فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۳، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۱۱۳-۱۲۸
https://doi.org/10.22034/13.63.113

مقاله پژوهشی

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

حسین ساریخانی خرمّی[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 معنی‌داری 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 به ویژه ۶۶ درصد قرمز و ۳۴ درصد آبی توأم با تلقیح با قارچ پریفورموسپورا 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 گل‌دهنده منجرگردید.

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

مقدمه
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 Lieth, 2004; Chakrabarty and Datta, 2008).

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

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Ershadi@basu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

(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 پریفورموسپورا 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*., 2022; Karimi *et al*., 2022; Abdelaziz *et al*., 2019).

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

مطالعات بروی گل داوودی نشان داد گیاهان پرورش‌یافته 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 ژربرا 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 ژربرا 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

که در سه تکرار انجام شد. دمای کمینه و بیشینه گلخانه در طول دوره آزمایش به‌ترتیب 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 کشت شدند. جهت تهیه اسپور و میسلیوم مورد نیاز برای تلقیح، قارچ بر روی محیط‌کشت پیچیده جامد (حاوی عناصر پرمصرف، کم‌مصرف، عصاره مخمر، پپتون و کازئین) کشت شده و به مدت چهار هفته در دمای ۲±۲۸ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. برای تهیه میسلیوم، دیسک‌های فعال قارچ از محیط‌کشت جامد، در ارلن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط‌کشت مایع، کشت و سپس در انکوباتور حاوی شیکر با دمای ۲±۲۸ درجه سلسیوس و ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰–۷ روز قرار داده شدند و پس از اتمام این مراحل اسپور ومیسلیوم‌های 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 میسلیوم قارچ غوطه‌ور شدند. پس از دو هفته از کشت نشاها، مرحله دوم تلقیح با استفاده از تزریق ۵ میلی‌لیتر از محلول سوسپانسیون میسلیوم قارچ در ناحیه ریشه انجام گرفت (Ghabooli, 2014). پس از گذشت یک ماه و ایجاد همزیستی بین گیاه و قارچ تیمارهای نوردهی تکمیلی به صورت چهار ساعت نوردهی آخر روز طی ماه‌های مهر تا آذر (از حدود نیم ساعت به غروب آفتاب) به مدت سه ماه انجام شد. نوردهی 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، 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 آون 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 Lichtenthaler 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 فالکون 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 طول‌موج‌های 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 نین‌هیدرین 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 تشکیل‌شده بالایی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده گردید. غلظت پرولین با استفاده از نمودار استاندارد محاسبه شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

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 سانتریفیوژ 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 طول‌موج 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 =۷)، 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 سانتریفیوژ 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 = ۷) و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار) با ۰/۰۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مخلوط شد. سپس میزان جذب در طول‌موج 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=۷) 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 طول‌موج 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=۷) 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 طول‌موج 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 تغییریافته Giannopolitis و Ries (۱۹۷۷) اندازه‌گیری شد. در ابتدا ۰/۰۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی با ۳ میلی‌لیتر بافر واکنش (بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار(pH=۷/۸) همراه با EDTA ۰/۰۳ میلی‌مولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم ۶۳ میکرومولار و ریبوفلاوین ۱/۳ میکرومولار) مخلوط گردید. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در معرض نور لامپ فلورسنت ۲۰ وات قرار گرفتند و سپس جذب آنها در طول‌موج 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

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 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 کوتاه ترین 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 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 (جدول۴). 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	سطح برگ	تعداد برگ	تعداد گل	قطر گل	طول ساقه گل
نور	۳	۲۶۴۷۹/۱**	۸۲۳/۰۴**	۶۵۴/۳۴*	۳۱/۲۲**	۱۰/۱۵۲۸**	۱/۷۱۲۷*	۶۹/۷۷*
قارچ همزیست	۱	۴۰۰۴۴/۴**	۱۱۱۶/۵۷**	۷۷۵/۳۲*	۲۴/۰۱*	۷/۰۴۱۷*	۰/۴۲۶۶ns	۵۴/۰۴*
نور و قارچ	۳	۲۳۶۲/۶ns	۱۶۲/۲۴ns	۳۶/۴۸ns	۰/۷۸ns	۰/۲۶۳۹ns	۰/۴۸۲۲ns	۱۸/۶۷ns
خطا	۱۶	۲۰۵۴/۴	۹۰/۰۷	۱۷۱/۴۹	۳/۸۳	۰/۹۱۶۷	۰/۴۸۴۱	۱۱/۷۸
ضریب تغییرات		۱۳/۵۷	۱۵/۵۶	۵/۸۷	۹/۷۱	۱۳/۶	۶/۶۳	۵/۴۶

****، * 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 ژربرا رقم 'Dune'

تیمار نوری	وزن تر شاخساره (g)	وزن خشک شاخساره (g)	سطح برگ (cm^2)	تعداد برگ
عدم نوردهی	۲۳۵/۳۳b	۴۳/۹۶۷b	۲۰۸/۶۱b	۱۶/۸۳b
قرمز	۳۵۴/۶۸a	۶۲/۵۵a	۲۲۲/۰۴ab	۲۲a
ترکیبی ۱	۳۷۱/۵۳a	۶۹/۱۵a	۲۲۹/۰۶a	۲۱a
ترکیبی ۲	۳۷۴/۸۴a	۶۸/۲۵۰a	۲۳۲/۰۷a	۲۰/۸۳a

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 ژربرا رقم 'Dune'

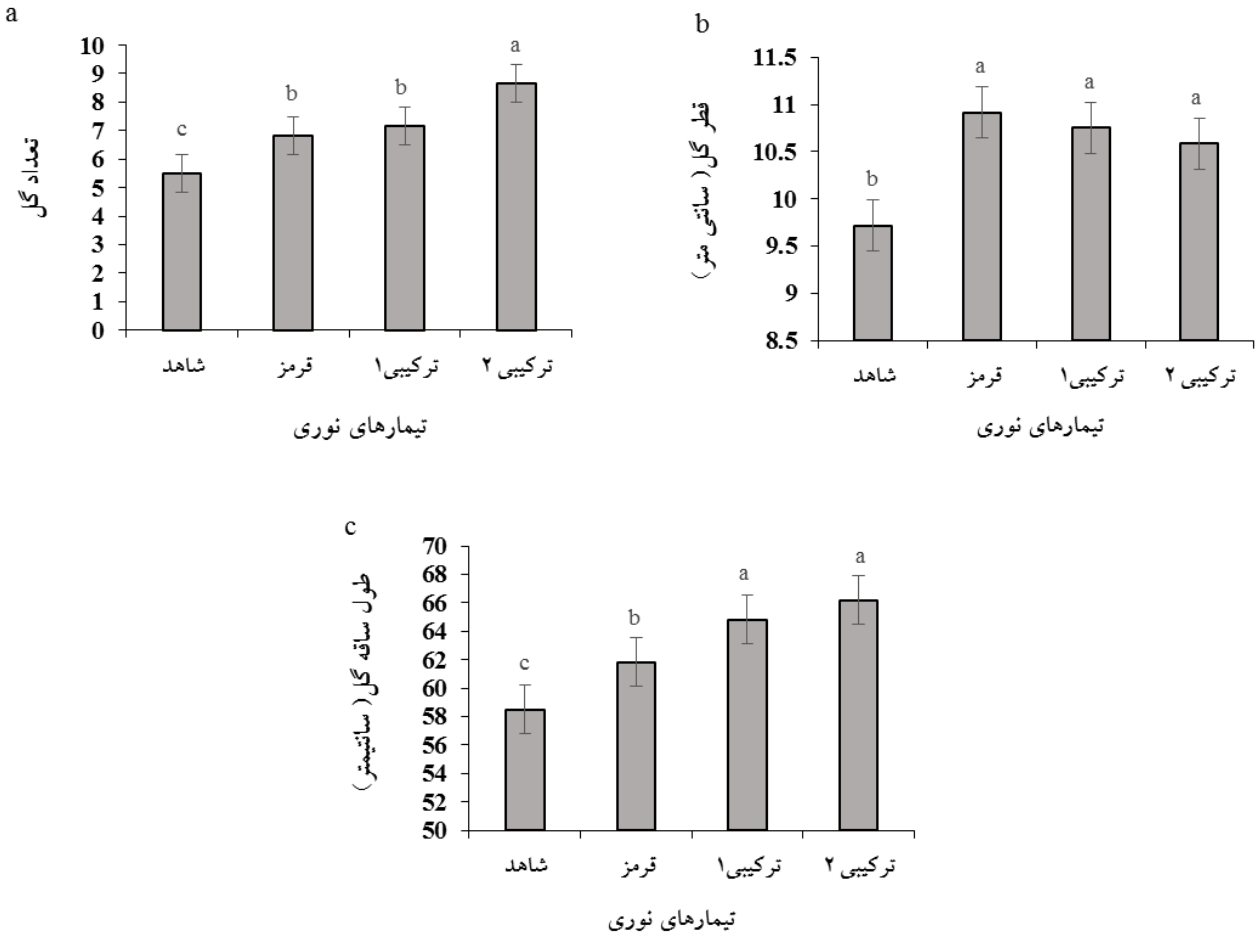
تیمار نوری	وزن تر شاخساره (g)	وزن خشک شاخساره (g)	سطح برگ (cm^2)	تعداد برگ	تعداد گل	قطر گل (cm)	طول ساقه گل (cm)
عدم تلقیح	۲۹۳/۲۵b	۵۴/۱۵۸b	۲۱۷/۲۶b	۱۹/۱۶۷b	۶/۵b	۱۰/۳۵۸a	۶۱/۳۳a
تلقیح	۳۷۴/۹۴a	۶۷/۸a	۲۲۸/۶۳a	۲۱/۱۶۷a	۷/۵۸۳a	۱۰/۶۲۵a	۶۴/۳۳b

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

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف نوردهی تکمیلی بر تعداد گل، قطر گل و طول ساقه گل در گیاه ژربرا 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 ژربرا رقم 'Dune'

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

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

نگرفت (جدول ۵).

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

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

تیمار نوری	وزن تر ریشه (g)				وزن خشک ریشه (g)			
	ضخیم	متوسط	باریک	کل	ضخیم	متوسط	باریک	کل
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}	۸/۱۸^{b}
قرمز	۲۶/۶^{c}	۴/۰۳۳^{a}	۲۳/۷۳^{b}	۵۴/۳۶^{b}	۴/۵۱^{c}	۰/۵۵^{bc}	۲/۷۳^{bc}	۷/۷۸۳^{b}
ترکیبی ۱	۳۰/۹۱^{a}	۴/۹۸۳^{a}	۲۵/۱۸^{ab}	۶۱/۰۸^{a}	۵/۷۱^{a}	۰/۷۱۶^{ab}	۳/۰۰^{ab}	۹/۴۳۳^{a}
ترکیبی ۲	۲۹/۵۶^{ab}	۵/۸^{a}	۲۶/۸۶^{a}	۶۲/۲۳^{a}	۵/۲^{b}	۰/۷۸۳^{a}	۳/۱۵^{a}	۹/۱۳^{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}	۸/۱۵۸^{b}
تلقیح	۲۹/۴^{a}	۵/۲۳۳^{a}	۲۶/۱۳^{a}	۶۰/۸۳^{a}	۵/۳۲^{a}	۰/۷۰۰^{a}	۳/۰۸۳^{a}	۹/۱۰۸^{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 ژربرا رقم 'Dune'

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پرولین	کربوهیدرات برگ	کربوهیدرات ساقه گل
نور	۳	۰/۰۷۸**	۰/۰۱۴ ^{ns}	۰/۱۴۶**	۰/۰۰۹۴**	۰/۰۰۶۹**	۱۲۱/۲۹**	۱۱۹/۱۳*
قارچ همزیست	۱	۰/۰۹۳**	۰/۰۸۲**	۰/۳۲۷ **	۰/۰۰۳۹ *	۰/۰۰۴۷ *	۶۵/۶۳*	۷۹/۵۷ ^{ns}
نور و قارچ	۳	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۱۰^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۱۴^{ns}	۱۲/۴۲^{ns}	۳/۳۸^{ns}
خطا	۱۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۱۱/۶۴	۲۲/۵۷
ضریب تغییرات		۴/۷	۱۵/۶۴	۷/۶	۴/۸۴	۵/۱۳	۱۰/۲۱	۱۹/۰۱

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

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 همزیستی با قارچ بر هیچکدام از پارامترها معنی‌دار نبود (جدول۶).

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

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 *a* (mg/g FW)	کلروفیل *b* (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}	۰/۴۵۵۶^{b}	۲۶/۸۹۶^{b}	۱۸/۸۳۲^{b}
قرمز	۱/۴۲۴^{b}	۰/۵۵۶^{a}	۱/۹۸^{a}	۰/۴۷۹^{b}	۰/۴۵۹۹^{b}	۳۴/۶۳۵^{a}	۲۷/۲۲۱^{a}
ترکیبی ۱	۱/۵۱۲^{a}	۰/۵۳۶^{a}	۲/۰۳۴^{a}	۰/۵۱۵^{a}	۰/۴۷۴۶^{b}	۳۵/۰۹۹^{a}	۲۴/۸۴۳^{a}
ترکیبی ۲	۱/۵۵۶^{a}	۰/۵۸۲^{a}	۲/۱۳۸^{a}	۰/۵۲۵^{a}	۰/۵۲۹۱^{a}	۳۷/۱۳۴^{a}	۲۹/۰۷^{a}
			تلقیح با قارچ				
عدم تلقیح	۱/۳۸۵^{b}	۰/۴۷۷^{b}	۱/۸۶۳^{b}	۰/۴۷۶۶^{b}	۰/۴۹۳۸^{a}	۳۱/۷۸۷^{b}	۲۳/۱۷۱^{a}
تلقیح	۱/۵۱^{a}	۰/۵۹۴^{a}	۲/۰۹۷^{a}	۰/۵۰۲^{a}	۰/۴۶۵۹^{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.

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).

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 دیسموتار 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).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

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 ژربرا رقم 'Dune'

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	گایاکول پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز
نور	۳	۰/۱۰۹۹*	۰/۰۰۳۸ ns	۱/۱۱۳۸ *	۰/۶۱۱۳*
قارچ همزیست	۱	۰/۱۳۳۵ *	۰/۰۰۳۸۷ ns	۱/۴۵۶*	۱/۰۱۶۱*
نور و قارچ	۳	۰/۰۰۱۵ ns	۰/۰۰۴۵ ns	۰/۳۵۵۶ ns	۰/۰۵۹۸ ns
خطا	۱۴	۰/۰۳۲۱	۰/۰۰۲۱۶	۰/۱۷۰۵۶	۰/۱۶۹۷
ضریب تغییرات		۹/۸۹	۱۹/۸۴	۹/۸۳	۹/۴۱

****، * و ns 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 ژربرا رقم 'Dune'

تیمار	آسکوربات پراکسیداز (U/mg protein)	کاتالاز (U/mg protein)	گایاکول پراکسیداز (U/mg protein)	سوپراکسید دیسموتاز (U/mg protein)
		نوردهی تکمیلی		
عدم نوردهی	۱/۵۸۷^{b}	۰/۲۶۲۴^{a}	۳/۹۳۶۱^{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}
		تلقیح با قارچ		
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.

تیمارهای نوری قرمز، آبی و ترکیب قرمز و آبی توانست باعث افزایش معنی دار شاخص‌های رشدی همچون سطح برگ، وزن تر و خشک و ارتفاع گیاهچه 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 نوردهی تکمیلی افزایش یافت که به نوبه خود می‌تواند باعث بهبود فتوسنتز گیاه شده و در نتیجه 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).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

تیمارهای نوردهی 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 نوردهی 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 سرآغازه‌های 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 نوردهی 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 میانگره، 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 نوردهی 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 تیمار نوردهی تکمیلی با استفاده از لامپ‌های سدیمی مشاهده شد گیاهچه‌های رز زیر نوردهی 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 نوردهی تکمیلی باعث افزایش تعرق گیاه می‌گردد، لذا گیاه جهت تأمین آب ریشه‌های خود را گسترش می‌دهد، از آنجایی که کربوهیدرات سنتزشده در برگ‌ها پس از نوردهی 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 دیسموتار 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

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 (Aalifar *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 پریموسپورا 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 پریموسپورا تعداد گل بیشتر با ساقه‌های بلندتر داشتند که علت این رخداد می‌تواند افزایش منابع کربوهیدراتی گیاه به دنبال بهبود فتوسنتز باشد. در بررسی روی گل رز شاخه بریده مشاهده گردید تلقیح با قارچ پریموسپورا باعث افزایش عملکرد تولیدی و همچنین افزایش ارتفاع شاخه گل‌دهنده گردید (رسولی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین در بررسی روی گل شاخه بریده لیلیوم مشاهده شد همزیستی با قارچ میکوریزا باعث افزایش تعداد گل نسبت به تیمار عدم تلقیح شد (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۵). همزیستی با قارچ باعث افزایش سطح و تعداد برگ گیاه ژربرا شد که به نوبه خود باعث افزایش سطح فتوسنتزکننده در گیاه می‌شود. افزایش فتوسنتز می‌تواند باعث بالا رفتن غلظت کربوهیدرات‌ها و در نتیجه آن بالارفتن درصد ماده خشک در گیاه گردد. احتمالاً فراهم بودن این کربوهیدرات‌ها در گیاه (نسبت بالای کربن به نیتروژن) به گیاه کمک می‌کند تا بتواند وارد فاز زایشی و تولید گل شود و عملکرد کمی و کیفی بالاتری را داشته باشد.

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

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 نشانه‌ای از شرایط بهتر گیاه در جذب آب و عناصر غذایی و بهترشدن 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 علکرد گیاه ژربرا شده است. عدم معنی‌داری اثرات متقابل نوردهی تکمیلی و تلقیح با قارچ نشان‌دهنده عملکرد مجزا و بدون وابستگی این عوامل به هم است.

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., Aliniaeifard, 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

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://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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

Naing, A. H., Jeon, S. M., Park, J. S., & Kim, C. K. (2016). Combined effects of supplementary light and CO_2 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]

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

Hossein Sarikhani-Khorami[1], Ahmad Ershadi[1*], Davod Asghari[1] and Mehdi Ghabooli[2]

[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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.113]