیاه جهت تأمین آب ریشه‌های خود را گسترش می‌دهد، از آنجایی که کربوهیدرات سنتز شده در برگ‌ها پس از نوردھی تکمیلی افزایش یافته است گسترش ریشه به آسانی قابل انجام است (Duong *et al.*, 2000). در این بررسی مشاهده گردید تیمار نور قرمز ۱۰۰ درصد اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. در یک بررسی دیگر بر روی گل شیپوری مشاهده شد استفاده از تیمار نور ترکیبی قرمز و آبی در مقایسه با نور قرمز ۱۰۰ درصد وزن خشک ریشه بالاتری را به خود اختصاص داده است (Jao *et al.*, 2005).

تیمار نور ترکیبی ۲ (۶۶ درصد قرمز و ۳۴ درصد آبی) که دارای بالاترین نسبت نور آبی در این پژوهش بوده است، منجر به بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد و از طرفی بالاترین میزان پرولین نیز به این تیمار اختصاص داشت. بسیاری از گیاهان پس از دریافت سیگنال‌های شرایط تنش مکانیزم‌های خاصی را دنبال می‌کنند که یکی از این مکانیزم‌ها افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است. یکی دیگر از راهکارهای گیاهان برای مقابله با تنش‌ها افزایش میزان پرولین جهت حفظ پتانسیل اسمزی است. در بررسی روی گل‌های شاخه بریده میخک مشاهده گردید نور آبی با بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی باعث افزایش عمر پس از برداشت گل شاخه

تیمارهای نوردھی تکمیلی باعث افزایش تعداد گل، قطر گل و طول ساقه گل‌دهنده شدند که می‌توان بیان داشت بهبود در فتوسنتز و افزایش مقدار کربوهیدرات‌ها در گیاه به علت نوردھی تکمیلی باعث برانگیختن گلدهی شده است. نور آبی در ترکیب با نور قرمز به عنوان سیگنال گلدهی است و باعث افزایش تعداد گل در گیاهان تحت تیمار شده است. نور آبی به تنهایی عامل سیگنالینگ جهت رشد سرآغازهای برگ، هدایت و انتقال مواد ساخته شده و پیش بردن گیاه به سمت تولید زایشی است، لذا استفاده درصدهای پایین از نور آبی در کنار نور قرمز می‌تواند باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه شود (Naznin *et al.*, 2019).

در تحقیقی روی گل‌های جعفری و گازانیا گل‌دانی زیر تیمار نور طبیعی گلخانه و نوردھی ترکیبی آبی و قرمز در انکوباتور مشاهده گردید گیاهان پرورش‌یافته در نور ترکیبی دارای تعداد گل بیشتری بودند، اما ارتفاع آنها نسبت به گیاهان رشد یافته در نور طبیعی گلخانه کمتر بود. در بیان علت این رخداد آمده است نور قرمز در غیاب نور قرمز دور فایتوکروم‌ها را تحریک می‌کند که به عنوان گیرنده‌های نوری کنترل‌کننده طول میانگرمه، انتقال به مرحله گلدهی و گلدهی عمل می‌کنند. در سوی دیگر نور آبی باعث مهار رشد سلول‌ها می‌شود که از طریق اثر گیرنده‌های نور آبی بر بیان ژن‌های تنظیم‌کننده طول ساقه اثر خود را می‌گذارد (sabzalian *et al.*, 2014). در تحقیقی روی اثر تیمارهای نوری مختلف بر گلدهی داوودی مشاهده گردید داوودی‌های پرورش‌یافته زیر نور آبی بالاترین میزان گلدهی را داشتند که علت آن نقش مثبت نور آبی در انگیزش گلدهی است (Jeong *et al.*, 2012). علت این افزایش در رشد و گلدهی به وسیله نوردھی تکمیلی با کیفیت‌های مختلف وابسته به فرآیندهای فیزیولوژیکی درون گیاه است که باعث بالا رفتن میزان کربوهیدرات و در نتیجه فراهم بودن ترکیبات پیش‌ساز جهت رشد و گلدهی است. از طرفی نقش سیگنال‌دهی کیفیت‌های مختلف نور بر کسی پوشیده نیست، مشخص شده است که نور آبی باعث پیشبرد گیاه به سمت تولید گل می‌شود (Naznin *et al.*, 2019). در بررسی روی اثر

بریده میخک گردید و گیاهان زیر نور قرمز کمترین میزان فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و به تبع آن کمترین عمر پس از برداشت را دارا بودند (Alififar et al., 2020). نور آبی دارای طول‌موج کوتاه و انرژی فراوان است. بالا بودن انرژی نور آبی علاوه بر اثرات مثبت می‌تواند دارای اثرات منفی و تنش‌زایی خفیف برای گیاه باشد (Taiz et al., 2015). افزایشی که در رابطه با غلظت پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی زیر تیمار نور ترکیبی ۲ ایجاد شده است می‌تواند ناشی از اثرات نور آبی در ایجاد تنش خفیف در گیاه باشد و گیاه پس از درک شرایط تنش جهت افزایش مقاومت خود اقدام به بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی و بالا بردن پتانسیل اسمزی خود می‌کند.

تلقیح با قارچ باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره سطح برگ و تعداد برگ گردید که علت این رخداد بهبود رشد ریشه‌ها و در نتیجه آن افزایش جذب آب و عناصر توسط گیاه بوده است. در بررسی روی بوته‌های گوجه‌فرنگی مشاهده شد تلقیح گیاهان با قارچ پریفورموسپورا ایندیکا باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره شده است، محققین چنین نتیجه گرفته‌اند که قارچ به وسیله همزیستی باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، گسترش حجم ریشه‌ها و بهبود جذب آب و عناصر غذایی شده و در نتیجه بهبود فتوسنتز باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره شده است (Xu et al., 2022). بررسی‌های مختلف روی گوجه‌فرنگی (Ghorbani et al., 2018; Abdelaziz et al., 2019) آنتوریوم (Lin et al., 2019)، ریحان (Keramati et al., 2016) و ذرت (Yun et al., 2018) نشان دادند تلقیح با قارچ پریفورموسپورا تحت شرایط نرمال یا شرایط تنشی باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه نسبت به تیمار عدم تلقیح شده است. به صورت کلی قارچ پریفورموسپورا به وسیله بهبود جذب آب، بهبود جذب و انتقال عناصر غذایی و همچنین تولید فیتوهورمون‌های محرک رشد باعث افزایش رشد گیاه می‌گردد.

تلقیح با قارچ باعث افزایش سطح کلروفیل a ، کلروفیل کل و رنگیزه‌های فتوسنتزی شده است. کلروفیل به عنوان رنگیزه اصلی فتوسنتز نقش مهمی در میزان فتوسنتز و در نتیجه آن نقش مهمی در رشد گیاه داشته است. در تحقیقی روی گل آنتوریوم تلقیح با قارچ پریفورموسپورا باعث افزایش غلظت کلروفیل کل شده است (Lin et al., 2019). غشا سلولی قارچ پریفورموسپورا دارای پروتئین‌های ناقلی است که می‌تواند باعث بهبود جذب منیزیم گردد. در زمان کمبود منیزیم در گیاه ساخت کلروفیل دچار اختلال می‌گردد و برگ‌ها دچار کلروز می‌شوند. علت این پدیده این است که منیزیم به عنوان عنصر مرکزی کلروفیل ایفای نقش می‌کند، لذا در زمان تلقیح با قارچ، جذب منیزیم افزایش یافته و گیاه در ساخت کلروفیل از آن استفاده می‌کند (Kundu and Vadassery, 2022).

در شرایط بدون تنش تلقیح با قارچ به علت بهبود جذب آب و عناصر غذایی و قرارگیری گیاه در شرایط ایده‌آل رشدی اثر چندانی بر میزان فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی ندارد، اما در شرایط تنش‌های غیرزیستی سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه پس از تلقیح با قارچ پریفورموسپورا عملکرد بهتری دارد و سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بالاتر است. گزارش‌های مختلف در

بریده میخک گردید و گیاهان زیر نور قرمز کمترین میزان فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و به تبع آن کمترین عمر پس از برداشت را دارا بودند (Alififar et al., 2020). نور آبی دارای طول‌موج کوتاه و انرژی فراوان است. بالا بودن انرژی نور آبی علاوه بر اثرات مثبت می‌تواند دارای اثرات منفی و تنش‌زایی خفیف برای گیاه باشد (Taiz et al., 2015). افزایشی که در رابطه با غلظت پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی زیر تیمار نور ترکیبی ۲ ایجاد شده است می‌تواند ناشی از اثرات نور آبی در ایجاد تنش خفیف در گیاه باشد و گیاه پس از درک شرایط تنش جهت افزایش مقاومت خود اقدام به بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی و بالا بردن پتانسیل اسمزی خود می‌کند.

تلقیح با قارچ باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره سطح برگ و تعداد برگ گردید که علت این رخداد بهبود رشد ریشه‌ها و در نتیجه آن افزایش جذب آب و عناصر توسط گیاه بوده است. در بررسی روی بوته‌های گوجه‌فرنگی مشاهده شد تلقیح گیاهان با قارچ پریفورموسپورا ایندیکا باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره شده است، محققین چنین نتیجه گرفته‌اند که قارچ به وسیله همزیستی باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، گسترش حجم ریشه‌ها و بهبود جذب آب و عناصر غذایی شده و در نتیجه بهبود فتوسنتز باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره شده است (Xu et al., 2022). بررسی‌های مختلف روی گوجه‌فرنگی (Ghorbani et al., 2018; Abdelaziz et al., 2019) آنتوریوم (Lin et al., 2019)، ریحان (Keramati et al., 2016) و ذرت (Yun et al., 2018) نشان دادند تلقیح با قارچ پریفورموسپورا تحت شرایط نرمال یا شرایط تنشی باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه نسبت به تیمار عدم تلقیح شده است. به صورت کلی قارچ پریفورموسپورا به وسیله بهبود جذب آب، بهبود جذب و انتقال عناصر غذایی و همچنین تولید فیتوهورمون‌های محرک رشد باعث افزایش رشد گیاه می‌گردد.

گیاهان تلقیح‌شده با قارچ پریفورموسپورا تعداد گل بیشتر با ساقه‌های بلندتر داشتند که علت این رخداد می‌تواند افزایش منابع کربوهیدراتی گیاه به دنبال بهبود فتوسنتز باشد. در بررسی

نشانه‌ای از شرایط بهتر گیاه در جذب آب و عناصر غذایی و بهتر شدن شرایط فتوسنتزی گیاه است.

نتیجه‌گیری

به صورت کلی نوردهی تکمیلی با تیمارهای نوری ترکیبی قرمز و آبی یک و دو به علت داشتن همزمان طول‌موج‌های آبی و قرمز که هر کدام اثرات مخصوص به خود را دارند باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه شده است. همچنین تلقیح با قارچ پریفورموسپورا به علت اثر مثبت بر رشد ریشه و در نتیجه آن بهبود جذب آب و عناصر غذایی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه ژریرا شده است. عدم معنی‌داری اثرات متقابل نوردهی تکمیلی و تلقیح با قارچ نشان‌دهنده عملکرد مجزا و بدون وابستگی این عوامل به هم است.

رابطه با گوجه‌فرنگی (Xu et al., 2022; Abdelaziz et al., 2019)، جو (Baltruschat et al., 2008; Ghabooli, 2014) و انگور (Karimi et al., 2022) نشان می‌دهد در شرایط بدون تنش تلقیح با قارچ بر فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی اثرگذار نیست اما هم‌زیستی با قارچ پریفورموسپورا باعث بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه در شرایط تنش‌های غیرزیستی می‌گردد و گیاه می‌تواند عملکرد کمی و کیفی مناسب‌تری را نشان دهد. در این مطالعه مشاهده گردید که اثر تلقیح با قارچ بر آنزیم کاتالاز معنی دار نبوده است، ولی تلقیح با قارچ باعث کاهش سطح فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شده است. عدم افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ می‌تواند به علت بهتر شدن شرایط جذب آب و مواد غذایی و در نتیجه آن کاهش اثرات تنشی محیط بر گیاه باشد. به نوعی این پایین بودن

منابع

- رسولی، موسی، میرزایی، سحر، فرهادی، کورش، و قبولی، مهدی (۱۳۹۸). بهبود شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گل رز رقم (Bordeaux) با کاربرد اسید هیومیک و قارچ‌های (*Glomus etunicatum*) و (*Piriformospora indica*). تغذیه گیاهان باغی، ۲ (۷۱-۹۲)، ۲. <https://doi.org/10.22070/HPN.2019.4655.1040>
- سبحانی، یوسف، رسولی، موسی، و موحدی، زهرا (۱۳۹۵). تأثیر عنصر فسفر و قارچ میکوریزا روی برخی از صفات مورفولوژی و فیزیولوژی گل شاخه بریده لیلیوم رقم رویال ترینیتی در شرایط گلخانه‌ای. اولین کنگره بین‌المللی و دومین کنگره ملی گل و گیاهان زینتی ایران.
- Abdelaziz, M. E., Abdelsattar, M., Abdeldaym, E. A., Atia, M. A., Mahmoud, A. W. M., Saad, M. M., & Hirt, H. (2019). *Piriformospora indica* alters Na⁺/K⁺ homeostasis, antioxidant enzymes and LeNHX1 expression of greenhouse tomato grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 256, 108532. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.059>
- Aalifar, M., Aliniaiefard, S., Arab, M., Mehrjerdi, M. Z., Daylami, S. D., Serek, M., & Li, T. (2020). Blue light improves vase life of carnation cut flowers through its effect on the antioxidant defense system. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00511>
- Baidya, A., Akter, T., Islam, M. R., Shah, A. A., Hossain, M. A., Salam, M. A., & Paul, S. I. (2021). Effect of different wavelengths of LED light on the growth, chlorophyll, β-carotene content and proximate composition of *Chlorella ellipsoidea*. *Heliyon*, 7(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08525>
- Baltruschat, H., Fodor, J., Harrach, B. D., Niemczyk, E., Barna, B., Gullner, G., & Skoczowski, A. (2008). Salt tolerance of barley induced by the root endophyte *Piriformospora indica* is associated with a strong increase in antioxidants. *New Phytologist*, 180(2), 501-510. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02583.x>
- Bates, L., Waldren, R., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Chance, B. & Maely, A. C. (1955). Assay of catalase and peroxidase methods. *Enzymology*, 2, 755-784.
- Chakrabarty, D. & Datta, S. K. (2008). Micropropagation of gerbera: Lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities during acclimatization process. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30, 325-331. <https://doi.org/10.1007/s11738-007-0125-3>

- Duong, T. N., Takamura, T., Watanabe, H., & Tanaka, M. (2000). Light emitting diodes (LEDs) as a radiation source for micropropagation of strawberry. In: *Transplant Production in the 21st Century*. (eds. Kubota, C. and Chun, C.) Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9371-7_18
- Fan, X., Zang, J., Xu, Z., Guo, S., Jiao, X., Liu, X., & 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. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1304-z>
- Fukuda, N., Nishimura, S., & Fumiki, Y. (2004). Effect supplemental lighting during the period from middle of night to morning on photosynthesis and leaf thickness of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and tsukena (*Brassica campestris* L.). *Acta Horticulturae*, 633, 237-244. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.633.28>
- Ghabooli, M. (2014). Effect of *Piriformospora indica* inoculation on some physiological traits of barley (*Hordeum vulgare*) under salt stress. *Chemistry of Natural Compounds*, 50(6), 1082-1087. <https://doi.org/10.1007/s10600-014-1164-9>
- Ghabooli, M., Khatabi, B., Ahmadi, F. S., Sepehri, M., Mirzaei, M., Amirkhani, A., ... & Salekdeh, G. H. (2013). Proteomics study reveals the molecular mechanisms underlying water stress tolerance induced by *Piriformospora indica* in barley. *Journal of Proteomics*, 94, 289-301. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2013.09.017>
- Ghaffari, M. R., Ghabooli, M., Khatabi, B., Hajirezaei, M. R., Schweizer, P., & Salekdeh, G. H. (2016). Metabolic and transcriptional response of central metabolism affected by root endophytic fungus *Piriformospora indica* under salinity in barley. *Plant Molecular Biology*, 90(6), 699-717. <https://doi.org/10.1007/s11103-016-0461-z>
- Ghorbani, A., Razavi, S. M., Ghasemi Omran, V. O., & Pirdashti, H. (2018). *Piriformospora indica* inoculation alleviates the adverse effect of NaCl stress on growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Biology*, 20(4), 729-736. <https://doi.org/10.1111/plb.12717>
- Giannopolitis, C. N. & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59, 309-314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
- Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1), 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
- Jao, R. C., Lai, C. C., Fang, W., & Chang, S. F. (2005). Effects of red light on the growth of *Zantedeschia* plantlets in vitro and tuber formation using light-emitting diodes. *HortScience*, 40(2), 436-438. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.2.436>
- Jeong, H. W., Lee, H. R., Kim, H. M., Kim, H. M., Hwang, H. S., & Hwang, S. J. (2020). Using light quality for growth control of cucumber seedlings in closed-type plant production system. *Plants*, 9(5), 639. <https://doi.org/10.3390/plants9050639>
- Jeong, S. W., Park, S., Jin, J. S., Seo, O. N., Kim, G. S., Kim, Y. H., ... & Shin, S. C. (2012). Influences of four different light-emitting diode lights on flowering and polyphenol variations in the leaves of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(39), 9793-9800. <https://doi.org/10.1021/jf302272x>
- Karimi, R., Amini, H., & Ghabooli, M. (2022). Root endophytic fungus *Piriformospora indica* and zinc attenuate cold stress in grapevine by influencing leaf phytochemicals and minerals content. *Scientia Horticulturae*, 293, 110665. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110665>
- Keramati, S., Pirdashti, H., Babaeizad, V., & Dehestani, A. (2016). Essential oil composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) in symbiotic relationship with *Piriformospora indica* and paclobutrazol application under salt stress. *Acta Biologica Hungarica*, 67(4), 412-423. <https://doi.org/10.1556/018.67.2016.4.7>
- Kundu, A. & Vadassery, J. (2022). Molecular mechanisms of *Piriformospora indica* mediated growth promotion in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 17(1), 2096785. <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2096785>
- Lichtenthaler, H. K. & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591-592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Lin, H. F., Xiong, J., Zhou, H. M., Chen, C. M., Lin, F. Z., Xu, X. M., & Yeh, K. W. (2019). Growth promotion and disease resistance induced in Anthurium colonized by the beneficial root endophyte *Piriformospora indica*. *BioMed Central Plant Biology*, 19, 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1649-6>
- Llewellyn, D., Schiestel, K., & Zheng, Y. (2020). Increasing levels of supplemental LED light enhances the rate flower development of greenhouse-grown cut gerbera but does not affect flower size and quality. *Agronomy*, 10(9), 1332. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091332>
- Massa, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *Hort Science*, 43(7), 1951-1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>
- Meng, X., Xing, T., & Wang, X. (2004). The role of light in the regulation of anthocyanin accumulation in *Gerbera hybrida*. *Plant Growth Regulation*, 44, 243-250. <https://doi.org/10.1007/s10725-004-4454-6>
- Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22, 867-880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>

- Naing, A. H., Jeon, S. M., Park, J. S., & Kim, C. K. (2016). Combined effects of supplementary light and CO₂ on rose growth and the production of good quality cut flowers. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(3), 503-510. <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0304>
- Naznin, M. T., Lefsrud, M., Gravel, V., & Azad, M. O. K. (2019). Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. *Plants*, 8(4), 93. <https://doi.org/10.3390/plants8040093>
- Oelmuller, R., Sherameti, I., Tripathi, S., & Varma, A. (2009). *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. *Symbiosis*, 49, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s13199-009-0009-y>
- Oki, L. R. & Lieth, J. H. (2004). Effect of changes in substrate salinity on the elongation of *Rosa hybrida* L. 'Kardinal' stems. *Scientia Horticulturae*, 101(1-2), 103-119. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.09.013>
- Sabzalian, M. R., Heydarizadeh, P., Zahedi, M., Boroomand, A., Agharokh, M., Sahba, M. R., & Schoefs, B. (2014). High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 879-886. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0209-6>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. 6th Ed. Sinauer Associates Incorporated.
- Varma, A., Singh, A., Sahay, N. S., Sharma, J., Roy, A., Kumari, M., & Kranner, I. (2001). *Piriformospora indica*: An axenically culturable mycorrhiza-like endosymbiotic fungus. In *Fungal Associations* (125-150). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-07334-6_8
- Varma, A., Kost, G., & Oelmuller, R. (2013). *Piriformospora indica*: Sebacinales and their Biotechnological Applications. Springer Science and Business Media.
- Verma, S., Varma, A., Rexer, K. H., Hassel, A., Kost, G., Sarbhoy, A., & Franken, P. (1998). *Piriformospora indica*, gen. et sp. nov., a new root-colonizing fungus. *Mycologia*, 90(5), 896-903. <https://doi.org/10.1080/00275514.1998.12026983>
- Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., & Kogel, K. H. (2005). The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(38), 13386-13391. <https://doi.org/10.1073/pnas.0504423102>
- Xu, Z., Pehlivan, N., Ghorbani, A., & Wu, C. (2022). Effects of *Azorhizobium caulinodans* and *Piriformospora indica* co-inoculation on growth and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under salt stress. *Horticulturae*, 8(4), 302. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040302>
- Yang, Z. C., Kubota, C., Chia, P. L., & Kacirac, M. (2012). Effect of end-of-day far-red light from a movable LED fixture on squash rootstock hypocotyl elongation. *Scientia Horticulturae*, 136, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.023>
- Yun, P., Xu, L., Wang, S. S., Shabala, L., Shabala, S., & Zhang, W. Y. (2018). *Piriformospora indica* improves salinity stress tolerance in *Zea mays* L. plants by regulating Na⁺ and K⁺ loading in root and allocating K⁺ in shoot. *Plant Growth Regulation*, 86, 323-331. <https://doi.org/10.1007/s10725-018-0431-3>
- Zheng, L. & Van Labeke, M. C. (2017). Chrysanthemum morphology, photosynthetic efficiency and antioxidant capacity are differentially modified by light quality. *Journal of Plant Physiology*, 213, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.03.005>

Effect of supplemental light and inoculation with *Piriformospora indica* on growth, yield and some biochemical changes of gerbera flower

Hossein Sarikhani-Khorami¹, Ahmad Ershadi^{1*}, Davod Asghari¹ and Mehdi Ghabooli²

¹ Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

² Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

(Received: 2024/01/21, Accepted: 2024/06/02)

Abstract

Gerbera flowers from the Asteraceae family are one of the most widely used cut flowers around the world. Improving the production and post-harvest life of flowers is one of the most important research issues in the cut flower industry. In this study, the effect of supplementary lighting (red 100%, red 83% and blue 17%, red 66% and blue 34% and no lighting) and inoculation with *Piriformospora indica* was studied on growth, yield and some biochemical changes of *Gerbera jasmonica* 'Dune' using a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications. Inoculation with *Piriformospora* increased photosynthetic pigments and improved the fresh and dry weight of shoots and roots, as well as leaf number and leaf area, while reducing antioxidant enzyme activities. Different supplemental light treatments similarly improved shoot growth, while red + blue light had more impact on concentrations of chlorophyll a and carotenoids, root growth, length of flower stem, and number of flowers in comparison with 100% red light. Supplementary lighting, especially 66% red and 34% blue, increased proline concentration and antioxidant enzyme activities. Based on the results, employing supplementary light, especially 66% red and 34% blue, combined with inoculation with *Piriformospora* enhanced plant growth and antioxidant enzyme activities via increasing photosynthetic pigments and carbohydrate production, finally resulting in increased flowers with higher flower diameter and stem length.

Keywords: Endophytic fungus, Flower quality, Cut flower, Lighting

Corresponding author, Email: shamili@ut.ac.ir