

Effect of Potassium Phosphate, Potassium Phosphite, and Mycorrhizal Fungi on Growth, Nutrient Uptake, and Flower Quality of *Rosa hybrida*

Maryam Jabbarzadeh¹, Zohreh Jabbarzadeh^{2*}, Reza Darvishzadeh³, Mohsen Barin⁴

(Received: September 2025 Accepted: October 2025)

Abstract

Cut rose (*Rosa hybrida*) is one of the most important commercial ornamental plants, requiring precise nutritional management under soilless cultivation. Because phosphite and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) can act as sustainable biostimulants to enhance plant growth and flower quality, this study aimed to evaluate the effects of potassium phosphite, potassium phosphate, and three AMF species (*Rhizoglyphus fasciculatum*, *Entrophospora etunicata*, and *Rhizophagus irregularis*) applied individually and in combination. Treatments included 100% phosphate or phosphite in the nutrient solution, foliar application of 100% phosphate or phosphite, combined foliar application (50% phosphate + 50% phosphite), and nutrient solutions with 25% phosphate or phosphite with or without foliar spray and with or without mycorrhizal inoculation. A total of 116 experimental units were used. The experiment was conducted in a greenhouse in pots containing a mixed peat moss and perlite substrate, arranged in a completely randomized design with four replicates. Results showed that applying phosphite, phosphate, and mycorrhizal inoculation, particularly in combination, significantly enhanced growth traits by approximately 25–50% compared with the control, including leaf number and area, plant biomass, flowering stem length and diameter, and flower diameter. Photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids) increased by around 50%, potentially improving photosynthetic capacity. Uptake of nitrogen, phosphorus, and potassium, as well as root colonization, were higher in mycorrhizal treatments. Overall, the nutrient solution containing 25% potassium phosphite combined with foliar spraying of half-strength 50% phosphate + 50% phosphite, along with mycorrhizal inoculation, produced the best results for most traits. In conclusion, the findings highlight the effective role of combining potassium phosphite and phosphate with AMF as environmentally friendly biostimulants for improving the growth and flowering quality of cut roses under soilless cultivation.

Keywords: Rose, Biostimulant, Flowering stem length and diameter, Flower diameter, Root colonization

Jabbarzadeh M., Jabbarzadeh Z., Darvishzadeh R., Barin M..... Effect of potassium phosphate, potassium phosphite, and mycorrhizal fungi on growth, nutrient uptake, and flower quality of *Rosa hybrida*. *Applied Soil Research*. 14(2): 89-118

1- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran,

3- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

4- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

* Corresponding Author Email: z.jabbarzadeh@urmia.ac.ir

تأثیر فسفیت و فسفات پتاسیم و قارچ میکوریز بر شاخص‌های رشدی، جذب عناصر غذایی و کیفیت گل رز (*Rosa hybrida*)

مریم جبارزاده^۱، زهره جبارزاده^{۲*}، رضا درویش‌زاده^۳، محسن برین^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶)

(تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳)

چکیده

رز شاخه‌بریده (*Rosa hybrida*) یکی از مهم‌ترین گیاهان زینتی تجاری است که در شرایط کشت بدون خاک به مدیریت دقیق تغذیه‌ای نیاز دارد. با توجه به اینکه فسفیت و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌توانند به‌عنوان زیست‌محرك‌های پایدار، رشد و کیفیت گل را بهبود دهند؛ لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات فسفیت و فسفات پتاسیم و سه گونه قارچ میکوریز آربوسکولار (*Rhizoglomus fasciculatum*, *Entrophospora etunicata* و *Rhizophagus irregularis*) به‌صورت منفرد و تلفیقی (تیمارهای کاربرد در محلول غذایی با ۱۰۰ درصد فسفات یا فسفیت پتاسیم، محلول‌پاشی برگ ۱۰۰ درصد فسفات یا فسفیت پتاسیم، محلول‌پاشی برگ ۵۰ درصد فسفات + ۵۰ درصد فسفیت) و تیمارهای تغذیه‌ای با ۲۵ درصد فسفات یا فسفیت همراه یا بدون محلول‌پاشی برگ و با یا بدون میکوریز)، بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی رز رقم «دولسه‌ویتا» در سیستم کشت بدون خاک در مجموع با ۱۱۶ واحد آزمایشی طراحی و اجرا شد. آزمایش در گلخانه و به‌صورت گلدانی در بستر ترکیبی شامل پیت‌ماس و پرلیت، در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد فسفیت و فسفات پتاسیم و تلفیق با قارچ میکوریز، به‌ویژه در تیمارهای تلفیقی، موجب افزایش معنی‌دار (حدود ۵۰-۲۵ درصدی نسبت به شاهد) صفات رشدی شامل تعداد و سطح برگ، زیست‌توده گیاه، طول و قطر ساقه گل‌دهنده و قطر گل شد. رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل‌های a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها) نیز حدود ۵۰ درصد افزایش یافتند که می‌توانند به‌طور بالقوه باعث افزایش ظرفیت فتوسنتزی شوند. همچنین جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمارهای میکوریزدار بیشتر بود. به‌طور کلی، محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم همراه با محلول‌پاشی نیم‌غلظت از محلول ۵۰ درصد فسفات پتاسیم + ۵۰ درصد فسفیت پتاسیم و تلفیق میکوریز، بهترین نتایج را در اکثر شاخص‌ها نشان داد. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نقش مؤثر ترکیب فسفیت و فسفات پتاسیم با میکوریز را به‌عنوان زیست‌محرك‌های سازگار با محیط‌زیست در بهبود رشد و کیفیت گلدهی رز شاخه‌بریده در کشت بدون خاک تأیید می‌کند.

کلمات کلیدی: رز، زیست محرک، طول و قطر ساقه گل‌دهنده، قطر گل، کلونیزاسیون

جبارزاده م، جبارزاده ز، درویش زاده ر، برین م. ۱۴۰۴ تأثیر فسفیت و فسفات پتاسیم و قارچ میکوریز بر شاخص‌های رشدی، جذب عناصر غذایی و کیفیت گل رز (*Rosa hybrida*). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۴، شماره ۲. صفحه: ۸۹-۱۱۸

- ۱- گروه علوم مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
- ۲- گروه علوم مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
- ۳- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
- ۴- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* پست الکترونیک: z.jabbarzadeh@urmia.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر، سیستم‌های کشت بدون خاک به عنوان یکی از روش‌های پیشرفته برای تولید گل‌های زینتی با کیفیت بالا مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این حال، یکی از چالش‌های اصلی این سیستم‌ها، محدودیت در تأمین عناصر غذایی کلیدی به‌ویژه فسفر است. در غیاب خاک و جمعیت میکروبی فعال، قابلیت دسترسی گیاه به فسفر کاهش می‌یابد و این امر می‌تواند رشد، توسعه ریشه و کیفیت گل را تحت تأثیر قرار دهد. فسفر یکی از عناصر پرمصرف گیاهی است که در فرآیندهای بنیادی مانند سنتز اسیدهای نوکلئیک، انتقال انرژی (ATP)، و تنظیم مسیرهای متابولیکی نقش دارد. بنابراین، تأمین بهینه فسفر در کشت بدون خاک به‌ویژه برای رز شاخه‌بریده، که از نظر تجاری پرمصرف‌ترین گل زینتی جهان است، اهمیت ویژه‌ای دارد (Bianciotto *et al.*, 2018).

در این راستا، فسفیت به عنوان فرم محلول‌تر فسفر، می‌تواند علاوه بر نقش تغذیه‌ای، از طریق تحریک مسیرهای هورمونی و دفاعی، رشد و مقاومت گیاه را بهبود بخشد (Kay *et al.*, 2000). از سوی دیگر، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با افزایش سطح جذب ریشه و تسهیل ورود یون‌های فسفات، کلسیم و سایر عناصر، قادرند محدودیت تغذیه‌ای در کشت بدون خاک را تا حدی جبران کنند (Park *et al.*, 2024). با وجود شواهدی مبنی بر تأثیر مثبت فسفیت پتاسیم و میکوریز بر رشد و کیفیت گیاهان، مطالعات کمی به بررسی اثر هم‌افزایی این دو زیست‌محرك در رز شاخه‌بریده تحت شرایط کشت بدون خاک پرداخته‌اند.

گل رز شاخه‌بریده (*Rosa hybrida*) یکی از مهم‌ترین گیاهان زینتی در جهان است و از نظر تجاری مقام نخست را دارا می‌باشد. سالانه بیش از ۴۰ میلیارد شاخه رز در جهان تولید و مصرف می‌شود. این گونه از جنس *Rosa* و خانواده Rosaceae بوده و گیاهان آن به صورت بوته‌ای با شاخه‌های راست و چوبی رشد می‌کنند و برگ‌های مرکب و دندانه‌دار آن‌ها به صورت متناوب روی ساقه قرار می‌گیرند. گل‌ها معمولاً به صورت منفرد یا در خوشه‌های دیهیم و پانیکول تولید می‌شوند (Edwards *et al.*, 2021).

فسفر به عنوان یک عنصر غذایی ضروری پرمصرف، یکی از اجزای کلیدی در سلول‌های گیاهان است که در ساختار اسیدهای نوکلئیک (DNA و RNA)، غشاهای فسفولیپیدی و ATP نقش دارد و در مسیرهای متابولیکی، انتقال سیگنال سلولی و محافظت سلولی اهمیت دارد. فرم پایدار فسفر در طبیعت، فسفات است و ترکیبات احیا شده آن به شکل آلی (فسفونات و فسفونیت) یا معدنی (فسفیت و هیپوفسفیت) وجود دارند. فسفیت، نسبت به فسفات دارای حلالیت بیشتری است و با تحریک مسیر اسید شیکمیک، تعادل هورمون‌های گیاهی و فعال‌سازی سیستم‌های دفاعی، نقش مهمی در رشد، عملکرد و تحمل به تنش‌های محیطی در گیاهان دارد. افزون بر این، فرمولاسیون‌های مختلف فسفیت همراه با سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم، بور و روی در کشاورزی تجاری استفاده می‌شوند (Koyukan *et al.*, 2025). مطالعات گزارش داده‌اند که فسفیت باعث افزایش گلدی، عملکرد، کیفیت و اندازه گیاه می‌شود و به عنوان یک محرک زیستی به طور مؤثر عمل می‌کند (Gómez-Merino *et al.*, 2022; Martínez, 2016). در حال حاضر، فسفیت به طور گسترده برای تکمیل تغذیه گیاه و بهینه‌سازی بهره‌وری کشاورزی برای کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Havlin & Schlegel, 2021).

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (Arbuscular Mycorrhizal Fungi, AMF) گروهی از ریزجانداران همزیست با گیاهان هستند که با ایجاد همزیستی اندومیکوریزی، تبادل منابع بین ریشه گیاه میزبان و قارچ را تسهیل می‌کنند. این قارچ‌ها با افزایش جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه یون‌های فسفات، کلسیم و آهن سبب بهبود رشد و توسعه گیاه می‌شوند (Park *et al.*, 2024). در سیستم‌های کشت بدون خاک که اغلب فاقد AMF و جامعه میکروبی متنوع هستند، استفاده از تلقیح میکوریز می‌تواند موجب کاهش نیاز به کودهای شیمیایی و ارتقاء کیفیت گل شود (Rydlová & Püschel, 2020). به عنوان مثال، تلقیح بستر کشت حاوی پیت ماس با ترکیب میکوریزی *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* باعث بهبود رشد گیاه شمعدانی (زیست‌توده خشک بیشتر، خوشه‌های گل بیشتر، برگ‌های بزرگ‌تر و فراوان‌تر) و کیفیت بهتر بدون تنش (نشت الکترولیت کمتر

و رطوبت نسبی بیشتر) و برگ‌های سبزتر (محتوای کلروفیل بیشتر) و گل‌هایی با رنگ شدیدتر شد (Conversa et al., 2015).

نتایج مطالعات پیشین نشان داده‌اند که کاربرد فسفیت پتاسیم نیز می‌تواند موجب افزایش رشد، وزن تر و خشک ساقه و ریشه، طول ساقه و سطح برگ، بهبود کیفیت گل و افزایش جذب عناصر غذایی ضروری نیتروژن، فسفر و پتاسیم شود (Atrash et al., 2023). همچنین، تلقیح AMF منجر به افزایش طول ریشه، وزن خشک و درصد کلونیزاسیون ریشه، بهبود رشد برگ و گلدهی و تقویت تحمل به تنش‌های محیطی شده است (Ahmed, 2024). با وجود این یافته‌ها، پژوهش‌های کمی به بررسی اثر هم‌افزایی فسفیت پتاسیم و میکوریز بر شاخص‌های رشدی، جذب عناصر غذایی و کیفیت گل رز شاخه‌بریده در کشت بدون خاک پرداخته‌اند؛ بیشتر مطالعات به جنبه‌های مقاومت به بیماری یا ویژگی‌های فیزیولوژیک محدود تمرکز داشته‌اند. با توجه به اهمیت اقتصادی رز شاخه‌بریده، محدودیت‌های عناصر غذایی در کشت بدون خاک و نیاز به زیست‌محرك‌های پایدار، بررسی اثر هم‌افزایی فسفیت پتاسیم و قارچ میکوریز، اهمیت ویژه‌ای دارد. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات منفرد و ترکیبی فسفیت و فسفات پتاسیم و سه گونه قارچ میکوریز آربوسکولار *Rhizoglomus fasciculatum*, *Entrophospora etunicata* و *Rhizophagus irregularis* بر شاخص‌های رشدی، جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و کیفیت گل رز رقم دولسه‌ویتا در شرایط کشت بدون خاک طراحی و اجرا شده است. این پژوهش به‌ویژه بر هم‌افزایی زیست‌محرك‌های شیمیایی و بیولوژیکی تمرکز دارد و می‌تواند اطلاعات کاربردی برای بهبود رشد، کیفیت و طول عمر پس از برداشت گل رز ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی و تولیدی گروه علوم باغبانی و آزمایشگاه‌های تحقیقاتی گروه‌های علوم باغبانی، علوم خاک و تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. مطالعه بر پایه طرح کاملاً تصادفی

با ۲۹ تیمار فسفر به‌روش محلول‌پاشی برگ‌ی و کاربرد در محیط کشت، در شرایط بدون تلقیح یا با تلقیح بستر کشت با ترکیبی از سه گونه قارچ میکوریز آربوسکولار *Rhizoglomus fasciculatum*, *Entrophospora etunicata* و *Rhizophagus irregularis* انجام شد. این پژوهش در چهار تکرار و در مدت یک سال اجرا گردید.

تیمارهای مورد استفاده و نحوه اعمال آن‌ها

۲۰ روز پس از کاشت گیاهان در گلدان و استقرار کامل، تلقیح با قارچ میکوریز و اعمال تیمارهای محلول‌پاشی برگ‌ی گیاهان، به‌صورت منظم هر دو روز یک‌بار و در ساعات اولیه صبح به مدت یک سال انجام شد. تیمارهای محلول غذایی نیز همزمان با تیمارهای محلول‌پاشی شروع شده و پس از هر سه بار محلول‌پاشی، آبشویی کامل بستر کشت انجام گرفت. چهار ماه پس از آغاز اعمال تیمارها، به‌منظور اطمینان از موفقیت تلقیح میکوریز، به‌صورت تصادفی چند گلدان انتخاب شده و از ریشه‌های ظریف آن‌ها نمونه‌برداری شد. برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها، از روش فیلیپس و هیمن (Phillips & Hayman, 1970) استفاده گردید.

پس از بررسی‌های اولیه روی ۲۹ تیمار فسفر، تیمارهای مؤثرتر برای ارزیابی دقیق‌تر در آزمایش اصلی شناسایی شدند. بر اساس این بررسی‌ها، ۱۷ تیمار با بهترین عملکرد به شرح زیر انتخاب گردیدند:

۱. محلول غذایی بدون فسفر و بدون محلول‌پاشی به همراه تلقیح میکوریز (به عنوان شاهد منفی) (POF0M0)

۲. محلول غذایی بدون فسفر و بدون محلول‌پاشی بدون میکوریز (به عنوان شاهد منفی) (POF0M1)

۳. محلول غذایی کامل با فسفات پتاسیم بدون محلول‌پاشی به همراه تلقیح میکوریز (به عنوان شاهد مثبت) (C100%kphoF0M1)

۴. محلول غذایی کامل با فسفات پتاسیم بدون محلول‌پاشی بدون میکوریز (به عنوان شاهد مثبت) (C100%kphoF0M0)

۱۴. محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفات پتاسیم و بدون محلول پاشی به همراه تلقیح میکوریز (C25%kphoF0M1)

۱۵. محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفات پتاسیم با محلول پاشی ۵۰ درصد از طریق فسفات پتاسیم به همراه تلقیح میکوریز (C25%kphoF50%kphoM1)

۱۶. محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفات پتاسیم با محلول پاشی ۵۰ درصد از طریق فسفات پتاسیم به همراه تلقیح میکوریز (C25%kphoF50%kphiM1)

۱۷. محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفات پتاسیم با محلول پاشی ۱/۲ غلظت از محلول ۵۰ درصد فسفات پتاسیم و ۵۰ درصد فسفات پتاسیم به همراه تلقیح میکوریز (C25%kphoF(1/2)50%kphi+50%kphoM1)

مواد گیاهی و شرایط رشد

پایه‌های پیوندی رز رقم دولسه‌ویتا (Dolce Vita) از یک گلخانه تجاری در شهرکرد تهیه و به گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع و قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر (حجم ۱۰ لیتر) منتقل شدند. بستر کشت شامل ۷۵ درصد پیت‌ماس و ۲۵ درصد پرلیت با اندازه ذرات ۵-۳ میلی‌متر بود و ۱۰۰ گرم مایه تلقیح حاوی سه گونه قارچ برای تیمارهای میکوریز اضافه شد. در تیمارهای فاقد میکوریز، ۱۰۰ گرم ماسه خالص جایگزین شد. شرایط محیطی گلخانه شامل دمای حداکثر 23 ± 2 و حداقل 18 ± 2 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۶۰-۷۰ درصد و شدت نور $400-500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ بود. در این پژوهش رقم دولسه‌ویتا از گروه Hybrid Tea، با گلبرگ‌های سفید حاشیه‌دار صورتی، ساقه‌های بلند و گل‌های پرگلبرگ، به دلیل زیبایی و عمر گل مناسب، انتخاب شد. قبل از شروع آزمایش، ویژگی‌های کیفی نمونه آب مورد استفاده اندازه‌گیری شدند که نتایج آن در جدول ۱ آمده است (جدول ۱).

۵. محلول غذایی کامل با فسفات پتاسیم بدون محلول پاشی به همراه تلقیح میکوریز (C100%kphi F0M1)

۶. محلول غذایی کامل با فسفات پتاسیم بدون محلول پاشی بدون میکوریز (C100%kphiF0M0)

۷. محلول غذایی بدون فسفر با محلول پاشی ۱۰۰ درصد فسفات پتاسیم به همراه تلقیح میکوریز (P0F100%kphiM1)

۸. محلول غذایی بدون فسفر با محلول پاشی ۱۰۰ درصد فسفات پتاسیم به همراه تلقیح میکوریز (P0F100%kphoM1)

۹. محلول غذایی بدون فسفر با محلول پاشی ۵۰ درصد فسفات پتاسیم و ۵۰ درصد فسفات پتاسیم به همراه تلقیح میکوریز (P0F50%kpho+50%kphiM1)

۱۰. محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفات پتاسیم و بدون محلول پاشی به همراه تلقیح میکوریز (C25%kphiF0M1)

۱۱. محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفات پتاسیم با محلول پاشی ۵۰ درصد از طریق فسفات پتاسیم به همراه تلقیح میکوریز (C25%kphiF50%kphoM1)

۱۲. محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفات پتاسیم با محلول پاشی ۵۰ درصد از طریق فسفات پتاسیم به همراه تلقیح میکوریز (C25%kphiF50%kphiM1)

۱۳. محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفات پتاسیم با محلول پاشی ۱/۲ غلظت از محلول ۵۰ درصد فسفات پتاسیم و ۵۰ درصد فسفات پتاسیم به همراه تلقیح میکوریز (C25%kphiF(1/2)50%kphi+50%kphoM1)

جدول ۱- ویژگی‌های کیفی آب مورد استفاده

Table 1. Qualitative properties of the water used in the experiment

Total hardness (CaCO ₃) (mg L ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	pH	EC (dS m ⁻¹)
421	0.11	1.2	2.8	6.3	2.4	4.3	0.1	6.95	0.610

پتاسیم مورد نیاز گیاه از این طریق تأمین می‌شد، استوک جداگانه‌ای برای سولفات پتاسیم در نظر گرفته شد که بسته به نوع تیمار، به مقدار ۱، ۲ یا ۴ لیتر از این استوک برای هر ۴۰ لیتر محلول غذایی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، برای فسفات پتاسیم نیز یک استوک مجزا تهیه گردید. فسفیت پتاسیم که به صورت مایع تهیه شده بود، به مقدار ۱۲ میلی‌لیتر برای هر ۴۰ لیتر محلول غذایی به محلول اضافه شد (جدول ۲). به منظور استفاده از عناصر غذایی کم‌مصرف، استوک ۴۰X تهیه و استفاده شد که برای هر ۱۰۰۰ لیتر مقدار ۱۲۵ میلی‌لیتر از آن استفاده می‌شد (جدول ۳)

برنامه تغذیه‌ای مورد استفاده

به‌منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز، از یک برنامه تغذیه‌ای تنظیم شده برای گیاهان رز استفاده شد و pH محلول غذایی در بازه ۵/۸ تا ۶/۲ تنظیم گردید. برای آماده‌سازی محلول غذایی، دو محلول پایه (استوک) مجزا جهت تأمین عناصر پرمصرف تهیه شد. استوک اول شامل کودهای نیتрат پتاسیم، سولفات منیزیم و نیترات آمونیوم، و استوک دوم حاوی نیترات کلسیم و آهن بود. از هر یک از این استوک‌ها، به‌میزان ۴ لیتر برای تهیه ۴۰ لیتر محلول غذایی استفاده شد. با توجه به اینکه برخی از تیمارهای محلول‌پاشی حاوی پتاسیم بودند و بخشی از

جدول ۲- میزان عناصر استفاده شده در استوک ۵ X

Table 2. Amount of elements used in Stock 5X

	KNO ₃ (g)	MgSO ₄ (g)	NH ₄ NO ₃ (g)
Stock A	11.45	49	41.4
	Ca(NO ₃) ₂ (g)	Fe-EDDHA (6%) (g)	
Stock B	25.5	20	
Stock K ₂ SO ₄	28.8		
Stock KH ₂ PO ₄	44.4		

جدول ۳- میزان عناصر میکرو مورد استفاده ۴۰X

Table 3. Amount of micro elements used in Stock 40X

Components	CuSO ₄	H ₂₄ Mo ₇ N ₆ O ₂₄ . 4 H ₂ O	ZnSO ₄	MnSO ₄	H ₃ BO ₃
Amounts (g)	10	16	12	240	122

دیجیتالی (مدل NO:Z,22855) اندازه‌گیری شد. طول ساقه گل‌دهنده با خط‌کش از محل خروج ساقه تا انتهای گیاه اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر گزارش شد.

اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی برای اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی، از هر شاخه به طور تصادفی برگ‌های بالغ انتخاب شده و میزان کلروفیل با

بررسی پارامترهای مورفولوژیکی

وزن تر نمونه‌های برگ، ریشه، گل و ساقه گل‌دهنده توسط ترازوی دیجیتالی (METTLER, PJ300) اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. سطح برگ‌ها با استفاده از Leaf Area Meter (مدل AM200) اندازه‌گیری شد. تعداد گلبرگ‌ها با شمارش مستقیم و قطر گل پس از باز شدن کامل با کولیس

ریشه‌ها پس از شست‌وشو، بی‌رنگ‌سازی شده و رنگ‌آمیزی با تریپان بلو (۰/۵ درصد) انجام شد و تا زمان بررسی در محلول رنگ‌بر نگهداری شدند. درصد کلونیزاسیون بر اساس مشاهده ساختارهای قارچی (آربسکول، وزیکول و هیف) در ۱۰۰ قطعه ریشه یک سانتی‌متری به طور تصادفی تعیین شد و میانگین آن به عنوان شاخص کلونیزاسیون گزارش شد (Linderman and Bierman, 1981).

آنالیز آماری

برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی، از نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای توکی در سطح احتمال ۱ درصد انجام گرفت. همچنین آزمون همبستگی بین پارامترها و آنالیز PCA با استفاده از نرم‌افزار R Studio انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی پارامترهای مورفولوژیکی

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴ و ۵) مشخص شد که تأثیر تیمارهای فسفر و تلقیح میکوریز بر وزن تر و خشک برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، تعداد گلبرگ، قطر گل، وزن تر و خشک گل، طول ساقه گل دهنده، قطر ساقه و وزن تر ساقه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، اما تأثیر تیمارها بر تعداد برگ و وزن خشک ساقه گل-دهنده از لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

نتایج تحلیل میانگین داده‌ها نشان داد که اغلب تیمارهای اعمال‌شده منجر به افزایش وزن تر و خشک برگ در گل شاخه‌بریده رز شدند (جدول ۶). بیشترین افزایش وزن تر و خشک برگ به ترتیب مربوط به تیمار محلول‌غذایی بدون فسفر همراه با محلول‌پاشی ۱۰۰ درصد فسفیت پتاسیم و تلقیح میکوریز ($P_{0F100\%KPhiM_1}$) و تیمار محلول‌غذایی بدون فسفر با محلول‌پاشی ترکیبی ۵۰ درصد فسفات پتاسیم و ۵۰ درصد فسفیت پتاسیم با تلقیح میکوریز ($P_{0F50\%KPho+50\%KPhiM_1}$) بود. این تیمارها نسبت به نمونه شاهد (P_{0F0M_0}) افزایش معنی‌داری نشان دادند،

دستگاه سنجش شاخص کلروفیل مدل (MINOLTA 502, Osaka Japan) اندازه‌گیری شد (Markwell et al., 1995). برای تعیین مقادیر کلروفیل a ، b ، کل و کاروتنوئید، ۰/۵ گرم بافت تازه برگ توزین و با استون ۸۰ درصد عصاره‌گیری شد. عصاره پس از سانتریفیوژ با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه، مورد تحلیل قرار گرفت و جذب نوری آن در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر (HALO DB-20 Dynamica) قرائت شد. مقادیر کلروفیل و کاروتنوئید بر اساس فرمول‌های استاندارد و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شدند (Lichtenthaler, 1987).

اندازه‌گیری عناصر غذایی برگ

نمونه‌های برگ پس از شست‌وشو با آب معمولی و اسیدکلریدریک ۰/۱ مولار، با آب مقطر شست‌وشو شدند و سپس در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. برگ‌های خشک آسیاب و از الک با قطر ۰/۵ میلی‌متر عبور داده شدند (Jones, 2001). برای عصاره‌گیری، ۰/۵ گرم از نمونه‌ها به‌روش هضم خشک در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس، به مدت ۴ تا ۵ ساعت خاکستر شد و خاکستر حاصل در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ مولار حل و به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

غلظت نیتروژن کل برگ به‌روش کج‌لدال شامل مراحل هضم، تقطیر و تیتراسیون تعیین گردید (Mulvaney, 1996). فسفر به‌روش رنگ‌سنجی و با استفاده از معرف آمونیوم مولیبدات-وانادات اندازه‌گیری شد و جذب آن در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد (Jackson, 1973). غلظت پتاسیم نیز با روش نشر شعله‌ای و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (Corning 400) اندازه‌گیری شد (Waling et al., 1989).

تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه

یک سال پس از اعمال تیمار، نمونه‌برداری از ریشه‌ها برای بررسی میزان کلونیزاسیون انجام شد. رنگ‌آمیزی ریشه‌ها طبق روش Phillips و Hayman (۱۹۷۰) صورت گرفت.

به گونه‌ای که وزن تر برگ تا ۱/۹۳ برابر و وزن خشک برگ

تا ۵۲/۴۶ درصد افزایش یافت. (جدول ۶).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های مورفولوژیکی برگ و ریشه در گیاه رز رقم دولسه ویتا در اثر تیمارهای فسفر و تلقیح

میکوریز

Table 4. Analysis of variance results for some morphological traits of leaves and roots in *Rosa hybrida* cv. Dolce Vita as affected by phosphorus treatments and mycorrhizal inoculation

Source of variation	df	Mean squares					
		Leaf F.W.	Leaf D.W.	Leaf number	Leaf area	Root F.W.	Root D.W.
Treatment	16	4.12 **	0.102 **	3.29 ^{ns}	4590587.7 **	1126.17 **	124.3 **
Error	51	0.0109	0.012	3.10	894082.6	57.10	7.36
CV (%)	----	12.13	17.82	21.33	13.23	13.41	9.41

^{ns}, **: non-significant, significant at 1% probability level

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های مورفولوژیکی گل در گیاه رز رقم دولسه ویتا در اثر تیمارهای فسفر و تلقیح میکوریز

Table 4. Analysis of variance results for some morphological traits of flowers in *Rosa hybrida* cv. Dolce Vita as affected by phosphorus treatments and mycorrhizal inoculation

Source of variation	df	Mean squares							
		Petal number	Flower diameter	Flower F.W.	Flower D.W.	Flowering stem length	Flowering stem diameter	Flowering stem F.W.	Flowering stem D.W.
Treatment	16	225.57 **	315.38 **	48.79 **	0.79 **	419.10**	1.54**	6.15**	0.21 ^{ns}
Error	51	48.92	88.54	7.20	0.15	9.10	0.443	1.46	0.27
CV (%)	----	12.10	10.97	15.75	15.79	3.30	9.33	15.9	18.9

^{ns}, **: non-significant, significant at 1% probability level

جدول ۶- مقایسه میانگین شاخص‌های مورفولوژیکی رز رقم دل‌سویتا تحت تیمارهای فسفر و تلقیح میکوریز

Table 6- Mean comparison of morphological traits of *Rosa hybrida* 'Dolce Vita' under phosphorus and mycorrhizal treatments

Treatments	Leaf F.W.	Leaf D.W.	Leaf area	Root F.W.	Root D.W.	Petal number	Flower diameter	Flower F.W.	Flower D.W.	Flowerin g stem length	Floweri ng stem diamete r	Floweri ng stem F.W.
	(g)	(g)	(mm ²)	(g)	(g)		(mm)	(g)	(g)		(mm)	(mm)
P ₀ F ₀ M ₀	12.53 ^d	12.53 ^d	12.53 ^d	12.53 ^d	12.53 ^d	12.53 ^d	12.53 ^d	12.53 ^d	1.82 ^c	65.9 ^e	5.94 ^c	5.45 ^b
P ₀ F ₀ M ₁	12.82 ^d	12.82 ^d	12.82 ^d	12.82 ^d	12.82 ^d	12.82 ^d	12.82 ^d	12.82 ^d	1.87 ^{bc}	65.93 ^e	6.2 ^{bc}	5.73 ^b
C ₁₀₀ kphF ₀ M ₀	15.65 ^{a-d}	15.65 ^{a-d}	15.65 ^{a-d}	15.65 ^{a-d}	15.65 ^{a-d}	15.65 ^{a-d}	15.65 ^{a-d}	15.65 ^{a-d}	2.30 ^{abc}	97.35 ^{abc}	7 ^{abc}	7.94 ^{ab}
C ₁₀₀ kph F ₀ M ₀	14.54 ^{b-d}	14.54 ^{b-d}	14.54 ^{b-d}	14.54 ^{b-d}	14.54 ^{b-d}	14.54 ^{b-d}	14.54 ^{b-d}	14.54 ^{b-d}	2.63 ^{abc}	89.75 ^{b-d}	6.94 ^{abc}	7.44 ^{ab}
(C ₁₀₀ kphi F ₀ M ₁	20.16 ^{a-d}	20.16 ^{a-d}	20.16 ^{a-d}	20.16 ^{a-d}	20.16 ^{a-d}	20.16 ^{a-d}	20.16 ^{a-d}	20.16 ^{a-d}	2.73 ^{abc}	94.15 ^{a-d}	6.83 ^{abc}	7.16 ^{ab}
C ₁₀₀ kphiF ₀ M ₀	13.34 ^{cd}	13.34 ^{cd}	13.34 ^{cd}	13.34 ^{cd}	13.34 ^{cd}	13.34 ^{cd}	13.34 ^{cd}	13.34 ^{cd}	1.90 ^{bc}	91.53 ^{a-d}	6.81 ^{abc}	6.95 ^{ab}
P ₀ F ₁₀₀ kphiM ₁	16.69 ^{a-d}	16.69 ^{a-d}	16.69 ^{a-d}	16.69 ^{a-d}	16.69 ^{a-d}	16.69 ^{a-d}	16.69 ^{a-d}	16.69 ^{a-d}	2.09 ^{abc}	94.77 ^{a-d}	6.88 ^{abc}	7.36 ^{ab}
P ₀ F ₁₀₀ kphM ₁	15.76 ^{a-d}	15.76 ^{a-d}	15.76 ^{a-d}	15.76 ^{a-d}	15.76 ^{a-d}	15.76 ^{a-d}	15.76 ^{a-d}	15.76 ^{a-d}	2.55 ^{abc}	97.43 ^{abc}	7.75 ^{abc}	8.93 ^{ab}
P ₀ F ₅₀ kph+50kphiM	12.9 ^d	12.9 ^d	12.9 ^d	12.9 ^d	12.9 ^d	12.9 ^d	12.9 ^d	12.9 ^d	2.27 ^{abc}	96.4 ^{abc}	7.45 ^{abc}	7.46 ^{ab}
C ₂₅ %kphiF ₀ M ₁	21.46 ^{ab}	21.46 ^{ab}	21.46 ^{ab}	21.46 ^{ab}	21.46 ^{ab}	21.46 ^{ab}	21.46 ^{ab}	21.46 ^{ab}	2.83 ^{abc}	97.73 ^{ab}	7.13 ^{abc}	5.90 ^b
C ₂₅ %kphiF ₅₀ %kphM ₁	21.23 ^{abc}	21.23 ^{abc}	21.23 ^{abc}	21.23 ^{abc}	21.23 ^{abc}	21.23 ^{abc}	21.23 ^{abc}	21.23 ^{abc}	3.04 ^{ab}	98.15 ^{ab}	8.37 ^a	8.1 ^{ab}
(C ₂₅ %kphiF ₅₀ %kphiM ₁	17.22 ^{a-d}	17.22 ^{a-d}	17.22 ^{a-d}	17.22 ^{a-d}	17.22 ^{a-d}	17.22 ^{a-d}	17.22 ^{a-d}	17.22 ^{a-d}	2.53 ^{abc}	87.25 ^d	6.59 ^{abc}	7.62 ^{ab}
C ₂₅ %kphiF ₅₀ %50kphi+50kphM ₁	23.52 ^a	23.52 ^a	23.52 ^a	23.52 ^a	23.52 ^a	23.52 ^a	23.52 ^a	23.52 ^a	3.21 ^a	99.8 ^a	7.66 ^{abc}	10.43 ^a
(C ₂₅ %kphF ₀ M ₁	16.45 ^{a-d}	16.45 ^{a-d}	16.45 ^{a-d}	16.45 ^{a-d}	16.45 ^{a-d}	16.45 ^{a-d}	16.45 ^{a-d}	16.45 ^{a-d}	2.37 ^{abc}	94.58 ^{a-d}	7.45 ^{abc}	8.54 ^{ab}
C ₂₅ %kphF ₅₀ %kphM ₁	15.45 ^{b-d}	15.45 ^{b-d}	15.45 ^{b-d}	15.45 ^{b-d}	15.45 ^{b-d}	15.45 ^{b-d}	15.45 ^{b-d}	15.45 ^{b-d}	2.2 ^{abc}	88.5 ^{cd}	6.87 ^{abc}	7.47 ^{ab}
C ₂₅ %kphF ₅₀ %kphiM ₁	21.88 ^{ab}	21.88 ^{ab}	21.88 ^{ab}	21.88 ^{ab}	21.88 ^{ab}	21.88 ^{ab}	21.88 ^{ab}	21.88 ^{ab}	3.18 ^a	98.75 ^a	7.97 ^{ab}	7.93 ^{ab}
C ₂₅ %kphF _(50%) 50kphi+50kphM ₁	18.12 ^{a-d}	18.12 ^{a-d}	18.12 ^{a-d}	18.12 ^{a-d}	18.12 ^{a-d}	18.12 ^{a-d}	18.12 ^{a-d}	18.12 ^{a-d}	2.89 ^{abc}	95 ^{a-d}	7.47 ^{abc}	8.91 ^{ab}

آماري مشاهده نشد و فقط تیمار ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی + محلول پاشی ۵۰:۵۰ فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم (نصف غلظت هر کدام) به همراه میکوریز ($C_{25\%}KPhiF(\frac{1}{2})_{50\%}KPhi+50\%KPhoM_1$) با شاهد اختلاف معنی داری نشان داد. این تیمار منجر به افزایش ۳۰/۱۳ درصدی قطر گل در مقایسه با شاهد شد (جدول ۶). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، تیمارهای اعمال شده در مطالعه حاضر موجب افزایش وزن تر و خشک گل شاخه بریده رز نسبت به شاهد شدند (جدول ۶). بیشترین وزن تر گل (۲۳/۵۲ گرم) در تیمار ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی همراه با محلول پاشی ۵۰:۵۰ فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم (نصف غلظت هر کدام) به همراه میکوریز ($C_{25\%}KPhiF(\frac{1}{2})_{50\%}KPhi+50\%KPhoM_1$) ثبت شد که نسبت به شاهد افزایش ۱/۸۷ برابری نشان داد. در مورد وزن خشک گل نیز بیشترین مقدار (۳/۲۱ گرم) در همان تیمار و همچنین در تیمار محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفات پتاسیم همراه با محلول پاشی ۵۰ درصد فسفیت پتاسیم و تلقیح میکوریز ($C_{25\%}KPhoF_{50\%}KPhiM_1$) مشاهده شد که نسبت به شاهد، بیش از ۴۰ درصد افزایش داشت.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تمامی تیمارهای فسفیت پتاسیم، فسفات پتاسیم و میکوریز موجب افزایش معنی دار طول ساقه گلدهنده گل رز شدند (جدول ۶). بیشترین افزایش طول ساقه گلدهنده در تیمار ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی همراه با محلول پاشی ۵۰:۵۰ فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم (نصف غلظت هر کدام) به همراه میکوریز ($C_{25\%}KPhiF(\frac{1}{2})_{50\%}KPhi+50\%KPhoM_1$) و تیمار محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفات پتاسیم همراه با محلول پاشی ۵۰ درصد فسفیت پتاسیم و تلقیح میکوریز ($C_{25\%}KPhoF_{50\%}KPhiM_1$) مشاهده شد که افزایش بیش از ۳۰ درصد نسبت به نمونه شاهد داشت. همانند طول ساقه گلدهنده، تیمارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر منجر به افزایش قطر ساقه گلدهنده در گل شاخه بریده رز شدند؛ اگر چه بین اکثر تیمارها اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر افزایش سطح برگ برخی از تیمارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر است. با توجه به جدول ۶ مشخص شد که تیمار محلول غذایی بدون فسفر با محلول پاشی ۵۰ درصد فسفات پتاسیم و ۵۰ درصد فسفیت پتاسیم با تلقیح میکوریز ($P_0F_{50\%}KPho+50\%KPhiM_1$) تأثیر بیشتری در افزایش سطح برگ داشت. این تیمار منجر به افزایش ۳۹/۳۲ درصدی سطح برگ در مقایسه با شاهد شد. کمترین سطح برگ (۵۵۵۲ میلی متر مربع) در شاهد مشاهده شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمارهای اعمال شده در مطالعه حاضر منجر به افزایش وزن تر و خشک ریشه در گل‌های شاخه بریده رز شدند (جدول ۶). بیشترین افزایش وزن تر ریشه مربوط به تیمار محلول غذایی بدون فسفر با محلول پاشی ۱۰۰ درصد فسفیت پتاسیم و تلقیح میکوریز ($P_0F_{100\%}KPhiM_1$) بود، به طوری که وزن تر ریشه در این تیمار حدود ۲/۵۹ برابر نمونه شاهد افزایش یافت. سایر تیمارهای مؤثر شامل تیمار ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی همراه با محلول پاشی ۵۰:۵۰ فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم (نصف غلظت هر کدام) با تلقیح میکوریز ($C_{25\%}KPhiF(\frac{1}{2})_{50\%}KPhi+50\%KPhoM_1$) و تیمار محلول غذایی بدون فسفر با محلول پاشی ۱۰۰ درصد فسفات پتاسیم با تلقیح میکوریز ($P_0F_{100\%}KPhoM_1$) بودند. در مورد وزن خشک ریشه، بیشترین مقدار (۳۹/۸۵ گرم) در تیمار $C_{25\%}KPhiF(\frac{1}{2})_{50\%}KPhi+50\%KPhoM_1$ ثبت شد که نسبت به شاهد (۲۰/۳ گرم) افزایش ۴۹/۰۵ درصدی را نشان داد (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر افزایش تعداد گلبرگ در نتیجه کاربرد تیمارهای فسفر همراه با تلقیح میکوریز مورد استفاده در مطالعه حاضر بود، با این حال تأثیر تیمار محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم و با محلول پاشی ۵۰ درصد از طریق فسفیت پتاسیم با تلقیح میکوریز ($C_{25\%}KPhiF_{50\%}KPhiM_1$) در افزایش تعداد گلبرگ بیشتر بود. این تیمار، منجر به افزایش ۱/۶۲ برابری تعداد گلبرگ در مقایسه با شاهد شد (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر منجر به افزایش قطر گل شدند. هر چند که بین اکثر تیمارها اختلاف معنی داری از لحاظ

برگ را تسهیل کرده و کارایی فتوسنتزی گیاه را افزایش می‌دهد (Mohammed *et al.*, 2022). این تغییرات باعث بهبود تبدیل نور به انرژی، تولید مواد آلی و افزایش تعرق می‌شود که علاوه بر خنک کردن گیاه، کارایی مصرف آب را نیز ارتقا می‌بخشد. در مجموع، ترکیب افزایش سطح برگ و نرخ فتوسنتز در واحد سطح، رشد و عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Ma *et al.*, 2021). اثر مثبت کودهای فسفر بر ارتفاع، سطح برگ و قطر ساقه گل زنگوله‌ای نیز گزارش شده است (Kwon *et al.*, 2019).

کاربرد فسفر و پتاسیم ساختار ریشه را تقویت کرده و توانایی جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد که احتمالاً دلیل تفاوت بین تیمار و شاهد است (Ma *et al.*, 2021). تیمار فسفیت همچنین فعالیت نیترا ریدوکتاز و جذب نیتروژن، آهن و پتاسیم را افزایش داده و بهبود فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای را به دنبال دارد (El-Naggar & El-Nasharty, 2016). در این پژوهش نیز افزایش جذب نیتروژن با کاربرد فسفیت و فسفات پتاسیم، یکی از عوامل ارتقاء رشد گیاه بود. نتایج حاضر نشان‌دهنده اثرات مثبت فسفیت پتاسیم و فسفات پتاسیم است که مطابق با یافته‌های یافته‌های گمز-مرینو و ترجو-ترز (Gómez-Merino & Trejo-Téllez, 2016; 2015) قابل تبیین است. این پژوهشگران بیان کرده‌اند که فسفیت پتاسیم به‌عنوان محرک زیستی با فعال سازی مسیرهای مولکولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، پاسخ‌های دفاعی گیاه، متابولیسم و فیتوهورمون‌ها را تعدیل کرده و در نهایت عملکرد و کیفیت محصولات را بهبود می‌بخشد. فسفیت با داشتن یک اتم اکسیژن کمتر نسبت به فسفات، تحرک بیشتری در بافت‌های گیاهی دارد و به‌واسطه حلالیت بالایش به‌راحتی از طریق سیستم آوندی گیاه منتقل می‌شود. اکسیداسیون غیرآنزیمی فسفیت به فسفات نیز به‌صورت تدریجی و کنترل شده انجام می‌گیرد (Gómez-Merino & Trejo-Téllez, 2016).

این یافته‌ها با نتایج گزارش شده توسط سایر پژوهشگران همخوانی دارد، که نشان می‌دهند محصولات حاوی فسفیت رشد گیاه، سطح برگ و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی را افزایش می‌دهند (Glinicki *et al.*, 2010; Constán-*et al.*, 2014; Aguilar *et al.*, 2014; Tambascio *et al.*, 2014).

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود بیشترین قطر ساقه گل‌دهنده (۸/۳۷ میلی‌متر) در تیمار محلول غذایی با ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم با محلول پاشی ۵۰ درصد از طریق فسفات پتاسیم با تلقیح میکوریز ($C_{25\%}KPhiF_{50\%}KPhoM_1$) مشاهده شد که در مقایسه با شاهد (۵/۹۴ میلی‌متر) افزایش ۲۹/۰۳ درصدی نشان داد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها مشخص شد که وزن تر ساقه گل‌دهنده در اثر تیمارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر، روندی افزایشی، در مقایسه با شاهد نشان داد. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، تأثیر تیمار ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی + محلول پاشی ۵۰:۵۰ فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم (نصف غلظت هر کدام) به همراه میکوریز ($C_{25\%}KPhiF_{(1/2)50\%}KPhi+50\%KPhoM_1$) در مقایسه با سایر تیمارها تأثیر بیشتری در افزایش وزن تر ساقه گل‌دهنده نشان داد و منجر به افزایش ۱/۹۱ برابری وزن تر ساقه گل‌دهنده شد.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد همزمان فسفات پتاسیم، فسفیت پتاسیم و تلقیح قارچ میکوریز، به‌طور معنی‌داری پارامترهای مورفولوژیکی رز شاخه‌بریده را بهبود بخشید، از جمله افزایش اندازه و وزن تر و خشک برگ‌ها، گل‌ها، ساقه گل‌دهنده و ریشه نسبت به شاهد که بیانگر تأثیر مثبت این تیمارها بر رشد و نمو گیاه است. محرک‌های زیستی، به‌عنوان ترکیبات نوظهور، نقش مهمی در بهبود رشد و عملکرد گیاه دارند (Bulgari *et al.*, 2015). فسفیت، شکل کاهش یافته فسفات، یکی از این محرک‌ها است که از طریق ناقلان فسفات جذب می‌شود (Lovatt & Mikkelsen, 2006) و اگرچه نمی‌تواند در تمام واکنش‌های زیستی جایگزین فسفات شود، قادر به کاهش پاسخ گیاه به کمبود فسفر است (Varadarajan *et al.*, 2002). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که تیمار فسفیت رشد اندام‌های هوایی و توسعه ریشه را در گونه‌های مختلف افزایش داده و زیست توده را تا حدود ۳۰ درصد ارتقا می‌دهد (Rossall *et al.*, 2015). کاربرد فسفیت پتاسیم موجب بهبود ویژگی‌های ریشه، افزایش تولید اجزای مرتبط با فتوسنتز و ارتقاء جذب آب در گیاه می‌شود، که در نهایت تبادل دی‌اکسید کربن در

دسترسی به آب، جذب انتخابی عناصر معدنی به ویژه نیتروژن و فسفر و افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات‌ردوکتاز و سنتز پروتئینی است (Koch & Sessitsch, 2024). فسفر به عنوان یکی از عناصر ضروری گیاه، نقش کلیدی در تقسیم سلولی، تولید مواد فتوسنتزی و تولید انرژی دارد و به این ترتیب عملکرد اندام‌های هوایی را افزایش می‌دهد (Vosnjak *et al.*, 2021). در پژوهش حاضر، کاربرد همزمان فسفات پتاسیم، فسفیت پتاسیم و قارچ میکوریز موجب افزایش پارامترهای مورفولوژیکی رز شاخه‌بریده شد؛ احتمال می‌رود این اثر ناشی از افزایش جذب فسفر و به تبع آن ارتقای فتوسنتز و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد. افزایش عملکرد تحت تأثیر قارچ‌های میکوریز احتمالاً ناشی از بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه، شامل هدایت روزنه‌ای، میزان کلروفیل و تعداد برگ است که رشد و نمو و در نهایت عملکرد گیاه را ارتقا می‌دهد. میکوریز با افزایش تولید کربوهیدرات، تجمع ماده خشک و محتوای آبی گیاه را بهبود می‌بخشد و وزن خشک گل و ساقه گل‌دهنده را افزایش می‌دهد. کربوهیدرات‌های تجمع یافته با جذب بهتر آب و حفظ فشار تورژسانس سلولی، شادابی گیاه را تقویت کرده و منجر به افزایش قطر گل و ساقه رز می‌شوند.

بررسی رنگیزه‌های گیاهی

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای فسفر همراه با تلقیح میکوریز در سطح احتمال ۱ درصد بر پارامترهایی از قبیل شاخص کلروفیل، کلروفیل-های a ، b ، کل و کاروتنوئید معنی‌دار بودند (جدول ۷).

در پژوهش حاضر، تلقیح با قارچ میکوریز نیز پارامترهای مورفولوژیکی رز را به طور قابل توجهی بهبود بخشید. این قارچ‌ها با ایجاد همزیستی با گیاه، قادر به جذب و انتقال تمام عناصر پرمصرف و کم‌مصرف ضروری هستند (Mortimer *et al.*, 2008) و از طریق افزایش سطح جذب، توسعه منطقه نفوذ ریشه و طول عمر ریشه‌های جاذب، دسترسی گیاه به عناصر غذایی را بهبود می‌دهند (Popescu & Popescu, 2022). گسترش ریشه‌های میکوریز مسیر انتقال آب به آوندهای چوبی را تسهیل کرده و می‌تواند دلیل افزایش وزن تر برگ در این مطالعه باشد (Zhu *et al.*, 2022). نورالدین و همکاران (Noraldeen *et al.*, 2023) نیز نشان دادند که آغشته‌سازی بستر با میکوریز در سه گونه زینتی تحت کشت هیدروپونیک باعث افزایش تعداد برگ، طول شاخه، سطح و وزن تر و خشک برگ می‌شود که مکانیسم آن شامل بهبود جذب آب، حفظ فشار تورژسانس و افزایش حجم سلول است. علاوه بر این، میکوریز با تحریک هورمون‌های رشدی مانند سایتوکینین، باز شدن روزنه‌ها، انتقال یون‌ها و افزایش میزان کلروفیل، فتوسنتز را تقویت می‌کند (Vedenicheva & Kosakivska, 2023). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که تلقیح گیاهان زینتی با قارچ میکوریز باعث افزایش زیست‌توده، ارتفاع، سطح برگ و طول ریشه می‌شود. افزایش زیست‌توده عمدتاً به دلیل ارتقای جذب فسفر و تأمین آن در بخش‌های سطحی ریشه است که رشد بخش‌های هوایی و در نتیجه زیست‌توده را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، افزایش ارتفاع گیاه به جذب بیشتر ترکیبات غیرآلی نیز مرتبط است (Keles & Ertürk, 2021). بهبود سطح برگ نیز احتمالاً ناشی از افزایش

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی برگ در گیاه رز رقم دولسه ویتا در اثر تیمارهای فسفر و تلقیح میکوریز

Table 7. Analysis of variance results for some physiological traits of leaves in *Rosa hybrida* cv. Dolce Vita as affected by phosphorus treatments and mycorrhizal inoculation

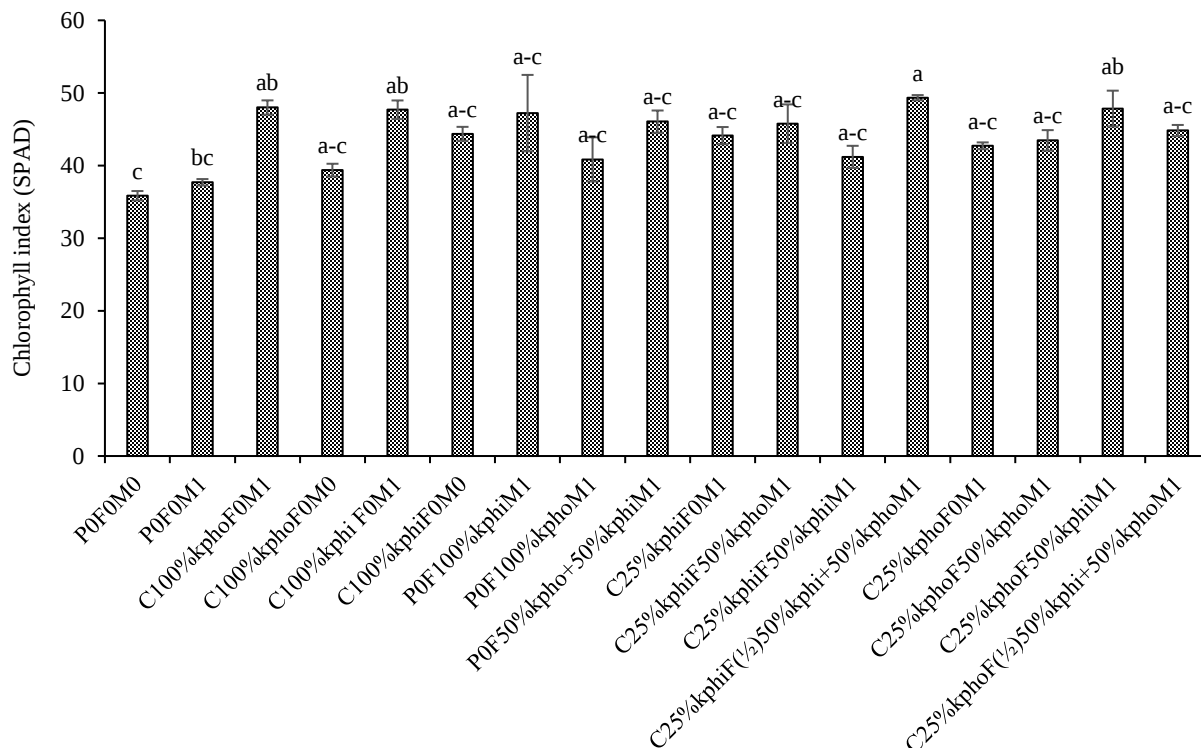
Mean squares						
Source of variation	df	Chlorophyll index	Chlorophyll <i>a</i>	Chlorophyll <i>b</i>	Total Chlorophyll	Carotenoid
Treatment	16	59.69 **	2.86 **	0.105 **	3.60 **	0.0072 **
Error	51	15.03	0.00012	0.000008	0.00015	0.0000057
CV (%)	----	8.83	0.41	0.45	0.37	1.45

** : significant at 1% probability level

شاخص سبزی‌نگی

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیانگر افزایش شاخص کلروفیل در اثر تیمارهای فسفیت پتاسیم، فسفات پتاسیم و میکوریز می‌باشد. با این حال فقط برخی تیمارها توانستند تفاوت معنی‌داری با شاهد در افزایش شاخص کلروفیل ایجاد کنند. از بین این تیمارها هم، تیمار ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی + محلول پاشی

۵۰:۵۰ فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم (نصف غلظت هر کدام) به همراه میکوریز $(C_{25\%}KPhiF(\frac{1}{2})_{50\%}KPhi+_{50\%}KPhoM_1)$ در افزایش شاخص کلروفیل مؤثرتر از بقیه عمل کرد و باعث افزایش ۲۷/۳۵ درصدی شاخص کلروفیل در مقایسه با شاهد $(P_0F_0M_0)$ شد (شکل ۱).



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف فسفر همراه با تلقیح میکوریز بر شاخص سبزی‌نگی در گل رز رقم دولسه ویتا. حروف غیرمشابه بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون توکی می‌باشد.

(C، محلول غذایی؛ F، محلول پاشی؛ M0، بدون میکوریز؛ M1، با میکوریز؛ KPho= پتاسیم، فسفات KPhi پتاسیم، فسفیت P فسفر=)

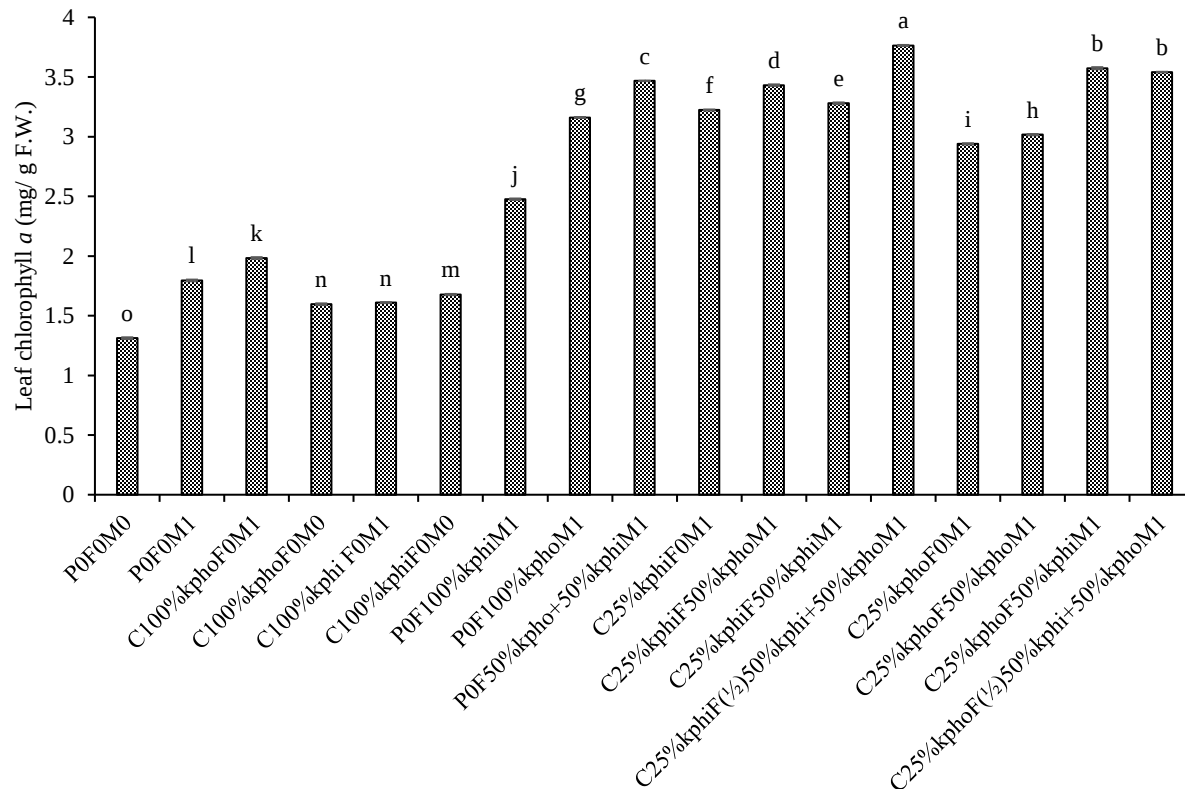
Figure 1. Effect of different phosphorus treatments combined with mycorrhizal inoculation on the chlorophyll index in rose 'Dolce Vita'.

Different letters indicate significant differences at the 0.01 probability level according to the SNK multiple-range test. (P = Phosphorus, KPhi = Potassium phosphite, KPho = Potassium phosphate, M1 = With mycorrhiza, M0 = Without mycorrhiza, F = Foliar application, C = Nutrient solution).

کلروفیل a

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر افزایش کلروفیل a در نتیجه تیمارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر در مقایسه با شاهد بود. همانطور که مشاهده می‌شود، تأثیر ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی + محلول پاشی ۵۰:۵۰

فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم (نصف غلظت هر کدام) به همراه میکوریز $(C_{25\%}KPhiF(\frac{1}{2})_{50\%}KPhi+_{50\%}KPhoM_1)$ در افزایش کلروفیل a بیشتر بود. تیمار ذکر شده منجر به افزایش ۲/۸۷ برابری میزان کلروفیل a در مقایسه با شاهد شد (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف فسفر همراه با تلقیح میکوریز بر میزان کلروفیل *a* برگ در گل رز رقم دولسه ویتا. حروف غیرمشابه بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون توکی می باشد.

(فسفر = P، فسفیت پتاسیم = KPhi، فسفات پتاسیم = KPho، با میکوریز = M1، بدون میکوریز = M0، محلولپاشی = F، محلول غذایی = C).

Figure 2. Effect of different phosphorus treatments combined with mycorrhizal inoculation on the leaf chlorophyll *a* in rose 'Dolce Vita'.

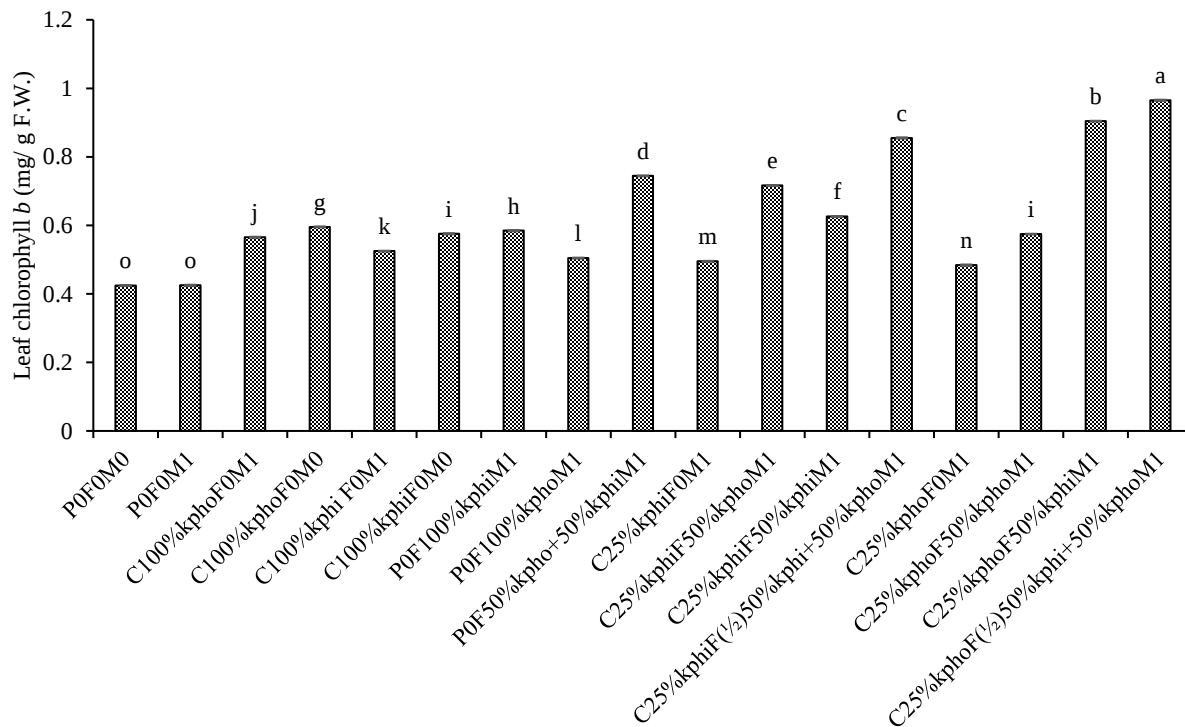
Different letters indicate significant differences at the 0.01 probability level according to the SNK multiple-range test. (P = Phosphorus, KPhi = Potassium phosphite, KPho = Potassium phosphate, M1 = With mycorrhiza, M0 = Without mycorrhiza, F = Foliar application, C = Nutrient solution).

میکوریز
همراه
به
کدام)

افزایش در (C_{25%}KPhiF(1/2)50%KPhi+50%KPhoM₁)
کلروفیل *b* بیشتر بود. دامنه تغییرات کلروفیل *b* از ۰/۹۶۵
میلی گرم در گرم وزن تر در این تیمار، تا ۰/۴۲۵ میلی گرم
در گرم وزن تر در شاهد متغیر بود (شکل ۳).

کلروفیل *b*

همانند کلروفیل *a*، تیمارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر منجر به افزایش کلروفیل *b* نیز شدند. با این حال تأثیر تیمار ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی + محلول پاشی ۵۰:۵۰ فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم (نصف غلظت هر



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف فسفر همراه با تلقیح میکوریز بر میزان کلروفیل *b* برگ در گل رز رقم دولسه ویتا. حروف غیرمشابه بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون توکی می باشد.

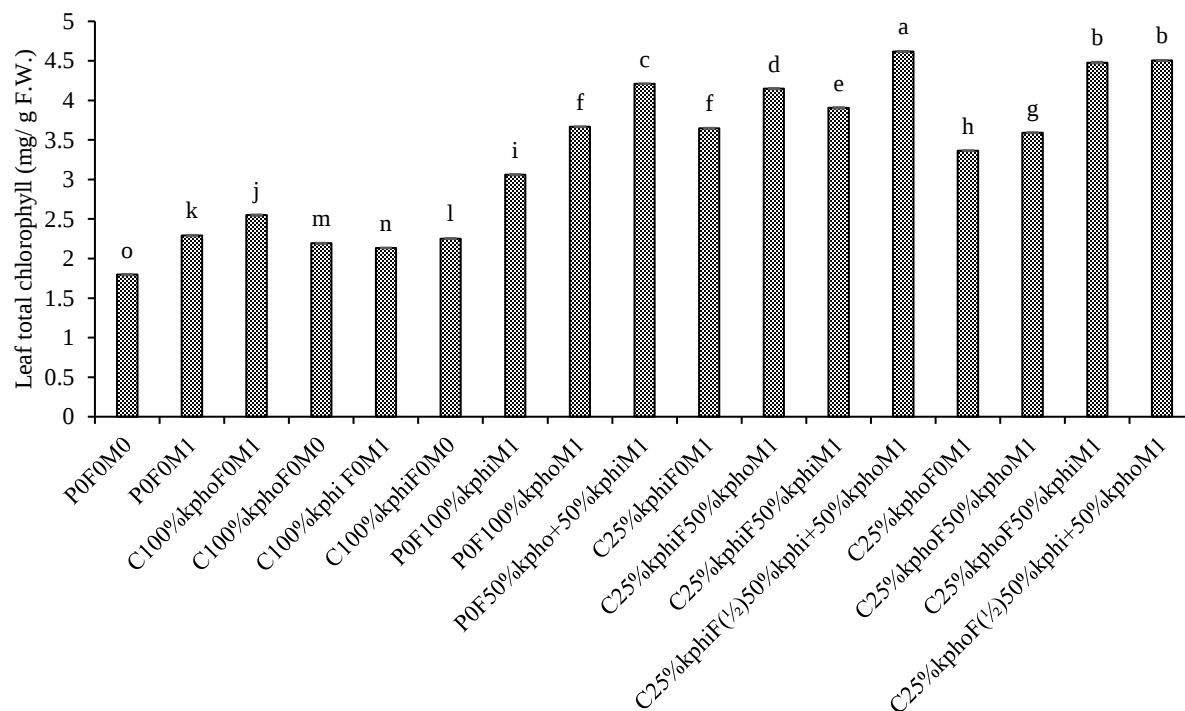
(C، محلول غذایی، F= محلولپاشی، M0= بدون میکوریز، M1= با میکوریز، KPho= پتاسیم، فسفات KPhi= پتاسیم، فسفیت P فسفر=)

Figure 3. Effect of different phosphorus treatments combined with mycorrhizal inoculation on the leaf chlorophyll *b* in rose 'Dolce Vita'.

Different letters indicate significant differences at the 0.01 probability level according to the SNK multiple-range test. (P = Phosphorus, KPhi = Potassium phosphite, KPho = Potassium phosphate, M1 = With mycorrhiza, M0 = Without mycorrhiza, F = Foliar application, C = Nutrient solution).

کلروفیل کل
نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که تمامی تیمارهای مورد بررسی در پژوهش حاضر، میزان کلروفیل کل را نسبت به شاهد افزایش دادند. در بین تیمارهای مورد بررسی، تأثیر ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی + محلول پاشی ۵۰:۵۰ فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم (نصف غلظت هر

کدام) به همراه میکوریز (C_{25%}KPhiF(1/2)50%KPhi+50%KPhoM₁) در افزایش کلروفیل کل بیش از سایر تیمارها بود. تیمار ذکر شده منجر به افزایش ۲/۵۷ برابری میزان کلروفیل کل در مقایسه با شاهد شد (شکل ۴).



شکل ۴- تأثیر تیمارهای مختلف فسفر همراه با تلقیح میکوریز بر میزان کلروفیل کل برگ در گل رز رقم دولسه ویتا. حروف غیرمشابه بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون توکی می‌باشد.

(فسفر = P، فسفیت پتاسیم = KPhi، فسفات پتاسیم = KPho، با میکوریز = M1، بدون میکوریز = M0، محلولپاشی = F، محلول غذایی = C).

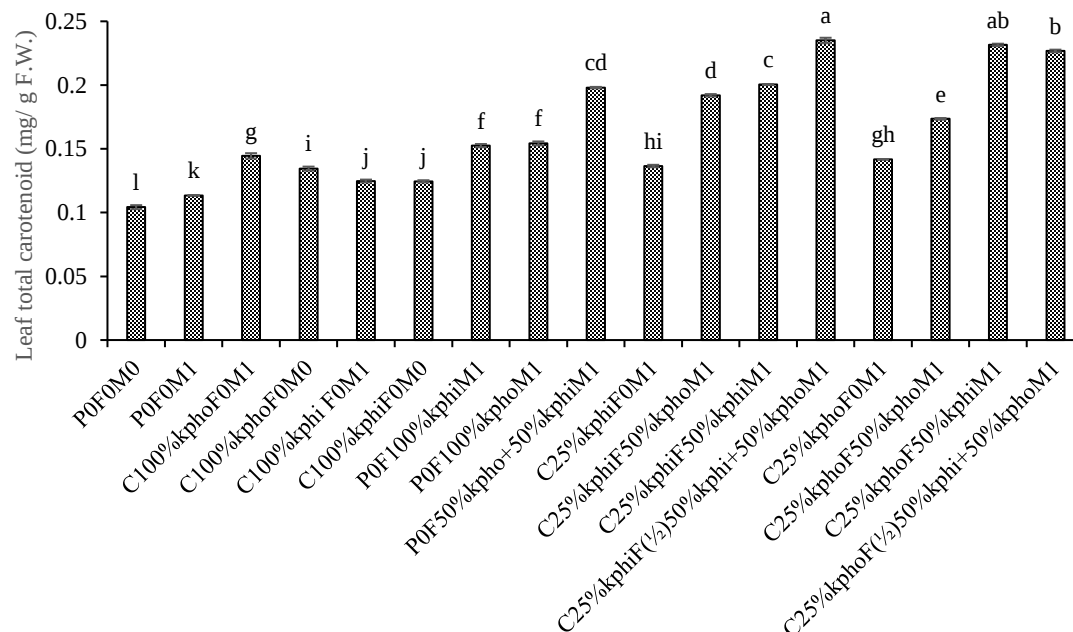
Figure 4. Effect of different phosphorus treatments combined with mycorrhizal inoculation on the leaf total chlorophyll in rose 'Dolce Vita'.

Different letters indicate significant differences at the 0.01 probability level according to the SNK multiple-range test. (P = Phosphorus, KPhi = Potassium phosphite, KPho = Potassium phosphate, M1 = With mycorrhiza, M0 = Without mycorrhiza, F = Foliar application, C = Nutrient solution).

کاروتنوئید

همانطور که شکل ۵ نشان می‌دهد، تمامی تیمارهای مورد بررسی در پژوهش حاضر، میزان کاروتنوئید برگ را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش دادند. از بین تیمارهای مورد پژوهش، تأثیر تیمار ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی + محلول پاشی ۵۰:۵۰

فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم (نصف غلظت هر کدام) به همراه میکوریز (C25%KPhiF(1/2)50%KPhi+50%KPhoM1) در افزایش کاروتنوئید برگ بیشتر بود. دامنه تغییرات کاروتنوئید از ۰/۲۳۵ میلی گرم در گرم وزن تر در این تیمار، تا ۰/۱۰۴ میلی گرم در گرم وزن تر در شاهد متغیر بود



شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف فسفر همراه با تلقیح میکوریز بر میزان کاروتنوئید برگ در گل رز رقم دولسه ویتا. حروف غیرمشابه بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون توکی می‌باشد. (فسفر = P، فسفیت پتاسیم = KPhi، فسفات پتاسیم = KPho، با میکوریز = M1، بدون میکوریز = M0، محلول‌پاشی = F، محلول غذایی = C).

Figure 5. Effect of different phosphorus treatments combined with mycorrhizal inoculation on the leaf carotenoid in rose 'Dolce Vita'.

Different letters indicate significant differences at the 0.01 probability level according to the SNK multiple-range test. (P = Phosphorus, KPhi = Potassium phosphite, KPho = Potassium phosphate, M1 = With mycorrhiza, M0 = Without mycorrhiza, F = Foliar application, C = Nutrient solution).

بر فرایندهای فتوسنتزی، به‌ویژه سنتز رنگیزه‌ها، تأثیرگذار است. با افزایش انرژی در دسترس سلول و تقویت فعالیت آنزیم‌هایی مانند δ -آمینولولئولینیک اسید سنتاز (ALA-synthase)، فسفر موجب افزایش بیوسنتز کلروفیل می‌شود (Meng *et al.*, 2021). گزارش شده است که فسفر تولید پیش‌سازهای کلروفیل را افزایش داده و در نتیجه میزان کلروفیل برگ‌ها به‌طور قابل توجهی بالا می‌رود (Iqbal *et al.*, 2025). همچنین، افزایش فسفر می‌تواند محتوای کاروتنوئیدها را ارتقا دهد؛ این رنگیزه‌ها به عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کرده و از گیاه در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند (Alihaji-Qamsar *et al.*, 2025). افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر تیمار با کودهای فسفات پتاسیم در رز نیز توسط ما و همکاران (Ma *et al.*, 2021) گزارش شده است، که نتایج مطالعه حاضر با آن هم‌راستا می‌باشد.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد همزمان کودهای فسفات پتاسیم و فسفیت پتاسیم به همراه تلقیح میکوریز، موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله شاخص کلروفیل و کلروفیل‌های *a* و *b* شد. همچنین میزان کاروتنوئید نسبت به شاهد افزایش یافت. این ارتقاء رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان‌دهنده بهبود عملکرد سیستم فتوسنتزی است که احتمالاً ناشی از اثر ترکیبی فسفر و پتاسیم می‌باشد؛ فسفر به عنوان عنصری کلیدی در تولید انرژی و انتقال فسفات نقش دارد، در حالی که پتاسیم با تنظیم فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند باز و بسته شدن روزنه‌ها، رشد سلولی و متابولیسم، شرایط بهینه‌ای برای افزایش فتوسنتز ایجاد می‌کند.

عنصر فسفر یکی از عناصر ضروری در تشکیل ATP، اسیدهای نوکلئیک و فسفولیپیدهای غشایی است و نقش مستقیمی در متابولیسم انرژی ایفا می‌کند. بنابراین، فسفر

فتوسنتزی از طریق بهبود وضعیت تغذیه‌ای و آبی گیاه میزبان نشان داده‌اند. علاوه بر این، تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش طول و سطح ریشه باعث جذب بیشتر آب، افزایش هدایت روزنه‌ای و در نهایت بهبود سرعت فتوسنتز در گیاهان تلقیح شده با میکوریز می‌شود (Asadi et al., 2022; Sun et al., 2021, 2022).

نتایج مطالعه دمیر (Demir, 2004) نشان داد که تلقیح با قارچ‌های میکوریز موجب افزایش محتوای فندهای محلول و همچنین سطح هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکینین و جیبرلین می‌شود. افزایش این هورمون‌ها، به‌ویژه سیتوکینین، با بهبود جذب و انتقال یون‌های مؤثر در سنتز و پایداری کلروفیل همراه است و می‌تواند یکی از دلایل تقویت رنگیزه‌های فتوسنتزی در مطالعه حاضر باشد. بر این اساس، می‌توان فرض کرد که در این تحقیق نیز تلقیح میکوریز از طریق ارتقای جذب عناصر غذایی کلیدی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم، نقش مهمی در افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی ایفا کرده است.

بررسی عناصر برگی

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای فسفر همراه با تلقیح میکوریز در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان عناصر برگ شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ معنی‌دار بود (جدول ۸).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریز نسبت به گیاهان بدون تلقیح، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئید بیشتری داشتند. در سیستم‌های هیدروپونیک که خاک حذف شده است، طیف وسیعی از موجودات مفید شامل قارچ‌ها و باکتری‌های محرک رشد نیز از دست می‌رود؛ بنابراین استفاده از کودهای زیستی روشی مناسب برای جایگزینی این موجودات به شمار می‌رود (Antoniou et al., 2021). کودهای زیستی شامل ریزموجودات آزادی هستند که توانایی تبدیل عناصر غذایی پرمصرف از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس را داشته و باعث توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای می‌شوند (Khan et al., 2022). در این میان، قارچ‌های میکوریزا به عنوان مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های مفید، رشد و عملکرد محصول را از طریق بهبود جذب مواد غذایی، تعادل یونی، افزایش غلظت کلروفیل و توسعه مقاومت به تنش‌ها ارتقا می‌دهند (Sun et al., 2022).

یکی از فرضیه‌ها درباره اثر مثبت میکوریز بر رنگیزه‌های کلروفیل، افزایش توان گیاه در جذب آب و عناصر غذایی است که موجب باز ماندن طولانی‌تر روزنه‌ها، افزایش تجمع ماده خشک و بهبود فتوسنتز می‌شود. همچنین، میکوریز با افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه، انتقال آب را تسهیل کرده و در نتیجه کارایی جذب مواد غذایی و راندمان فتوسنتز را ارتقا می‌دهد (Turhan, 2021). پژوهش‌های دیگر نیز نقش مثبت میکوریز را در افزایش غلظت کلروفیل برگ و ظرفیت

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس میزان عناصر برگی و درصد کلونیزاسیون ریشه در گیاه رز رقم دولسه ویتا در اثر تیمارهای فسفر و

تلقیح میکوریز

Table 8. Analysis of variance results for leaf element contents and root colonization in *Rosa hybrida* cv. Dolce Vita as affected by phosphorus treatments and mycorrhizal inoculation

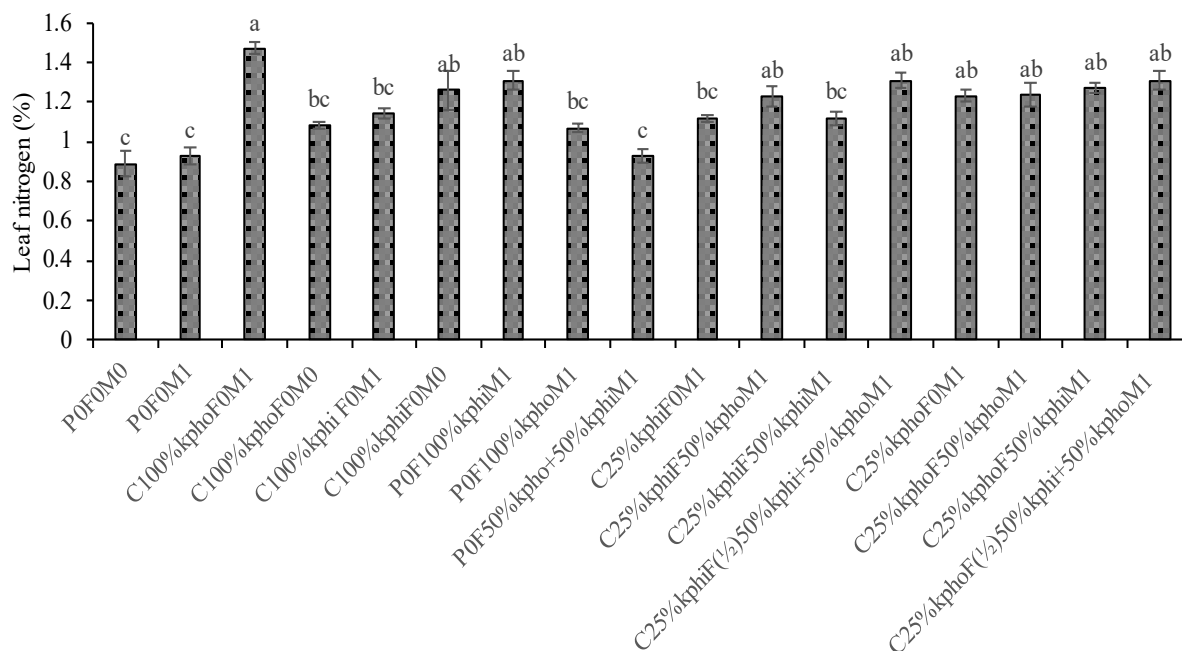
Source of variation	df	Mean squares			
		Leaf nitrogen	Leaf phosphorus	Leaf potassium	Root colonization
Treatment	16	0.099 **	0.0063 **	0.51 **	2373.73 **
Error	51	0.0079	0.00041	0.072	29.99
CV (%)	----	7.62	6.85	12.83	9.28

**: Significant at 1% probability level

عنصر نیتروژن

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد استفاده به ویژه محلول غذایی کامل با فسفات پتاسیم بدون محلول پاشی با میکوریز $C_{100\%}KPhF_0M_1$ منجر به افزایش میزان عنصر نیتروژن برگ شد. کمترین میزان عنصر نیتروژن در شاهد، محلول غذایی بدون فسفر و بدون

محلول پاشی با میکوریز $P_0F_0M_1$ و نیز کاربرد به صورت محلول پاشی ۵۰ درصد فسفیت پتاسیم و ۵۰ درصد فسفات-پتاسیم با میکوریز $(P_0F_{50\%}KPho+50\%KPhiM_1)$ مشاهده شد. بیشترین میزان عنصر نیتروژن با میزان ۱/۴۷ درصد در تیمار محلول غذایی کامل با فسفات پتاسیم بدون محلول-پاشی با میکوریز $C_{100\%}KPhF_0M_1$ مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ۶- تأثیر تیمارهای مختلف فسفر همراه با تلقیح میکوریز بر غلظت نیتروژن برگ در گل رز رقم دولسه ویتا. حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون توکی می‌باشد. (فسفر = P، فسفیت پتاسیم = KPhi، فسفات پتاسیم = KPho، با میکوریز = M1، بدون میکوریز = M0، محلول‌پاشی = F، محلول غذایی = C).

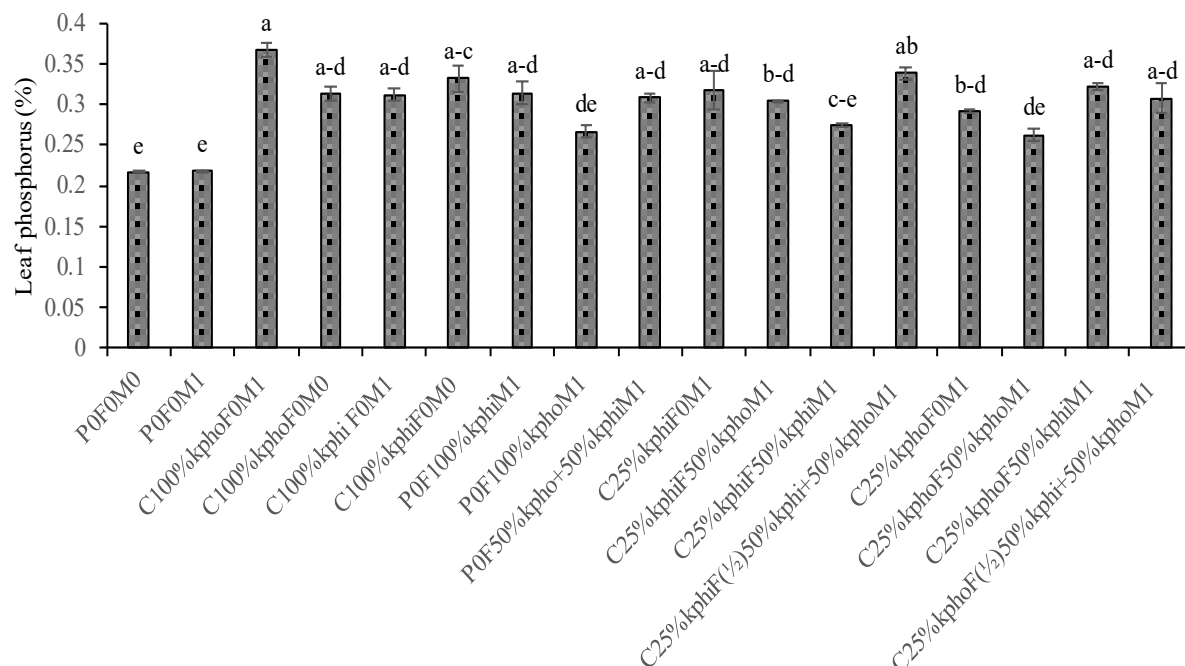
Figure 6. Effect of different phosphorus treatments combined with mycorrhizal inoculation on the leaf nitrogen in rose 'Dolce Vita'.

Different letters indicate significant differences at the 0.01 probability level according to the SNK multiple-range test. (P = Phosphorus, KPhi = Potassium phosphite, KPho = Potassium phosphate, M1 = With mycorrhiza, M0 = Without mycorrhiza, F = Foliar application, C = Nutrient solution).

عنصر فسفر

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد استفاده به ویژه محلول غذایی کامل با فسفات پتاسیم بدون محلول پاشی با میکوریز $C_{100\%}KPhoF_0M_1$ منجر به افزایش میزان عنصر فسفر برگ شدند. کمترین میزان عنصر فسفر (۲۱۷/۰ و ۲۱۸/۰ درصد) به ترتیب در شاهد و نیز در

محلول غذایی بدون فسفر و بدون محلول پاشی با میکوریز $P_0F_0M_1$ مشاهده شد. بیشترین میزان عنصر فسفر با میزان ۳۶۸/۰ درصد در تیمار محلول غذایی کامل با فسفات پتاسیم بدون محلول پاشی با میکوریز $C_{100\%}KPhoF_0M_1$ مشاهده شد (شکل ۷).



شکل ۷- تأثیر تیمارهای مختلف فسفر همراه با تلقیح میکوریز بر غلظت فسفر برگ در گل رز رقم دولسه ویتا. حروف غیرمشابه بیانگر

معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون توکی می باشد.

(فسفر = P، فسفیت پتاسیم = KPhi، فسفات پتاسیم = KPho، با میکوریز = M1، بدون میکوریز = M0، محلولپاشی = F، محلول غذایی = C).

Figure 7. Effect of different phosphorus treatments combined with mycorrhizal inoculation on the leaf phosphorus in rose 'Dolce Vita'.

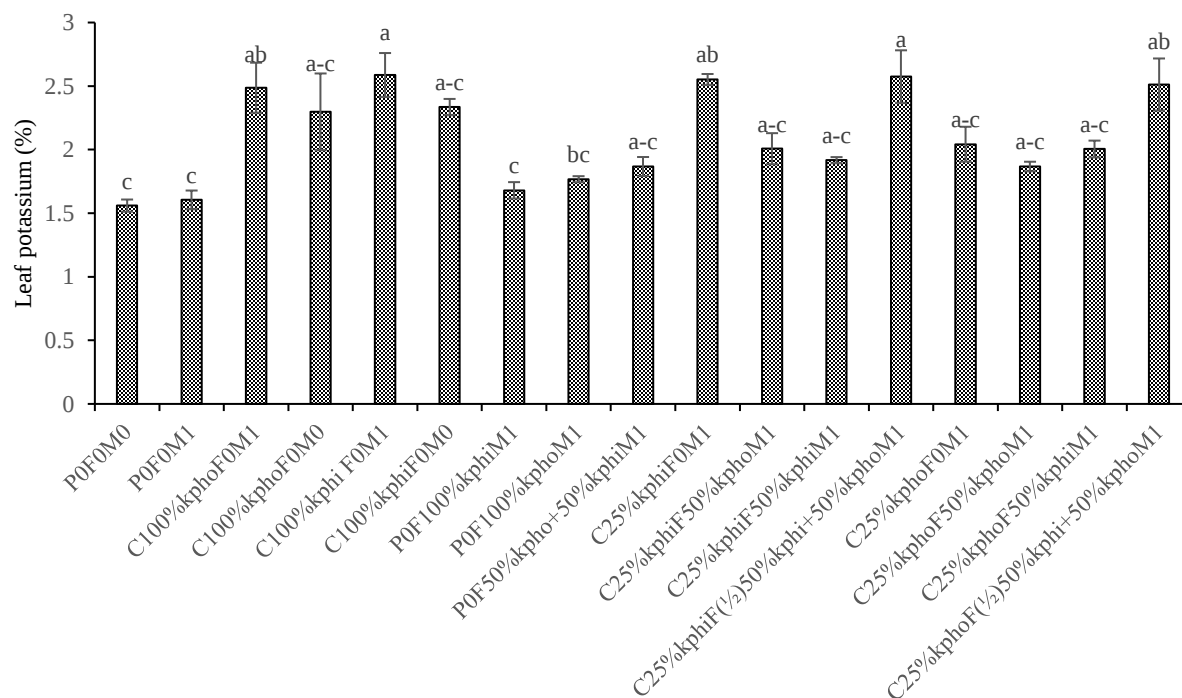
Different letters indicate significant differences at the 0.01 probability level according to the SNK multiple-range test.

(P = Phosphorus, KPhi = Potassium phosphite, KPho = Potassium phosphate, M1 = With mycorrhiza, M0 = Without mycorrhiza, F = Foliar application, C = Nutrient solution).

عنصر پتاسیم

درصد) در شاهد مشاهده شد که با تیمارهای فاقد فسفر (P0F0M1) و (P0F100%KPhiM1) تفاوت معنی داری نداشت، در حالی که بیشترین مقدار (۲/۵۸ درصد) در تیمارهای (C100%KPhi F0M1) و (C25%KPhiF(1/2)50%KPhi+50%KPhoM1) به دست آمد (شکل ۸).

مقایسه میانگین داده ها نشان داد که بیشتر تیمارها، به ویژه تیمار ۲۵ درصد فسفیت پتاسیم در محلول غذایی همراه با محلول پاشی ترکیبی ۵۰:۵۰ فسفات پتاسیم/فسفیت پتاسیم و تلقیح میکوریز (C25%KPhiF(1/2)50%KPhi+50%KPhoM1)، سبب افزایش محتوای پتاسیم برگ شدند. کمترین میزان پتاسیم (۱/۵۶



شکل ۸- تأثیر تیمارهای مختلف فسفر همراه با تلقیح میکوریز بر غلظت پتاسیم برگ در گل رز رقم دولسه ویتا. حروف غیرمشابه بیانگر

معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون توکی می باشد.

(P = فسفر، KPhi = فسفیت پتاسیم، KPho = فسفات پتاسیم، M1 = با میکوریز، M0 = بدون میکوریز، F = محلولپاشی، C = محلول غذایی).

Figure 8. Effect of different phosphorus treatments combined with mycorrhizal inoculation on the leaf potassium in rose 'Dolce Vita'.

Different letters indicate significant differences at the 0.01 probability level according to the SNK multiple-range test.

(P = Phosphorus, KPhi = Potassium phosphite, KPho = Potassium phosphate, M1 = With mycorrhiza, M0 = Without mycorrhiza, F = Foliar application, C = Nutrient solution).

در تیمارهای حاوی فسفر و پتاسیم علاوه بر نقش مستقیم این عناصر، به بهبود فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با جذب و انتقال مواد غذایی نیز مربوط باشد. فسفر با نقش کلیدی در مولکولهای پرانرژی و فسفولیپیدهای غشایی، رشد ریشه و جذب عناصر را تقویت می کند، در حالی که پتاسیم با تنظیم فشار اسمزی و فعال سازی ATPase غشایی، کارایی جذب نیتروژن و سایر عناصر را افزایش می دهد. همزمان تأمین این دو عنصر موجب بهبود تعادل تغذیه ای و راندمان متابولیک گیاه شده و در نهایت غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ را افزایش می دهد (Naciri *et al.*, 2022).

یکی از مهم ترین اثرات قارچ های میکوریز، بهبود جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر است. مطالعات متعدد نشان داده اند که این قارچ ها موجب افزایش جذب عناصر پرمصرفی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و گوگرد و

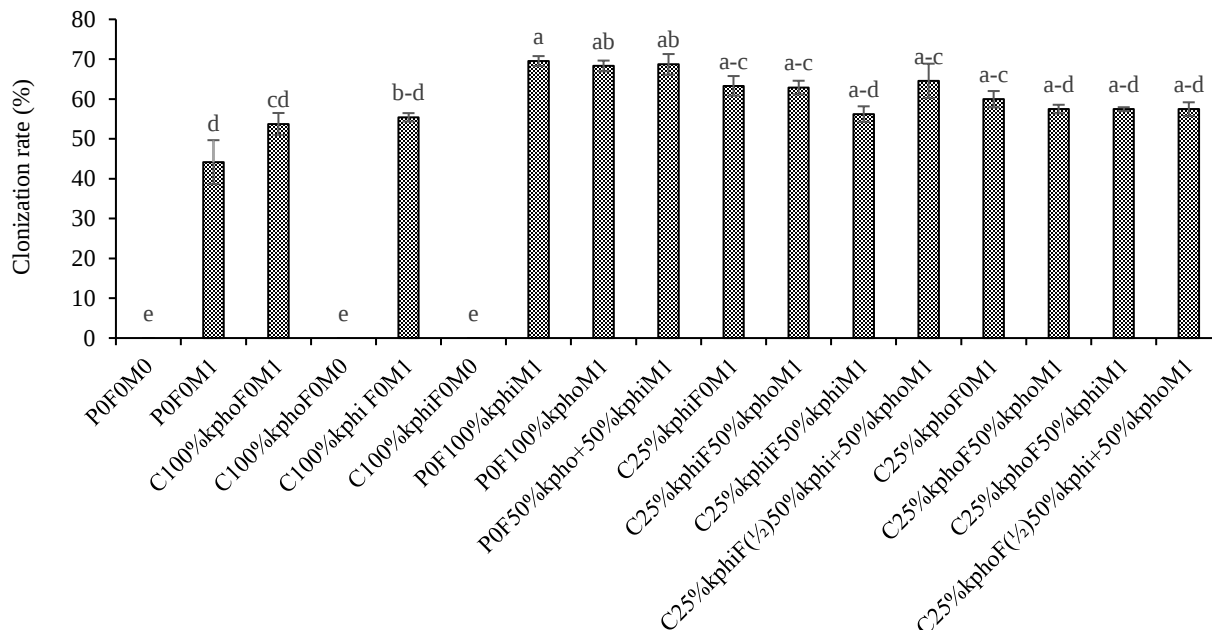
نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد فسفات پتاسیم و ترکیب فسفات پتاسیم + فسفیت پتاسیم موجب افزایش غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ های رز شاخه بریده شد. بنابراین، افزودن فسفیت پتاسیم به فسفات پتاسیم تأثیر مثبتی بر وضعیت تغذیه ای گیاه دارد. این یافته با گزارش های کنستان-اگویار و همکاران (Constán- Aguilar *et al.*, 2014) و استرادا-اورتیز و همکاران (Estrada-Ortiz *et al.*, 2016) مطابقت دارد. همچنین زامبروسی و همکاران (Zambrosi *et al.*, 2017) بیان کردند که فسفیت پتاسیم با تحریک جذب نیتروژن و افزایش غلظت فسفر بافتی، وضعیت تغذیه ای گیاه را بهبود می بخشد که این امر ناشی از تحرک بیشتر فسفیت پتاسیم و جذب آن توسط ناقل های فسفر است (Gómez-Merino & Trejo- Téllez, 2016). به نظر می رسد افزایش غلظت عناصر غذایی

گیاه را تقویت کند. میکوریز با توسعه هیف‌ها و فعالیت فسفاتاز جذب فسفر را افزایش می‌دهد، در حالی که فسفیت پتاسیم با تحریک مسیرهای دفاعی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کارایی استفاده از عناصر غذایی را بالا می‌برد و در نهایت منجر به بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود.

درصد کلونیزاسیون ریشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارهای فسفر و تلقیح میکوریز بر درصد کلونیزاسیون ریشه رز رقم دولسه ویتا در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۸). بیشترین کلونیزاسیون (حدود ۵۳/۶۹ درصد) در تیمار محلول غذایی بدون فسفر همراه با محلول پاشی ۱۰۰ درصد فسفیت پتاسیم و تلقیح میکوریز ($P_0F_{100\%}KPhiM_1$) مشاهده شد که با تیمارهای مشابه حاوی فسفات پتاسیم یا ترکیب ۵۰:۵۰ فسفات/فسفیت و نیز برخی تیمارهای دیگر با حدود ۶۰-۶۸ درصد کلونیزاسیون اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان (صفر درصد) مربوط به تیمارهای بدون میکوریز بود. در مقابل، تیمار $P_0F_0M_1$ (فاقد فسفر اما با میکوریز) حدود ۴۵ درصد کلونیزاسیون نشان داد که بیانگر نقش کلیدی میکوریز حتی در شرایط کمبود فسفر است. به‌طور کلی، حضور میکوریز عامل اصلی کلونیزاسیون بود، اما نوع و منبع فسفر و شیوه کاربرد آن (محلول غذایی یا محلول پاشی) شدت کلونیزاسیون را تعدیل کرد (شکل ۹). شکل ۱۰ نمایی از کلونیزاسیون ریشه را نشان می‌دهد.

همچنین ریزمغذی‌هایی چون آهن، روی و مس می‌شوند. توسعه هیف‌های قارچی سطح تماس با خاک و طول مؤثر ریشه را افزایش داده و در نتیجه ظرفیت جذب عناصر را بهبود می‌بخشد (Javaid, 2009). علاوه بر این، قارچ‌های میکوریز با ترشح اسیدهای آلی نظیر اگزالات، فسفر تثبیت‌شده در ترکیبات کلسیم، آهن و آلومینیوم را آزاد کرده و آن را برای گیاه قابل جذب می‌سازند (Liu *et al.*, 2021). یکی از مهم‌ترین اثرات قارچ‌های میکوریز، افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر است. مطالعات نشان داده‌اند که نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، گوگرد و ریزمغذی‌هایی مانند آهن، روی و مس از طریق همزیستی با میکوریز بهتر جذب و به گیاه منتقل می‌شوند. توسعه هیف‌های قارچی با افزایش سطح تماس با خاک و طول مؤثر ریشه، ظرفیت جذب عناصر را بهبود می‌بخشد (Javaid, 2009). همچنین، ترشح اسیدهای آلی نظیر اگزالات و آنزیم فسفاتاز توسط میکوریز موجب آزادسازی و حلالیت فسفر تثبیت‌شده و تبدیل آن به فرم قابل جذب برای گیاه می‌شود (Liu *et al.*, 2021; An *et al.*, 2022). مزایای این همزیستی علاوه بر افزایش مستقیم جذب عناصر، شامل تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه، افزایش جذب آب، بهبود فتوسنتز و در نتیجه افزایش زیست‌توده اندام‌های هوایی است (Bhupenchandra *et al.*, 2024; Busso & Busso, 2022). برخی گونه‌های میکوریز نیز با ترشح اسیدهای کلات‌کننده، دسترسی به عناصر غذایی را بیشتر می‌کنند. علاوه بر این، هم‌افزایی میان میکوریز و کودهای فسفات پتاسیم و فسفیت پتاسیم می‌تواند وضعیت تغذیه‌ای

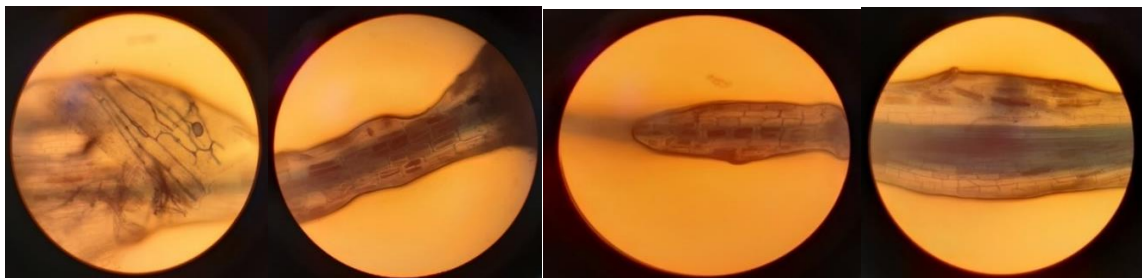


شکل ۹- تأثیر تیمارهای مختلف فسفر همراه با تلقیح میکوریز بر میزان کلونیزاسیون ریشه در گل رز رقم دولسه ویتا. حروف غیر مشابه بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون توکی می باشد.

(C= محلول غذایی، F= محلولپاشی، M0= بدون میکوریز، M1= با میکوریز، KPho= پتاسیم، فسفات KPhi= پتاسیم، فسفیت P، فسفر=)

Figure 9. Effect of different phosphorus treatments combined with mycorrhizal inoculation on root colonization in rose 'Dolce Vita'.

Different letters indicate significant differences at the 0.01 probability level according to the SNK multiple-range test. (P = Phosphorus, KPhi = Potassium phosphite, KPho = Potassium phosphate, M1 = With mycorrhiza, M0 = Without mycorrhiza, F = Foliar application, C = Nutrient solution).



شکل ۱۰- تصویری از ریشه گل رز در واکنش به تلقیح میکوریز.

Figure 10. Representative image of rose roots in response to mycorrhizal inoculation.

به دلیل جذب محدود در متابولیسم فسفر، وضعیتی مشابه کمبود فسفر ایجاد می کند و در نتیجه ترشح سیگنال های ریشه ای نظیر استریگولاکتون ها را افزایش می دهد؛ این ترکیبات رشد و توان عفونی هیف های میکوریز را تقویت می کنند (Madrid-Delgado *et al.*, 2021). علاوه بر این، پتاسیم موجود در این ترکیب با ارتقای رشد و توسعه ریشه، سطح تماس بیشتری برای نفوذ قارچ فراهم می سازد (Jones *et al.*, 2025). برعکس، کاربرد فسفات پتاسیم

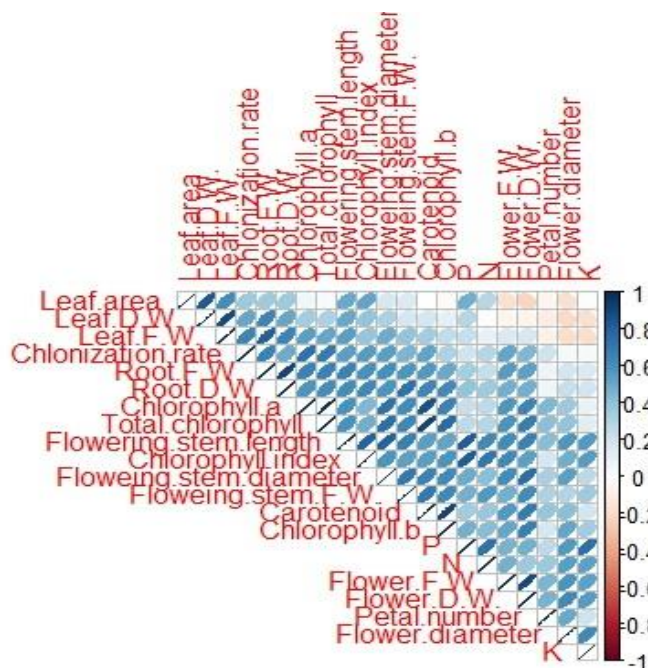
نتایج شکل ۹ نشان داد که حضور قارچ آربسکولار میکوریزا عامل اصلی در وقوع کلونیزاسیون ریشه رز رقم دولسه ویتا بود، به طوری که در تمامی تیمارهای بدون تلقیح، کلونیزاسیون صفر بود. در تیمارهای میکوریزدار، شدت کلونیزاسیون به طور معنی داری تحت تأثیر منبع و روش کاربرد فسفر قرار گرفت. بیشترین کلونیزاسیون در تیمار POF100%KPhiM1 مشاهده شد که این امر به ویژگی های منحصر به فرد فسفیت پتاسیم نسبت داده می شود. فسفیت

به‌تنهایی موجب سرکوب کامل کلونیزاسیون شد، زیرا فسفات معدنی با تأمین سریع فسفر نیاز گیاه به همزیستی را کاهش داده و سیگنال‌دهی همزیستی را مهار می‌کند (Balzergue *et al.*, 2013). با این حال، زمانی که فسفات در حضور میکوریز و همراه با فسفیت مصرف شد، کلونیزاسیون در سطح بالاتری حفظ شد که نشان‌دهنده نقش هم‌افزای فسفیت در تقویت سیگنال‌های همزیستی حتی در شرایط فسفر نسبی است. تیمار $P_0F_0M_1$ نیز با وجود فقدان فسفر، حدود ۴۵ درصد کلونیزاسیون ایجاد کرد که بیانگر توان میکوریز در آزادسازی فسفر نامحلول و ترشح فسفات‌های اسیدی برای تأمین نیاز گیاه است (Qi *et al.*, 2022). در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که ترکیب فسفیت پتاسیم و میکوریز می‌تواند در شرایط محدودیت فسفر به‌عنوان یک راهبرد کارآمد برای افزایش کلونیزاسیون ریشه عمل کند، در حالی که کاربرد بیش از حد فسفات معدنی بدون تلقیح، همزیستی را به‌طور کامل سرکوب می‌نماید (Debasis *et al.*, 2021).

آنالیزهای همبستگی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نقشه حرارتی

همبستگی مثبت و قوی بین پارامترهای کلیدی رشد مانند سطح برگ، وزن تر ریشه، وزن تر گل، طول ساقه گل و محتوای کلروفیل مشاهده شد که بیانگر تعامل هماهنگ بین رشد سیستم هوایی و زیرزمینی گیاه و کارایی فتوسنتز است. به‌ویژه، ارتباط قوی بین سطح برگ و وزن تر ریشه، نشان‌دهنده رابطه سینرژیستیک بین توسعه برگ و ریشه است که می‌تواند ناشی از افزایش جذب آب و عناصر غذایی و عملکرد بهتر سیستم ریشه باشد. همچنین روابط مثبت و قوی بین رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل کل، کلروفیل a و b) و شاخص‌های رشد رویشی و زینتی مشاهده شد که حاکی از هماهنگی رشد برگ‌ها و تولید گل و نقش برگ‌ها به عنوان منبع کربوهیدرات برای رشد گل است. ارتباط مثبت قوی بین درصد کلونیزاسیون ریشه و وزن تر و خشک ریشه و همچنین میزان کلروفیل نشان می‌دهد که قارچ‌های میکوریز به‌طور مؤثری رشد ریشه و جذب عناصر غذایی را

افزایش می‌دهند و در نتیجه عملکرد فتوسنتزی برگ‌ها بهبود می‌یابد. این یافته‌ها نقش یکپارچه میکوریز در هماهنگی رشد زیرزمینی و رویشی و ارتقای توانایی گیاه برای تولید گل را تأکید می‌کنند. همبستگی‌های منفی، اگرچه کمتر مشاهده شد، می‌تواند نشان‌دهنده توزیع منابع محدود گیاه بین رشد رویشی و زایشی یا اثرات متقابل برخی فرآیندهای فیزیولوژیک باشند (شکل ۱۱). تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که دو مؤلفه اول به ترتیب ۴۹/۴ درصد و ۱۶/۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توضیح می‌دهند و در مجموع ۶۶/۳ درصد از واریانس را پوشش می‌دهند که نشان‌دهنده توان بالای PCA در جداسازی تیمارها و تبیین تغییرات ناشی از مصرف فسفیت، فسفات و میکوریز است. بردارهای قرمز نمایانگر صفات اندازه‌گیری شده هستند و جهت و طول آنها میزان و نوع تأثیر هر صفت در تفکیک تیمارها را نشان می‌دهد. به‌طور خاص، صفاتی نظیر قطر گل، طول و قطر ساقه گل‌دهنده، کلروفیل b ، کاروتنوئید و وزن خشک گل، بیشترین همبستگی مثبت را با تیمارهای ترکیبی شامل فسفیت و فسفات پتاسیم همراه با میکوریز داشتند که نشان‌دهنده اثر قابل توجه این ترکیبات در بهبود رشد رویشی و شاخص‌های کیفی گل است. در مقابل، صفاتی مانند سطح برگ، وزن خشک و وزن تر ریشه بیشتر با تیمارهای دارای فسفر کم یا بدون میکوریز و مرتبط بودند که بیانگر محدودیت رشد و عملکرد گیاه در شرایط کمبود فسفر یا عدم همزیستی میکوریز است. همچنین، هم‌راستایی بردارها نشان داد که صفات فتوسنتزی مانند کلروفیل کل به‌طور همزمان با صفات مورفولوژیک گل افزایش می‌یابند و بدین ترتیب ارتباط تنگاتنگ بین بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی و رشد رویشی و کیفیت گل مشخص شد. به‌طور کلی، نتایج PCA تأیید کرد که تیمارهای ترکیبی فسفیت، فسفات و میکوریز، به‌ویژه $C_{25}\%KPhiF(\frac{1}{2})_{50}\%KPhi+_{50}\%KPhoM_1$ ، بیشترین همبستگی مثبت را با صفات کلیدی داشته و بهترین عملکرد را نشان دادند، در حالی که تیمارهای فاقد فسفر و میکوریز در ناحیه مخالف مؤلفه‌ها قرار گرفته و کم‌ترین عملکرد را داشتند (شکل ۱۲).

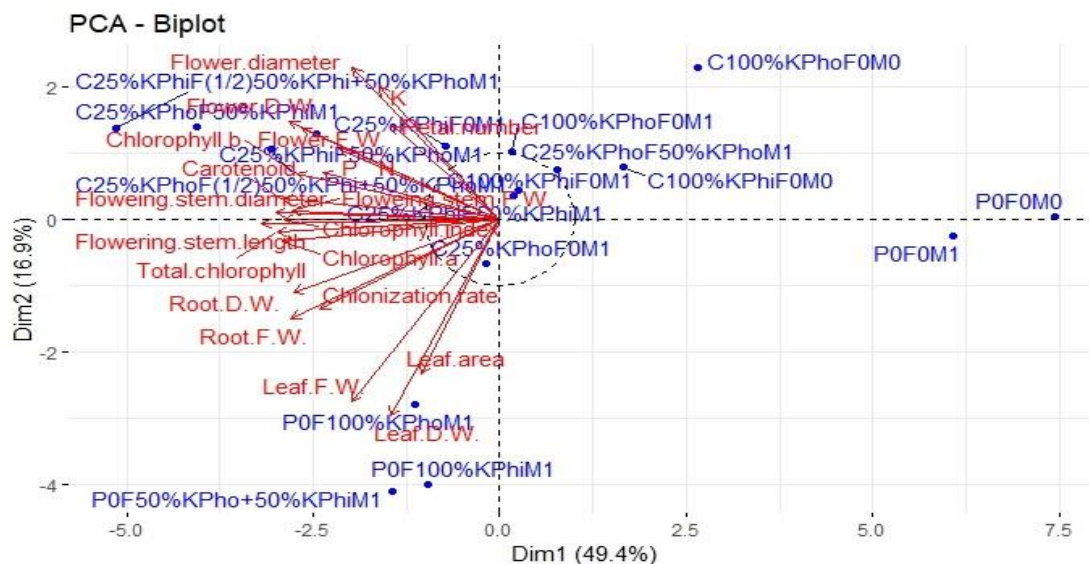


۱۱- نمودار همبستگی پیرسون بین صفات مورفوفیزیولوژیک، محتوای عناصر برگ و کلونیزاسیون ریشه در رز رقم دولسه ویتا. شکل

بیضی‌های کشیده نشان‌دهنده همبستگی قوی و بیضی‌های گرد نشان‌دهنده همبستگی ضعیف بین صفات هستند.

Figure 11. Pearson correlation plot of morphophysiological traits, leaf mineral contents and root colonization of cut rose cv. Dolce Vita.

Elongated ellipses indicate strong correlations, while more circular ellipses represent weak correlations between the measured traits.



۱۲- تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای صفات مورفوفیزیولوژیک و محتوای عناصر برگ رز شاخه‌بریده رقم دولسه ویتا. بردارهای قرمز

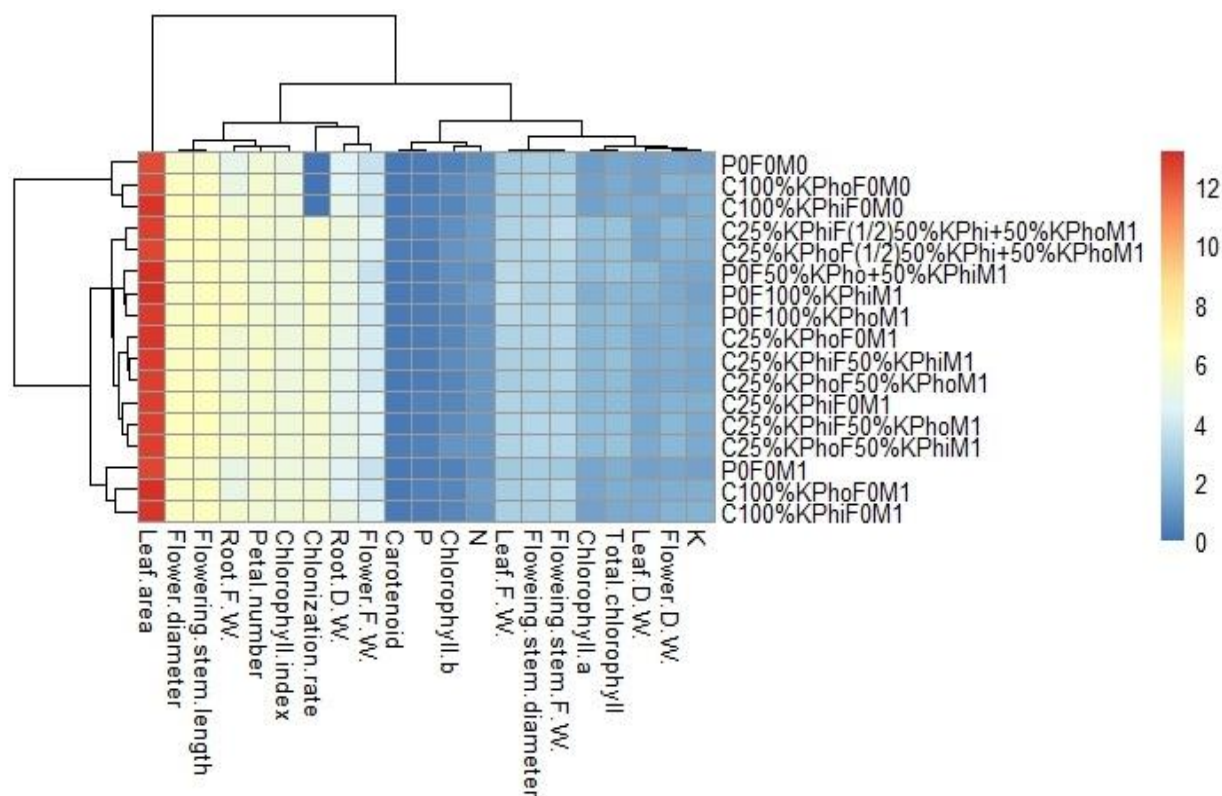
نمایانگر صفات اندازه‌گیری شده هستند و جهت و طول آنها میزان و نوع تأثیر هر صفت در تفکیک تیمارها را نشان می‌دهد.

Figure 12. Principal component analysis (PCA) of morphophysiological traits and leaf mineral contents of cut rose cv. Dolce Vita.

Red vectors represent the measured traits, with their direction and length indicating the magnitude and type of influence on treatment separation.

نتیجه تحریک سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی نشان می‌دهد. از سوی دیگر، وزن خشک ریشه و وزن خشک گل در خوشه‌ای مجزا قرار گرفتند که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این صفات به فسفر و تعامل آن با میکوریز نسبت به سایر شاخص‌ها بود. به‌طور کلی، نتایج نقشه حرارتی نشان داد که تیمارهای ترکیبی فسفیت و فسفات پتاسیم همراه با میکوریز، بیشترین اثر مثبت را بر رشد رویشی و گلدهی گیاه داشتند. در مقابل، تیمارهای فاقد فسفر یا فاقد میکوریز مانند $P_0F_0M_0$ کمترین کارایی را نشان دادند. بنابراین، این نتایج بر اهمیت اثر هم‌افزایی میان فسفیت، فسفات و میکوریز در بهبود رشد و کیفیت رز شاخه‌بریده تأکید می‌کنند (شکل ۱۳).

تحلیل آنالیز نقشه حرارتی نشان داد که تیمارهای مختلف فسفیت و فسفات پتاسیم، به‌ویژه در حضور میکوریز، اثرات متمایزی بر صفات مورفوفیزیولوژیک رز شاخه‌بریده رقم دولسه ویتا داشتند. در این میان، صفاتی مانند سطح برگ، طول ساقه گل‌دهنده و قطر ساقه گل‌دهنده بیشترین افزایش را در تیمارهای حاوی میکوریز همراه با مقادیر بیشتر فسفیت نشان دادند. این الگو بیانگر وجود یک اثر هم‌افزایی قوی میان میکوریز و منابع فسفر در بهبود رشد رویشی و ارتقای کیفیت گل بود. علاوه بر این، صفاتی نظیر کلروفیل‌های a ، b ، کلروفیل کل و محتوای کاروتنوئید در تیمارهای ترکیبی فسفیت و میکوریز در مقایسه با تیمارهای بدون میکوریز به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. این موضوع نقش میکوریز را در افزایش جذب فسفر و پتاسیم و در



شکل ۱۳- نقشه حرارتی صفات مورفوفیزیولوژیک و محتوای عناصر برگ رز شاخه‌بریده رقم دولسه ویتا تحت تیمارهای مختلف فسفیت و فسفات پتاسیم با و بدون میکوریز. رنگ‌های گرم نشان‌دهنده مقادیر بیشتر و رنگ‌های سرد نشان‌دهنده مقادیر کمتر صفات هستند.

Figure 13. Heatmap of morphophysiological traits and leaf mineral contents of cut rose cv. Dolce Vita under different potassium phosphite and phosphate treatments with or without mycorrhiza. Warm colors indicate higher values, while cool colors indicate lower values of the measured traits.

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های این مطالعه نشان داد که کاربرد فسفات پتاسیم، فسفیت پتاسیم و تلفیق قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، به‌ویژه در تیمارهای تلفیقی، تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود عملکرد مورفوفیزیولوژیک رز شاخه‌بریده رقم دولسه‌ویتا در شرایط کشت بدون خاک دارد. این تیمارها موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی شامل تعداد و سطح برگ، وزن تر و خشک برگ‌ها، طول ساقه گل‌دهنده و قطر گل شدند که نشان‌دهنده ارتقاء ظرفیت رشد و کیفیت محصول نهایی است. از منظر فیزیولوژیک، تیمارها به‌طور قابل‌توجهی سطح کلروفیل a و b ، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها را افزایش دادند و بدین ترتیب ظرفیت فتوسنتزی گیاه تقویت شد. استفاده

همزمان از فسفات و فسفیت پتاسیم به همراه تلفیق میکوریز، جذب عناصر غذایی کلیدی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم را بهبود بخشید و درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها در تیمارهای میکوریزایی زیاد بود که نشان‌دهنده تعامل مؤثر بین قارچ و ریشه و تقویت شبکه ریشه‌ای است. در مجموع، نتایج این پژوهش تأکید می‌کند که ترکیب فسفات پتاسیم، فسفیت پتاسیم و میکوریز می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد پایدار و کارآمد برای ارتقاء رشد و کیفیت گل رز شاخه‌بریده در سیستم کشت بدون خاک مورد بهره‌برداری قرار گیرد. مطالعات آینده می‌تواند بر بهینه‌سازی غلظت‌ها و نسبت‌های فسفات و فسفیت پتاسیم و بررسی اثرات طولانی‌مدت میکوریز بر کیفیت و ماندگاری گل‌ها متمرکز شود.

Reference

- Ahmed, C. A. (2024). Effects of mycorrhiza inoculation and seaweed extracts on the growth and flowering of *Zinnia elegans* L. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1371(4), 04012.
- Alihaji-Qamsari, M., Khoshshokhan-Mozaffar, M., Razavian, S. M. H., & Vatankhah, E. (2025). Foliar application of potassium nitrate and dihydrogen ammonium phosphate on essential oil composition and antioxidant activity in *Rosa damascena* Mill. *Journal of Plant Nutrition*, 48(11), 1901-1916.
- An, X., Liu, J., Liu, X., Ma, C., & Zhang, Q. (2022). Optimizing phosphorus application rate and the mixed inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria can improve the phosphatase activity and organic acid content in alfalfa soil. *Sustainability*, 14(18), 11342.
- Antoniou, O., Chrysargyris, A., Xylia, P., & Tzortzakis, N. (2021). Effects of selenium and/or arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on strawberry grown in hydroponic trial. *Agronomy*, 11(4), 721.
- Asadi, M., Rasouli, F., Amini, T., Hassanpouraghdam, M. B., Souri, S., Skrovankova, S., & Ercisli, S. (2022). Improvement of photosynthetic pigment characteristics, mineral content, and antioxidant activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) by arbuscular mycorrhizal fungus and seaweed extract foliar application. *Agronomy*, 12(8), 1943.
- Atrash, S., Shamili, M., Mirzaalian Dastjerdi, A., & Goudarzi, A. (2023). The impact of potassium phosphite on growth parameters and antioxidant activities of sour orange (*Citrus aurantium* L.) in response to salinity. *Plant Process and Function*, 13(59), 123-143. (in Persian with English Abstract).
- Abdoolnabi Bagheri Balzergue, C., Chabaud, M., Barker, D., Bécard, G., & Rochange, S. (2013). High phosphate reduces host ability to develop arbuscular mycorrhizal symbiosis without affecting root calcium spiking responses to the fungus. *Frontiers in Plant Science*, 4, 426.
- Bhupenchandra, I., Chongtham, S. K., Devi, A. G., Dutta, P., Sahoo, M. R., Mohanty, S., & Swapnil, P. (2024). Unlocking the potential of arbuscular mycorrhizal fungi: exploring role in plant growth promotion, nutrient uptake mechanisms, biotic stress alleviation, and sustaining agricultural production systems. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-39.
- Bianciotto, V., Victorino, I., Scariot, V., & Berruti, A. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: Current role and potential for the horticulture industry. *Acta Horticulturae*, 1191(1191), 207-216.
- Biermann, B., & Linderman, R. G. (1981). Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: a proposed method towards standardization. *New Phytologist*, 87(1), 63-67.
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., & Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: A review. *Biological Agriculture and Horticulture*, 31(1), 1-17.

- Busso, M. A., & Busso, M. B. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi and common mycorrhizal networks benefit plants through morphological, physiological and productive traits and soil quality. *Lilloa*, 59(2), 301-317.
- Constán-Aguilar, C., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Camacho, M. A., Romero, L., Ruiz, J. M., & Blasco, B. (2014). Physiological and nutritional evaluation of the application of phosphite as a phosphorus source in cucumber plants. *Communication of Soil Science and Plant Analysis*, 45(2), 204–222.
- Conversa, G., Bonasia, A., Lazzizzera, C., & Elia, A. (2015). Influence of biochar, mycorrhizal inoculation, and fertilizer rate on growth and flowering of *Pelargonium* (*Pelargonium zonale* L.) plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, 429.
- Debasis, M., Valizadeh Rad, K., Chaudhary, P., Ruparelia, J., Sagarika, M. S., Boutaj, H., Das Mohapatra, P. K., & Panneerselvam, P. (2021). Involvement of strigolactone hormone in root development, influence and interaction with mycorrhizal fungi in plant: Mini-review. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100026.
- Demir, S. (2004). Influence of arbuscular mycorrhizal on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*, 28, 85-90.
- Edwards, L., O'Rear, B., Musso, K., Moore, R., Kessler, J. R., Williams, D., Behe, B., Cobb, P., Hagan, A., Sheffer, K., Shumack, R., & Stritkus, G. (2021). Growing Roses (ANR-0157). Alabama Cooperative Extension System.
- El-Naggar, A., & El-Nasharty, B. (2016). Effect of potassium fertilization on growth, flowering, corms production and chemical contents of *Gladiolus hybrida*, L. Cv. Alexandria. *Science Exchange Journal*, 37, 714-728.
- Estrada-Ortiz, E., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Núñez-Escobar, R., & Sandoval-Villa, M. (2012). Phosphite on growth and fruit quality in strawberry. *Acta Horticulturae*, 947, 277-282.
- Glinicki, R., Sas-Paszt, L., & Jadczyk-Tobjasz, E. (2010). The effect of plant stimulant/fertilizer "resistim" on growth and development of strawberry plants. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 18(1), 111-124.
- Gómez-Merino, F. C., Gómez-Trejo, L. F., Ruvalcaba-Ramírez, R., & Trejo-Téllez, L. I. (2022). Application of phosphite as a biostimulant in agriculture. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 135-153). Elsevier.
- Gómez-Merino, F. C., & Trejo-Téllez, L. I. (2015). Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 82-90.
- Gómez-Merino, F. C., & Trejo-Téllez, L. I. (2016). Conventional and novel uses of phosphite in horticulture: potentialities and challenges. *Italus Hortus*, 23, 1–13.
- Havlin, J. L., & Schlegel, A. J. (2021). Review of phosphite as a plant nutrient and fungicide. *Soil Systems*, 5(3), 52.
- Iqbal, A., Gui, H., Zheng, C., Wang, X., Zhang, X., Song, M., & Ma, X. (2025). Phosphorus supplementation enhances growth and antioxidant defense against cadmium stress in cotton. *Antioxidants (Basel)*, 14(6), 686.
- Jackson, M. L. (1973). *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall of India.
- Javaid, A. (2009). Arbuscular mycorrhizal mediated nutrition in plants. *Journal of Plant Nutrition*, 32, 1595-1618.
- Jones, A. P., Kafle, A., Rose, B. D., Dutta, S., Vann, R., Bücking, H., & Garcia, K. (2025). The external potassium availability determines the effect of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* on salinity tolerance in soybeans. *Symbiosis*, 96, 199-212.
- Jones, J. B. (2001). *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis* (1st ed.). CRC Press.
- Kay, H., Bernie, D., & Giles, H. E. (2000). Phosphite and mycorrhizal formation in seedlings of three Australian Myrtaceae. *Australian Journal of Botany*, 48, 725-729.
- Keles, B., & Ertürk, Y. (2021). Advantages of microorganism containing biological fertilizers and evaluation of their use in ornamental plants. *International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences*, 5(2), 189-197.

- Khan, Y., Shah, S., & Tian, H. (2022). The roles of arbuscular mycorrhizal fungi in influencing plant nutrients, photosynthesis, and metabolites of cereal crops—A review. *Agronomy*, 12(9), 2191.
- Koch, H., & Sessitsch, A. (2024). The microbial-driven nitrogen cycle and its relevance for plant nutrition. *Journal of Experimental Botany*, 75(18), 5547-5556.
- Koyukan, B., Ekim-Leventoglu, R., Turgut, A., Arian-Abdulveli, B., Yildiztugay, E., & Ozfidan-Konakci, C. (2025). New insights into the responses of phosphite, as a plant biostimulator, on PSII photochemistry, gas exchange, redox state and antioxidant system in maize plants under boron toxicity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 221, 109605.
- Kwon, S. J., Kim, H. R., Roy, S. K., Kim, H. J., Boo, H. O., Woo, S. H., & Kim, H. H. (2019). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on growth characteristics of two species of bellflower (*Platycodon grandiflorum*). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22, 481-487.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
- Liu, Y., Zhang, G., Luo, X., Hou, E., Zheng, M., Zhang, L., He, X., Shen, W., & Wen, D. (2021). Mycorrhizal fungi and phosphatase involvement in rhizosphere phosphorus transformations improves plant nutrition during subtropical forest succession. *Soil Biology and Biochemistry*, 153, 108099.
- Lovatt, C. J., & Mikkelsen, R. L. (2006). Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do. *Better Crops*, 90(4), 11-13.
- Ma, Q., Wang, X., Yuan, W., Tang, H., & Luan, M. (2021). The optimal concentration of KH_2PO_4 enhances nutrient uptake and flower production in rose plants via enhanced root growth. *Agriculture*, 11(12), 1210.
- Madrid-Delgado, G., Orozco-Miranda, M., Cruz-Osorio, M., Hernández-Rodríguez, O. A., Rodríguez-Heredia, R., Roa-Huerta, M., & Avila-Quezada, G. D. (2021). Pathways of Phosphorus Absorption and Early Signaling between the Mycorrhizal Fungi and Plants. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 90(5), 1321-1338.
- Markwell, J., Osterman, J. C., & Mitchell, J. L. (1995). Calibration of the Minolta SPAD 502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis Research*, 46, 467-472.
- Martínez, S. (2016). Effects of combined application of potassium phosphite and fungicide on stem and sheath disease control, yield, and quality of rice. *Crop Protection*, 89, 259-264.
- Meng, X., Chen, W. W., Wang, Y. Y., Huang, Z. R., Ye, X., Chen, L. S., & Yang, L. T. (2021). Effects of phosphorus deficiency on the absorption of mineral nutrients, photosynthetic system performance and antioxidant metabolism in *Citrus grandis*. *PLOS One*, 16(2), e0246944.
- Mohammed, U., Davis, J., Rossall, S., Swarup, K., Czyzewicz, N., Bhosale, R., Foulkes, J., Murchie, E. H., & Swarup, R. (2022). Phosphite treatment can improve root biomass and nutrition use efficiency in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1017048.
- Mortimer, P. E., Pérez-Fernández, M. A., & Valentine, A. J. (2008). The role of arbuscular mycorrhizal colonization in the carbon and nutrient economy of the tripartite symbiosis with nodulated *Phaseolus vulgaris*. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(5), 1019-1027.
- Mulvaney, R. L. (1996). Nitrogen - inorganic forms. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3—Chemical Methods* (pp. 1123-1184). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
- Naciri, R., Rajib, W., Chtouki, M., Zeroual, Y., & Oukarroum, A. (2022). Potassium and phosphorus content ratio in hydroponic culture affects tomato plant growth and nutrient uptake. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 28(4), 763-774.
- Noraldeen, S., Mustafa, S., & Ahmed, A. (2023). Response of three kinds of winter ornamental plants to mycorrhiza fungus. *Tikrit Journal for Agricultural Sciences*, 23(2), 62-71.
- Park, S. H., Kang, B. R., Kim, J., Lee, Y., Nam, H. S., & Lee, T. K. (2024). Enhanced soil fertility and carbon dynamics in organic farming systems: the role of arbuscular mycorrhizal fungal abundance. *Journal of Fungi*, 10(9), 598.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158-161.

- Popescu, G. C., & Popescu, M. (2022). Role of combined inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi, as a sustainable tool, for stimulating the growth, physiological processes, and flowering performance of lavender. *Sustainability*, 14(2), 951.
- Qi, S., Wang, J., Wan, L., Dai, Z., da Silva Matos, D. M., Du, D., Egan, S., Bonser, S. P., Thomas, T., & Moles, A. T. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorous uptake and allocation strategies of *Solidago canadensis* in a phosphorous-deficient environment. *Frontiers in Plant Science*, 13, 831654.
- Rossall, S., Qing, C., Paneri, M., Bennett, M., & Swarup, R. (2015). A 'growing' role for phosphites in promoting plant growth and development. In *II World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture*, 1148, 61-68.
- Rydlová, J., & Püschel, D. (2020). Arbuscular mycorrhiza, but not hydrogel, alleviates drought stress of ornamental plants in peat-based substrate. *Applied Soil Ecology*, 146, 103394.
- Sun, J., Jia, Q., Li, Y., Zhang, T., Chen, J., Ren, Y., & Fu, S. (2022). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar on growth, nutrient absorption, and physiological properties of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Fungi*, 8(12), 1275.
- Sun, J., Yang, L., Yang, X., Wei, J., Li, L., Guo, E., & Kong, Y. (2021). Using spectral reflectance to estimate the leaf chlorophyll content of maize inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under water stress. *Frontiers in Plant Science*, 12, 646173.
- Tambascio, C., Covacevich, F., Lobato, M. C., Lasa, C. de, Caldiz, D., Dosio, G., & Andreu, A. (2014). The application of k phosphites to seed tubers enhanced emergence, early growth and mycorrhizal colonization in potato (*Solanum tuberosum*). *American Journal of Plant Sciences*, 05(01), 132–137.
- Turhan, A. (2021). Interactive effects of boron stress and mycorrhizal (AMF) treatments on tomato growth, yield, leaf chlorophyll and boron accumulation, and fruit characteristics. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(14), 1974-1985.
- Varadarajan, D. K., Karthikeyan, A. S., Matilda, P. D., & Raghothama, K. G. (2002). Phosphite, an analog of phosphate, suppresses the coordinated expression of genes under phosphate starvation. *Plant Physiology*, 129(3), 1232-1240.
- Vedenicheva, N., & Kosakivska, I. (2023). In search of the phytohormone functions in Fungi: cytokinins. *Fungal Biology Reviews*, 45, 100309.
- Vosnjak, M., Likar, M., & Osterc, G. (2021). The effect of mycorrhizal inoculum and phosphorus treatment on growth and flowering of *Ajania* (*Ajania pacifica* (Nakai) Bremer et Humphries) plant. *Horticulturae*, 7(7), 178.
- Waling, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G., & Van der lee, J. J. (1989). *Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi. Part 7, Plant analysis procedures* (pp. 197-200). Wageningen Agriculture University.
- Zambrosi, F. C. B., Mesquita, G. L., Menino, G., Tanaka, F. A., Mattos, D., & Quaggio, J. A. (2017). Anatomical and ultrastructural damage to citrus leaves from phosphite spray depends on phosphorus supply to roots. *Plant Soil*, 418(1-2), 557-569.
- Zhu, B., Gao, T., Zhang, D., Ding, K., Li, C., & Ma, F. (2022). Functions of arbuscular mycorrhizal fungi in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 303, 111219.