



<https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en>

IRANIAN JOURNAL OF PLANT BIOLOGY

E-ISSN: 2322-2204

Vol. 14, Issue, No. 2, Summer 2022

Document Type: Research Paper

Received: 25/09/2022

Accepted: 04/03/2023

## The combined effects of application of Zn, P and inoculation with the endophytic fungus, *Serendipita indica*, on growth and yield of strawberry in the aeroponic system

Mohsen Deyhim<sup>1</sup>, Mehdi Ghabooli<sup>1\*</sup> 

Zahra Movahedi<sup>1</sup>, Majid Rostami<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

### Abstract

Plant growth and yield enhancement can be evoked in crops by the exploitation of beneficial microorganisms and the optimal provision of plant nutrients. The effect of inoculation with *Serendipita indica* and the application of zinc and phosphorus on the growth and yield of strawberries in the aeroponic system was the goal of the present experiment. The study was conducted in a completely randomized design with different levels of inoculation with endophytic fungus *S. indica* (non-inoculated and inoculated with fungus mycelium) as the first factor and different levels of fertilizer application (0.8 gr zinc sulfate, 1.2 gr monopotassium phosphate, combined zinc-phosphorus and control) as the second factors with three replications. The results showed that the main effects of fertilizer and fungus treatment as well as their interaction effect were significant in all traits except for total protein content. The results also showed that fungus inoculation and zinc and phosphorus application increased traits such as flower and fruit number, shoot and root biomass, chlorophyll, total soluble sugars, protein content, and antioxidant enzymes. In sum, it can be concluded that the effect of phosphorus and zinc fertilizer treatments along with the endophytic fungus *S. indica* has improved the physiological traits and yield of strawberries. On the other hand, the effects of the simultaneous application of fertilizer and fungus inoculation are more positive than the single application of fertilizer and fungus. Therefore, the optimal application of important elements such as phosphorus and zinc along with the exploration of endophytic symbiotic fungi can be considered a suitable strategy to increase the growth and yield of strawberries.

\* Corresponding Author: m.ghabooli@malayeru.ac.ir



## **Introduction**

Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch) is a perennial and herbaceous plant belonging to the Rosaceae family. This plant is widely cultivated because of its high economic and nutritional value. Mycorrhizal symbiosis is one of the most significant mutualisms on earth, in which mycorrhizal fungi increase the absorption of nutrients by the roots of plants and improve their growth and development. In recent years, the endophytic fungus, *Serendipita indica*, has attracted the attention of researchers due to its mycorrhizal-like functions, broader host range than mycorrhizal fungi, and the possibility of cultivation in synthetic cultures. This fungus has been successfully used in seedling breeding, growth promotion, and fruit quality improvement of many horticultural crops, including strawberry. Mineral nutrients like phosphorus and zinc play an important role in the growth and yield of strawberry plants. In recent years, farmers have used chemical fertilizers to increase crop production. There are reports of the residual accumulation of these harmful chemicals in fruits and other edible parts. Therefore, the management of nutrient solutions is critical to the success of the production of this plant in soilless cultures. In addition, beneficial microorganisms can stimulate plant growth and yield in crops.

Since beneficial microorganisms can play an important role as biofertilizers, this study aimed to evaluate the effects of inoculation of strawberry plants with *Serendipita indica* and the application of zinc and phosphorus on the growth and yield of strawberries in the aeroponic system.

## **Materials and Methods**

The study was conducted in a completely randomized design with different levels of inoculation with endophytic fungus *S. indica* (non-inoculated and inoculated with fungus mycelium) as the first factor and different levels of fertilizer application (0.8 gr zinc sulfate, 1.2 gr monopotassium phosphate, combined zinc-phosphorus and control) as the second factors with three replications. Strawberry seedlings (Sabrina as a short-day variety) were divided into two groups. Group number one was inoculated with fungus mycelium before being transferred to aeroponic tanks, while autoclaved mycelium was used for the other group (as a control). The plants were kept in the same nutritional conditions, and after ensuring the complete establishment of the plants, the treatments were applied. At this stage, 1.2 g of monopotassium phosphate (phosphorus) was added to the nutrient solution of tank number one. 0.8 g of zinc sulfate per liter was added to the nutrient solution of tank number two. 1.2 g of phosphorus plus 0.8 g of zinc per liter were added to the nutrient solution of tank number three, and plants in tank number four received regular nutrient solution as a control. After the emergence of fruits, shoot samples were harvested, and traits like the number of flowers and fruits, shoot and root dry weight, photosynthetic pigments, protein, soluble sugar, elements content, and antioxidant enzymes were measured.

## **Results and Discussion**

The results showed that the main effects of fertilizer, fungus treatment, and their interaction effect were significant in all traits except for dry weight and total protein content. According to the results, fungus inoculation and zinc and phosphorus application increased traits, such as the number of flowers and fruits, shoot weight, and root biomass. Phosphorus might increase the number of flowers and fruits by interfering with the transfer of photosynthetic materials. In addition, it seems the symbiotic relationship has increased the number of flowers and fruits by enhancing the absorption of nutrients and biomass of the strawberry plants. Fungus and zinc may stimulate root growth and increase its biomass by influencing the production of auxin hormones.


Inoculation by affecting photosynthesis-related proteins and the application of zinc by affecting the amount of effective elements in the formation of chlorophyll caused a significant increase in the content of chlorophyll. The results showed that inoculation with *S. indica* and foliar application of zinc and phosphorus increased leaf and fruit soluble sugar content. The fungus seems to increase carbohydrate uptake through some hexose transporters. Besides, phosphorus plays an important role in transferring sugars in the plant. The results showed that inoculation with *S. indica* and the application of zinc and phosphorus fertilizers increased the content of antioxidant enzymes (except fruit catalase). Combined treatment of *S. indica* and fertilizers had a positive effect on leaf and fruit peroxidase and ascorbate peroxidase of strawberry fruits.

### **Conclusion**

The effects of phosphorus and zinc fertilizer treatments combined with the endophytic fungus *S. indica* have improved the physiological traits and yield of strawberries. In other words, the effects of the simultaneous application of fertilizer and fungus inoculation are more positive than the single application of fertilizer and fungus. Therefore, the optimal application of important elements such as phosphorus and zinc combined with the exploration of endophytic symbiotic fungi can be considered a suitable strategy to increase the growth and yield of strawberries.

**Keywords:** Endophytic fungus, Micronutrient, phosphorus, aeroponic, Antioxidant activity, Strawberry

## تأثیر کاربرد روی، فسفر و تلقیح با قارچ اندوفیت *Serendipita indica* بر رشد و عملکرد توت فرنگی در سیستم هواکشت

محسن دیهیم<sup>۱</sup>، مهدی قبولی<sup>۱\*</sup> , زهرا موحدی<sup>۱</sup>، مجید رستمی<sup>۱</sup>  
<sup>۱</sup> گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

### چکیده

از جمله روش‌های افزایش رشد و عملکرد گیاهان، تغذیه مناسب و استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید است. پژوهش حاضر، با هدف بررسی تأثیر قارچ اندوفیت *Serendipita indica* و محلول‌دهی روی و فسفر بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی در سیستم هواکشت انجام شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تلقیح با قارچ اندوفیت *S. indica* (تلقیح‌نشده و تلقیح با میسیلیوم قارچ) به‌عنوان فاکتور اول و تیمار با کود روی و فسفر (۰/۸ گرم سولفات روی، ۱/۲ گرم مونوپتاسیم فسفات، ترکیب روی-فسفات، بدون کود) به‌عنوان فاکتور دوم است. نتایج نشان داد تأثیرات اصلی تیمار کودی و قارچ و اثر متقابل آن‌ها در کلیه صفات مورد بررسی به‌استثنا میزان پروتئین کل و وزن خشک معنی‌دار بود. نتایج بدست‌آمده همچنین، نشان داد که تلقیح با قارچ و محلول‌دهی روی و فسفر باعث افزایش صفاتی مانند تعداد گل، تعداد میوه، زیست‌توده اندام هوایی و ریشه، کلروفیل، قند محلول کل، پروتئین کل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت تأثیر تیمارهای کودی فسفر و روی به همراه قارچ اندوفیت *S. indica* باعث بهبود صفات فیزیولوژیک و عملکرد توت‌فرنگی شده است. از طرف دیگر، تأثیرات مثبت کاربرد همزمان محلول‌دهی کودی و تلقیح با قارچ بیشتر از کاربرد منفرد کود و قارچ است. بنابراین، به نظر می‌رسد استفاده بهینه از عناصر مهمی نظیر فسفر و روی در کنار کاربرد قارچ‌های همزیست اندوفیت می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب برای افزایش رشد و عملکرد توت‌فرنگی در نظر گرفته شود.

**واژه‌های کلیدی:** قارچ اندوفیت، ریزمغذی، فسفر، هواکشت، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، توت‌فرنگی



## مقدمه

می‌کند (Sharma, 2002). اگرچه نیاز گیاه به عنصر روی اندک است، اما عدم فراهم بودن کافی این عنصر سبب ایجاد تنش‌های فیزیولوژیک و اختلال در رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Baybordi, 2006). در پژوهش‌هایی که بر روی ارقام کاماروسا و پاچارو توت‌فرنگی انجام شد، مشخص شد که محلول‌پاشی برگ‌ری روی باعث افزایش کیفیت، بازده میوه و محصول می‌شود (Mollaei et al., 2020; Kazemi, 2014).

فسفر یکی از عناصر ضروری و پر مصرف است که در اندام‌های گیاه از تحرک‌پذیری بالایی برخوردار و بعد از نیتروژن دومین عامل محدودکننده عملکرد محسوب می‌شود (Shen et al., 2011). فسفر در فرایندهای مختلف بیوشیمیایی مانند واکنش‌های انتقالی، سنتز نشاسته و انتقال کربوهیدرات‌ها دخالت دارد (Tabatabaei, 2013). در توت‌فرنگی این عنصر علاوه بر رشد و نمو گیاه، بر اندازه، شکل و تشکیل رنگ میوه مؤثر است (Kashi and Hekmati, 1991). در مطالعه‌ای که به منظور بررسی عناصر فسفر و روی بر توت‌فرنگی رقم کاماروسا در گلخانه انجام شد، مشخص شد که کاربرد روی و فسفر بر طول میوه، قطر میوه و ویتامین‌ها تأثیر معنی‌داری دارد (Amiri et al., 2012). در مطالعه دیگری، کاربرد سطوح مختلف فسفر به‌طور قابل توجهی بر رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد توت‌فرنگی تأثیر داشت (Akter et al., 2013). تیمارهای مختلف فسفر تأثیر معنی‌داری بر جذب عناصر غذایی پرمصرف در اندام هوایی گیاه در هر دو مرحله رشد رویشی و میوه‌دهی و همچنین، عناصر

توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* Duch) گیاهی علفی، دولپه و چند ساله و به خانواده Rosaceae تعلق دارد. میوه‌های توت‌فرنگی ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای بسیار بالایی دارند و به همین دلیل این گیاه به‌طور گسترده در جهان کشت می‌شود (Zhang et al., 2021). در گذشته، روش خاکی روش مرسوم کشت توت‌فرنگی بود، اما امروزه به دلیل تقاضای بالا و همچنین لزوم کشت خارج از فصل، استفاده از روش‌های کشت بدون خاک مرسوم شده است. پیشرفته‌ترین سیستم کشت آبکشت، سیستم هواکشت (ایروپونیک) است. هواکشت فرایندی است که ریشه‌های گیاهان در یک محفظه بسته قرار داشته و بطور متناوب با یک محلول غذایی به کمک پمپ و زمان‌سنج محلول‌پاشی می‌شوند (Hayden et al., 2004). از مزایای سیستم هواکشت می‌توان به کنترل آسان مواد غذایی و pH اشاره کرد. بر اساس شواهد موجود، نرخ رشد گیاه در این روش تقریباً دو برابر بیشتر از کشت خاکی است. امروزه روش هواکشت به دلیل مزایایی که دارد و به ویژه نقش ریشه در تغذیه گیاهی استفاده می‌شود (Movahedi et al., 2020). فسفر و روی نقش مهمی در رشد و عملکرد توت‌فرنگی دارند (Sharma et al., 2006). از این رو، مدیریت محلول‌های غذایی برای موفقیت در تولید این گیاه در کشت‌های بدون خاک کلیدی است. روی یکی از عناصر کم مصرف است که در تولید هورمون‌های گیاهی، کارایی فتوسنتز و همچنین واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء نقش مهمی ایفا

برخی از واریته‌های توت‌فرنگی بررسی شده است (Husaini et al., 2012; Chien and Lin, 2018). در رقم Taoyuan توت‌فرنگی، قارچ *S. indica* علاوه بر اثر تحریک‌کنندگی رشد بر روی نهال‌های کشت بافتی، مقاومت به آنتراکنوز را نیز در گیاهان توت‌فرنگی بهبود بخشید (Chien and Lin, 2018). در سال‌های اخیر، کشاورزان برای افزایش تولید محصول از کودهای شیمیایی استفاده می‌کنند. تجمع باقیمانده این مواد شیمیایی مضر در میوه‌ها و سایر قسمت‌های خوراکی توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است (Gurusubramanian et al., 2008). از آنجایی که توت‌فرنگی به صورت خام مصرف می‌شود، تجمع چنین مواد شیمیایی ممکن است تأثیرات مضرتری نشان دهد. بنابراین، برخی از جایگزین‌های سازگار با محیط زیست می‌تواند برای بهبود عملکرد و کیفیت محصولات بررسی شود و از سوی دیگر با توجه به اهمیت تعادل عناصر غذایی در بهبود رشد و عملکرد، محلول‌های غذایی مورد استفاده برای هواکشت بایستی به درستی مدیریت شوند تا بالاترین کارایی را داشته باشند. بنابراین، هدف از اجرای این پژوهش، بررسی تأثیر کاربرد روی و فسفر در ترکیب با قارچ *S. indica* بر رشد، عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک توت‌فرنگی است.

## مواد و روش‌ها

### تکثیر مایه تلقیح قارچ *S. indica*

قارچ مطابق با روش (Ghabooli, et al. (2013) بر روی محیط کشت پیچیده (محیط کشت آسپرژیلوس تغییر یافته حاوی عناصر پرمصرف، کم

جذب شده توسط میوه توت‌فرنگی رقم سلوا داشتند (Mashayekhi and Marjory, 2017).

یکی از مهم‌ترین روابط همزیستی در عالم حیات، همزیستی میکوریزی است که در آن قارچ‌های میکوریزی با برقراری ارتباط با میزبان خود سبب افزایش جذب مواد غذایی، بالا رفتن توانایی رشد گیاهان و افزایش مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌شوند (Sabatino et al., 2020; Li et al., 2019). در سال‌های اخیر، قارچ اندوفیت *Serendipita indica* به دلیل عملکردهای شبه‌میکوریزی تقویت‌کننده رشد گیاه، دامنه میزبان گسترده‌تر نسبت به قارچ‌های میکوریزی و همچنین امکان کشت در محیط کشت‌های مصنوعی، به یک کانون تحقیقاتی جدید تبدیل شده است. این قارچ توانایی ایجاد رابطه همزیستی با دامنه وسیعی از گیاهان میزبان را دارد و باعث افزایش رشد، عملکرد و همچنین مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود (Teimory et al., 2021; Xu et al., 2022; Reshna et al., 2022). قارچ *S. indica* سبب جذب عناصر غذایی خصوصاً فسفر، پتاسیم و منیزیم، تولید هورمون‌هایی نظیر اکسین و سیتوکنین، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، افزایش تجمع اسمولیت‌ها و بیان برخی ژن‌های مرتبط با انتقال‌دهنده‌های هگروزها می‌شود (Khalid et al., 2019; Izadi et al., 2021; Cheng et al., 2022). به علاوه، این قارچ با موفقیت در زمینه‌های اصلاح نهال، ارتقاء رشد، افزایش مقاومت به تنش و بهبود کیفیت میوه بسیاری از محصولات باغی از جمله توت‌فرنگی استفاده شده است (Mensah et al., 2020). تأثیر تلقیح با قارچ *S. indica* در نهال‌های کشت بافتی

تیمارها اقدام شد. در این مرحله به محلول غذایی مخزن شماره یک، ۱/۲ گرم در لیتر مونوپتاسیم فسفات (فسفر) اضافه و به محلول غذایی مخزن شماره دو، ۰/۸ گرم سولفات روی (روی) در لیتر اضافه شد. به محلول غذایی مخزن شماره سه، ۱/۲ گرم فسفر بعلاوه ۰/۸ گرم روی در لیتر اضافه و مخزن شماره چهار به عنوان شاهد با رژیم غذایی عمومی تغذیه شد. پس از ظهور کلیه میوه‌ها، نمونه‌برداری از اندام‌های هوایی انجام و صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای نسبی آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، عناصر و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سنجش شد.

#### بررسی صفات رویشی و فیزیولوژیک

برای اندازه‌گیری تعداد گل و میوه در بوته، تعداد ۲ گیاه در هر تکرار انتخاب و شمارش شد. پس از تعیین وزن تر نمونه‌های گیاهی برداشت‌شده، نمونه‌های مذکور به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها نیز محاسبه شد. کلروفیل برگ با استفاده از استون ۸۰ درصد، استخراج و سنجش آن مطابق با روش Arnon (۱۹۴۹) انجام شد. سپس غلظت کلروفیل کل در طول موج ۶۵۲ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر (Analytikjena SPELORD 205، آلمان) تعیین شد. استخراج قند کل محلول از بافت تر برگ و میوه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شد (Shlegl, 1986). برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین از روش Bradford (1976) استفاده و غلظت آن در طول

مصرف، عصاره مخمر، پیتون و کازئین) کشت شده و به مدت ۴ هفته در دمای  $28 \pm 2$  درجه سلسیوس قرار داده شد. برای تهیه میسلیم، دیسک‌های فعال قارچ از محیط کشت جامد برداشته و در ارلن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت مایع کشت و سپس در انکوباتور حاوی شیکر با دمای  $28 \pm 2$  درجه سلسیوس و ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت ۷-۱۰ روز قرار داده شدند. در مرحله بعد، میسلیم‌ها با استفاده از فیلتر کاغذی واتمن شماره ۱ از محیط کشت جدا و چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند (Bajaj et al., 2015).

#### کشت گیاه و تلقیح با قارچ *S. indica*

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تجاری در شهرستان آبیگ قزوین انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تلقیح با قارچ اندوفیت *S. indica* (تلقیح‌نشده و تلقیح با میسلیم قارچ) به‌عنوان فاکتور اول و تیمار با کود روی و فسفر (۰/۸ گرم سولفات روی، ۱/۲ گرم مونوپتاسیم فسفات، ترکیب روی-فسفات، بدون کود) به‌عنوان فاکتور دوم است. رقم مورد استفاده رقم سابرینا (رقم روزکوتاه) بود. نشاءها قبل از انتقال به مخازن سیستم هواکشت به دو گروه تقسیم و یک گروه با میسلیم‌های قارچ تلقیح شدند؛ در حالی که برای گروه شاهد از میسلیم‌های اتوکلاو شده استفاده شد. سپس در هر مخزن، تعداد چهار نشاء تلقیح‌شده و چهار نشاء تلقیح‌نشده قرار داده و سیستم راه‌اندازی شد. گیاهان به مدت چهار هفته با برنامه تغذیه عمومی گلخانه تغذیه شدند و پس از اطمینان از استقرار کامل گیاه نسبت به اعمال

مربوط بود (شکل ۱-ب). روی نقشی اساسی در سنتز پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک (RNA و DNA) دارد که این امر به نوبه خود، میزان فرایند تولید گل را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین عملکرد و کیفیت میوه توت فرنگی با کمبود روی کاهش می‌یابد (Sedri and Ghaderi, 2005). Moallemi و Saadati (۲۰۱۱) نشان دادند که محلول پاشی روی در توت فرنگی علاوه بر افزایش تحمل گیاه به تنش شوری، باعث افزایش گلهی و اجزاء عملکرد شد. Rahmani and Mohammadi Goltapeh (2018) نیز در بررسی نقش قارچ اندوفیت *S. indica* بر میزان گلهی گیاه توت فرنگی در کشت هیدروپونیک نشان دادند که تلقیح با قارچ باعث افزایش میزان گلهی در توت فرنگی شده است. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که ترکیب استفاده از قارچ *S. indica* و کود روی بیشترین اثر را بر تعداد گل دارد.

کمبود فسفر موجب کاهش تولید تعداد میوه می‌شود؛ علیرغم اینکه میوه‌های تولید شده از نظر اندازه کاملاً طبیعی هستند اما در مجموع عملکرد کل کاهش می‌یابد (Sedri and Ghaderi, 2005). Mollaei et al. (2020) گزارش نمودند که محلول پاشی و محلول دهی بوته‌های توت فرنگی با فسفر باعث افزایش عملکرد می‌شود. فسفر احتمالاً با دخالت در نقل و انتقال مواد فتوسنتزی توانسته است تعداد میوه را افزایش دهد. در تحقیق Akter et al. (2013) مشخص شد که کاربرد فسفر تعداد و اندازه میوه توت فرنگی را افزایش داده است.

Sinclair et al. (2013) نشان دادند که تلقیح با قارچ *S. indica* باعث افزایش زیست توده در

موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از سرم آلبومین گاوی (BSA) به عنوان استاندارد اندازه گیری شد. برای سنجش فعالیت سینتیکی آنزیم پراکسیداز (POD) از روش (Ferreira, et al. 2010) استفاده و منحنی جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) به روش (Nakano and Asada 1981) سنجش شد. سرعت واکنش آنزیمی به صورت تغییرات جذب بر زمان (OD/min) در طول موج ۲۹۰ نانومتر برای ۱ دقیقه ثبت شد. سنجش آنزیم کاتالاز (CAT) به روش (Dhindsa et al. 1981) انجام و سپس سنجش فعالیت آنزیم از طریق اندازه گیری تجزیه آب اکسیژنه توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر برای مدت زمان ۱ دقیقه انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج، با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز در سطح ۵ درصد و بر اساس آزمون دانکن انجام شد.

## نتایج و بحث

### تعداد گل و میوه در بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که تأثیرات اصلی تیمار کودی و قارچ و همچنین، تأثیرات متقابل قارچ در کود بر تعداد گل و میوه معنی دار است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین تعداد گل در تیمار تلقیح با قارچ و کاربرد روی (۱۰/۸ عدد) و کمترین آن مربوط به تیمار تلقیح نشده بدون کاربرد کود (۶/۵ عدد) بود (شکل ۱-الف). بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین تعداد میوه به تیمار فسفر و تلقیح با قارچ (۷/۵ عدد) و کمترین آن به تیمار تلقیح نشده بدون کاربرد کود (۲/۴ عدد)



برخی ارقام توت‌فرنگی شده است که با نتایج این پژوهش، مطابقت دارد.

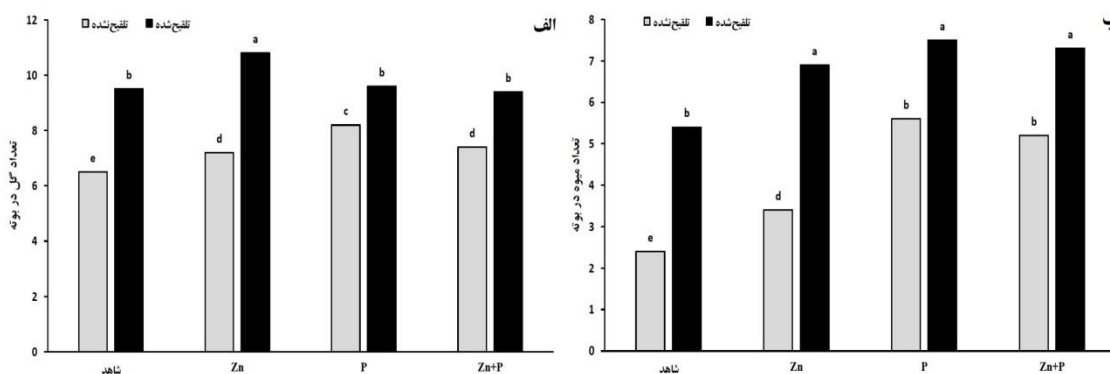
جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف کود و تلقیح با قارچ *S. indica* بر تعداد گل، تعداد میوه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی توت‌فرنگی

Table 1- Variance analysis for effect of fertilizer and *S. indica* inoculation on flower number, fruit number and root and shoot dry weight of strawberry

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد گل	تعداد میوه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
قارچ <i>S. indica</i>	۱	۹۹/۶۳**	۴۵/۴۸**	۵/۴۱**	۰/۸۸**
کود	۳	۸/۷۵**	۷/۷**	۱/۵۲**	۲/۴۱**
قارچ × کود	۳	۱۹/۸۱**	۰/۶۵۸**	۰/۰۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۵ <sup>ns</sup>
خطا	۱۶	۰/۰۷۹	۰/۱۴۸	۰/۳۰۲	۰/۰۲۳
ضریب تغییرات	-	۶/۱۳	۷/۱۷	۹/۷۲	۱۰/۳

\*\* و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است.

ns, \*\*: Non significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively



شکل ۱- تأثیرات متقابل کود و قارچ *S. indica* بر تعداد گل (الف) و تعداد میوه توت‌فرنگی (ب) (تیمارها: Zn: روی؛ P: فسفر؛ Zn+P: روی و فسفر)

Figure 1- Interaction effect of fertilizer and *S. indica* on flower (a) and fruit numbers (b) of strawberry (Treatments: Zn: Zinc; P: Phosphorous; Zn+P: Zinc and Phosphorous)

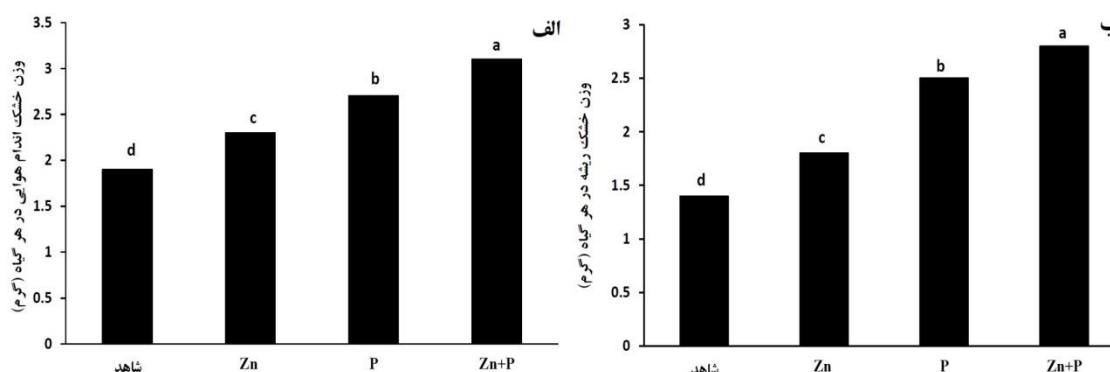
### وزن خشک ریشه و اندام هوایی

همزمان روی و فسفر و کمترین میزان آن (۱/۹ گرم در بوته) در تیمار عدم کاربرد کود مشاهده شد (شکل ۲-الف). در مقایسه میانگین برای اثر ساده کود بر وزن خشک ریشه، بیشترین وزن خشک ریشه (۲/۸ گرم) برای کاربرد روی و فسفر به صورت همزمان بود و کمترین میزان وزن خشک ریشه (۱/۴ گرم) برای عدم کاربرد کود بود (شکل ۲-ب). این امر نشان می‌دهد تلقیح با قارچ و کاربرد

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که تأثیرات اصلی تیمار کودی و قارچ بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی معنی‌دار بود، اما تأثیرات متقابل قارچ در کود معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین برای تأثیرات ساده قارچ نشان داد تلقیح با قارچ به ترتیب باعث افزایش ۲۴ و ۳۷ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه می‌شود. همچنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین وزن خشک اندام هوایی (۳/۱ گرم در بوته) در تیمار کاربرد

مشابه این نتیجه در تحقیق Mashayekhi and Marjoy (2017) نیز مشاهده شد. نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که فسفر کافی سبب ازدیاد رشد گیاه و گسترش ریشه می‌شود؛ بدین ترتیب گیاه می‌تواند از حجم بیشتری از محیط کشت به منظور جذب عناصر غذایی و رطوبت استفاده کند که در این شرایط، جذب و کارایی استفاده از عناصر غذایی افزایش پیدا می‌کند (Bukvic et al., 2003). عنصر روی در تولید هورمون اکسین و درشت مولکول‌هایی نظیر اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها نقش حیاتی دارد. از طرفی روی به عنوان کوفاکتور در واکنش‌های اکسیداسیون-احیاء مشارکت می‌کند (Sharma, 2002)، بنابراین، به طور غیر مستقیم میزان رشد رویشی ریشه و ساقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تأثیرات مثبت روی در رشد گیاه، به علت نقش آن به عنوان اجزا سازنده آنزیم‌ها یا تنظیم‌کننده‌ها است. این عنصر نقش ضروری در متابولیسم گیاه دارد (Marschner, 2002). در دسترس بودن فسفر در خاک بر کلنیزاسیون قارچ‌های میکوریزی و اندوفیت‌ها در گیاهان تأثیر دارد و اگر خارج از محدوده باشد، باعث کاهش و یا عدم کلنیزاسیون می‌شود (Feng et al., 2003). بر اساس مطالعه‌ای که توسط Zhang et al. (2017) انجام شده است مشخص شد که با افزایش فسفر به غلظت ۵۰ میلی‌گرم/گرم، نرخ کلنیزاسیون، تراکم میسلیوم و تعداد اسپور در گیاه ذرت افزایش یافت اما افزایش غلظت به بیش از ۲۰۰ میلی‌گرم/گرم باعث کاهش نرخ کلنیزاسیون شد. وضعیت مشابهی در مورد روی گزارش شده است، به طوری که غلظت بهینه این عنصر میزان کلنیزاسیون را افزایش می‌دهد (Saboor et al., 2021).

کودهای روی و فسفر، میزان رشد و زیست‌توده گیاه توت‌فرنگی را افزایش داده است. به نظر می‌رسد همزیستی میکوریزی از طریق تغذیه مناسب (جذب بیشتر عناصر غذایی به ویژه فسفر) و افزایش زیست‌توده گیاه توت‌فرنگی موجبات تسریع و افزایش در میزان گلدهی در بوته‌های تلقیح‌شده با قارچ را فراهم می‌آورد که با نتایج تحقیقات Kaboosi et al., Varma et al. (2012) و Rahmanian and Mohammadi (2022) و Goltapeh (2018) مطابقت دارد. مکانیسم‌های مختلفی در ارتباط با تأثیر قارچ‌های اندوفیت بر رشد گیاهان ذکر شده است. قارچ احتمالاً تولید سیتوکینین را افزایش داده که به نوبه خود در افزایش زیست‌توده در گیاهان تلقیح‌شده مؤثر است (Vadassery et al., 2008). همچنین، تحقیقات نشان داده است که احتمالاً یکی از دلایل اصلی تحریک رشد ریشه گیاهان تلقیح‌شده، بیوسنتز اکسین توسط قارچ است (Su et al., 2017). قارچ همچنین، بازآرایی میکروتوبول‌ها را در سلول‌های ریشه تحریک کرده که ممکن است با رشد ریشه ارتباط داشته باشد (Wu et al., 2019). باتوجه به حضور فسفر در ساختمان انواع نوکلئوپروتئین‌ها، آنزیم‌ها و چربی‌ها، این عنصر نقش بسیار حیاتی در تشکیل سلول‌های جدید و رشد ریشه و اندام هوایی ایفا می‌کند. کمبود فسفر در گیاه توت‌فرنگی سبب کاهش اندازه ریشه‌ها و طوقه‌ها شده و در نتیجه در گیاهان در معرض کمبود فسفر ساقه‌های کمتر و کوتاه‌تری تولید می‌شود (Sedri and Ghaderi, 2005). Mashayekhi and Tatari (2017) نشان دادند کاربرد فسفر باعث افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی توت‌فرنگی رقم سلوا شده است.



شکل ۲- تأثیرات اصلی کود بر وزن خشک اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) توت‌فرنگی. (تیمارها: Zn: روی؛ P: فسفر؛ Zn+P: روی و فسفر)

Figure 2- Effect of fertilizer on (a) shoot dry weight and (b) root dry weight of strawberry (Treatments: Zn: Zinc; P: Phosphorous; Zn+P: Zinc and Phosphorous)

مکانیزم‌های دیگری از جمله بهبود ویژگی‌های برگ، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز در بهبود فتوسنتز در گیاهان تلقیح‌شده مؤثر است (Shahabivand *et al.*, 2017).

افزایش غلظت کلروفیل، احتمالاً به علت افزایش ساخت آن‌ها و تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های مربوط به سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی است. فسفر می‌تواند بر سنتز این آنزیم‌ها تأثیر بگذارد، به‌طوری‌که میزان فسفر ناکافی موجب کاهش ساخته شدن RNA و در نتیجه کاهش سنتز پروتئین می‌شود (Molaie *et al.*, 2018). افزایش میزان کلروفیل احتمالاً به دلیل تأثیر عنصر روی بر محتوای عناصر غذایی مؤثر در تشکیل کلروفیل نظیر آهن و منیزیم است. روی می‌تواند با افزایش بیوسنتز کلروفیل کارایی فتوسنتز را افزایش دهد که این امر احتمالاً به علت نقش این عنصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل است (Marschner, 2002).

### کلروفیل

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تأثیرات اصلی تیمار کودی و قارچ و همچنین، تأثیرات متقابل قارچ در کود بر محتوای کلروفیل برگ توت‌فرنگی معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج آنالیز مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان رنگیزه کلروفیل (۲/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) به تیمار تلقیح با قارچ و کاربرد کود فسفر و کمترین میزان کلروفیل (۱/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) به تیمار عدم تلقیح و کاربرد کود مربوط بود (شکل ۳).

تأثیرات مثبت قارچ بر محتوای کلروفیل در گیاهان مختلف گزارش شده است (Movahedi and Ghabooli, 2020; Kaboosi *et al.*, 2022). قارچ با تأثیر بر روی پروتئین‌های دخیل در فتوسنتز و چرخه کالوین و نیز افزایش بیان ژن‌های آنها، نقش مهمی در حفظ و پایداری فتوسنتز ایفا می‌کند (Karimi *et al.*, 2015). بهبود وضعیت آبی گیاه و جذب بهتر عناصر معدنی به ویژه فسفر و منیزیم دلیل دیگر افزایش محتوای کلروفیل است.

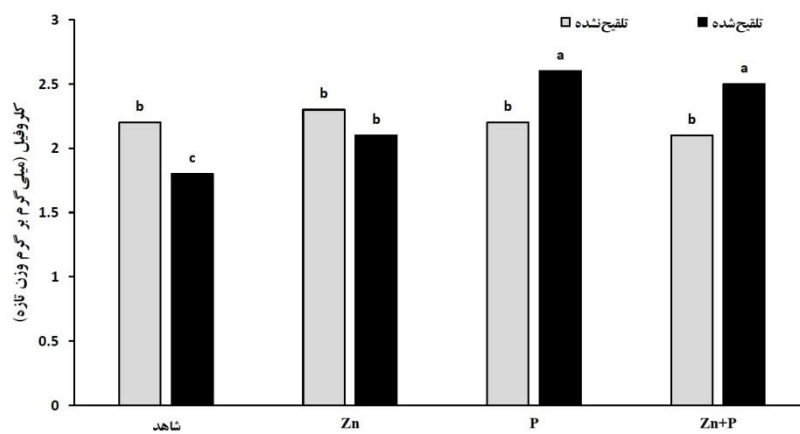
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف کود و تلقیح با قارچ *S. indica* بر کلروفیل، کربوهیدرات برگ و میوه و پروتئین برگ و میوه

Table 2- Variance analysis for effect of fertilizer and *S. indica* inoculation on chlorophyll, leaf and fruit carbohydrate and leaf and fruit protein.

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل	کربوهیدرات برگ	کربوهیدرات میوه	پروتئین برگ	پروتئین میوه
قارچ <i>S. indica</i>	۱	۰/۲۴۶**	۰/۱۵۷**	۲/۸۵**	۰/۲۷**	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>
کود	۳	۰/۲۵۵**	۰/۱۳۹**	۰/۲۶۸**	۰/۰۳۲**	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>
قارچ × کود	۳	۰/۰۳۹**	۰/۰۲**	۰/۰۹۸**	۰/۰۳۴**	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>
خطا	۱۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات	-	۶/۱۵	۵/۹۵	۱۱/۲	۸/۱۳	۱۰/۱۲

\*\* و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی داری است.

ns, \*\*: Non significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively



شکل ۳- تأثیرات متقابل کود و قارچ *S. indica* بر کلروفیل برگ توت فرنگی (تیمارها: Zn: روی؛ P: فسفر؛ Zn+P: روی و فسفر)

Figure 3- Interaction effect of fertilizer and *S. indica* on chlorophyll content of strawberry leaves (Treatments: Zn: Zinc; P: Phosphorous; Zn+P: Zinc and Phosphorous)

### قند محلول برگ و میوه

۰/۹۱ میلی گرم بر گرم وزن تازه) به گیاهان شاهد تلقیح نشده مربوط بود (شکل ۴-الف). در مورد میزان قند محلول میوه، بیشترین میزان (۲/۷ میلی گرم بر گرم میوه) در تیمار کود فسفره به همراه قارچ و کمترین مقدار نیز در گیاهان شاهد تلقیح نشده (۱/۳۹ میلی گرم بر گرم میوه) مشاهده شد (شکل ۴-ب).

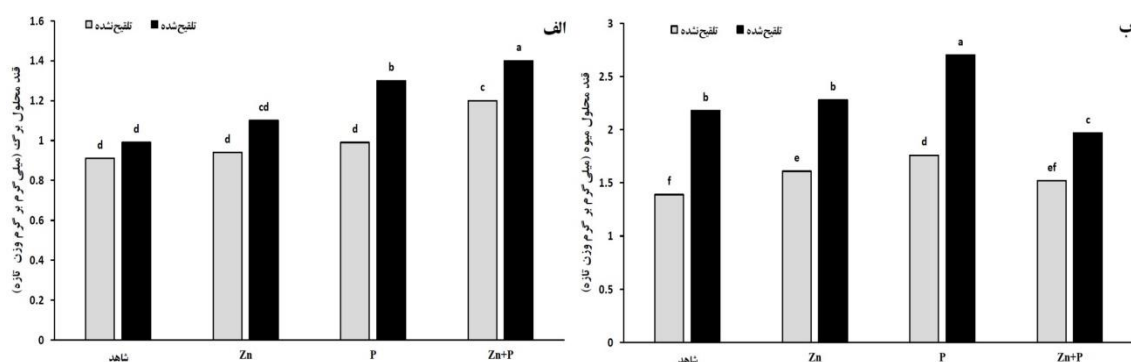
Kaboosi et al. (2022) در بررسی تأثیر همزیستی قارچ اندوفیت بر برخی شاخص‌های

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد تأثیرات اصلی تیمار کودی و قارچ و همچنین، تأثیرات متقابل قارچ در کود بر میزان قند محلول برگ و میوه فرنگی معنی دار بود. بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان قند محلول برگ (۱/۴ میلی گرم بر گرم وزن تازه) به تیمار کاربرد همزمان کود فسفره و روی به همراه قارچ اندوفیت *S. indica* و کمترین میزان آن

فیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی نشان دادند که قارچ اندوفیت *S. indica* باعث افزایش قند محلول میوه شد. گزارش داده شده است که قارچ *S. indica* از طریق برخی انتقال‌دهنده‌های همگروزی، جذب کربوهیدرات‌ها را افزایش می‌دهد. یکی از این انتقال‌دهنده‌ها، PiHXT5 است که از طریق شیب پروتونی جذب مونوساکاریدها را افزایش می‌دهد (Rani *et al.*, 2016).

عنصر فسفر نقش بسیار مهمی در انتقال مواد قندی در گیاه دارد که موجب افزایش انتقال گلوکز و سایر کربوهیدرات‌ها می‌شود (Molaie *et al.*, 2018). روی نیز نقش مهمی در تنظیم متابولیسم ساکاریدها، اسیدهای نوکلئیک و متابولیسم چربی‌ها دارد. آنزیم‌های زیادی نظیر روبیسکو، آلدولاز، ساکارز سنتاز و نشاسته سنتاز به روی به عنوان جزء عملکردی نیاز دارند (Ebrahimian and Bybordi, 2011). این نتایج با نتایج Alinejad Elahshah *et al.* (2018) تطابق دارد، آنها نشان دادند که سطوح مختلف روی باعث افزایش معنی‌داری قندهای محلول در توت‌فرنگی می‌شود.

عنصر فسفر نقش بسیار مهمی در انتقال مواد قندی در گیاه دارد که موجب افزایش انتقال گلوکز و سایر کربوهیدرات‌ها می‌شود (Molaie *et al.*, 2018).



شکل ۴- تأثیرات متقابل کود وقارچ *S. indica* بر قند محلول برگ (الف) و میوه (ب) توت‌فرنگی (تیمارها: Zn: روی؛ P: فسفر؛ Zn+P: روی و فسفر)

Figure 4- Interaction effect of fertilizer and *S. indica* on (a) leaf and (b) fruit soluble sugar of strawberry (Treatments: Zn: Zinc; P: Phosphorous; Zn+P: Zinc and Phosphoporous)

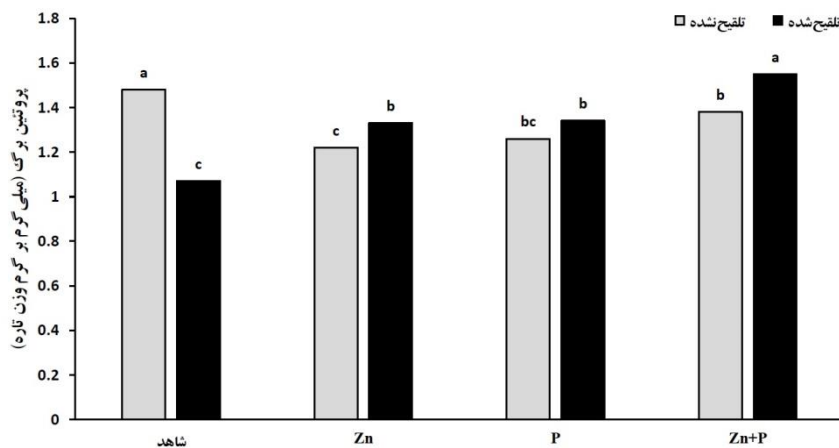
گرم وزن تازه) در تیمار ترکیب کود فسفر و روی در گیاهان تلقیح‌شده و کمترین آن (۱/۰۷ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در تیمار بدون کود و قارچ مشاهده شد اگرچه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در تیمار ترکیب کود فسفر و روی در گیاهان تلقیح‌شده با شاهد بدون کود و تلقیح با قارچ مشاهده نشد (شکل ۵).

#### پروتئین برگ و میوه.

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد تأثیرات اصلی تیمار کودی و قارچ و همچنین، تأثیرات متقابل قارچ در کود بر میزان پروتئین برگ توت‌فرنگی معنی‌دار بود، اما هیچکدام از تأثیرات اصلی و تأثیرات متقابل بر صفت پروتئین میوه معنی‌دار نشدند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان پروتئین برگ (۱/۵۴ میلی‌گرم در

محتوای کلروفیل و پروتئین کمک نماید. روی به عنوان اجزای ساختاری و کاتالیزوری پروتئین و آنزیم برای رشد و نمو طبیعی مورد نیاز است (Broadley *et al.*, 2007). روی به عنوان کوفاکتور آنزیم RNA پلیمراز است. این آنزیم در بیوسنتز پروتئین‌ها نقش دارد (Rion and Alloway, 2004). در شرایط کمبود روی فعالیت آنزیم RNA پلیمراز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می‌یابد در نتیجه سنتز پروتئین به شدت کاهش می‌یابد. بنابراین، در صورت در دسترس بودن روی، درصد پروتئین گیاه افزایش می‌یابد. مشابه نتایج این مطالعه، افزایش پروتئین در گیاه تیمار شده با روی مشاهده شد (Askari *et al.*, 2015). در تحقیق Movahedi *et al.* (2020) کاربرد عصاره فیلتر شده قارچ *S. indica* در کاسنی و در سیستم هواکشت موجب افزایش پروتئین کل شد.

فسفر جزئی از ساختار پروتئین‌های سلول به حساب می‌آید و به عنوان بخشی از پروتئین‌های هسته، غشای سلولی و اسیدهای نوکلئیکی نقش ویژه‌ای دارد. برخی مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از غلظت‌های مناسب عناصری نظیر فسفر که نقش معنی‌داری در مراحل مختلف بیوسنتز پروتئین دارند، باعث تغییر محتوای پروتئین‌ها می‌شود. به عبارت دیگر، در شرایط کمبود فسفر سنتز پروتئین‌ها کاهش می‌یابد (Hawkesford *et al.*, 2012). Wang, *et al.* (2018) گزارش دادند که غلظت پروتئین‌های برگ در کاربردهای فسفر بالا بیشتر از کاربردهای کم فسفر بود. مشابه با نتایج بدست آمده از این تحقیق گزارش شده است که افزایش سطح فسفر موجب افزایش عملکرد پروتئین در گیاه کلزا شد (Tavajjoh *et al.*, 2016). استفاده از کودهای فسفر ممکن است با تأمین مواد غذایی پیش نیاز بیوسنتز کلروفیل و پروتئین، به افزایش



شکل ۵- تأثیرات متقابل کود وقارچ *S. indica* بر محتوای پروتئین برگ توت فرنگی (تیمارها: Zn: روی؛ P: فسفر؛ Zn+P: روی و فسفر)  
 Figure 5- Interaction effect of fertilizer and *S. indica* on protein content of strawberry leaves (Treatments: Zn: Zinc; P: Phosphorous; Zn+P: Zinc and Phosphorous).

### آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

#### پراکسیداز برگ و میوه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد تأثیرات اصلی تیمار کودی و قارچ و همچنین، تأثیرات متقابل قارچ در کود بر میزان آنزیم پراکسیداز برگ و میوه توت فرنگی معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان پراکسیداز برگ (۰/۷۲) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) در تیمار ترکیب کود فسفر و گیاهان تلقیح‌شده و کمترین آن (۰/۳۱) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) در تیمار بدون کود و قارچ مشاهده شد. ترکیب کودی فسفر و روی به همراه قارچ باعث افزایش ۲/۳۲ برابری میزان پراکسیداز برگ در مقایسه با شاهد شد. همچنین، بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین مقدار پراکسیداز میوه (به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۵۳ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) به تیمار کود روی به همراه قارچ و تیمار تلقیح‌شده با قارچ اندوفیت *S. indica* و کمترین آن (۰/۲۳) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) نیز به شاهد بدون کود و تلقیح با قارچ مربوط بود. استفاده از کود روی همراه با تلقیح با قارچ باعث افزایش ۲/۳۰ برابری میزان پراکسیداز میوه نسبت به گیاهان شاهد (بدون کود و قارچ) شد (جدول ۴).

#### آسکوربات پراکسیداز برگ و میوه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد تأثیرات اصلی تیمار کودی و قارچ و همچنین، تأثیرات متقابل قارچ در کود بر میزان آنزیم آسکوربات برگ و میوه توت فرنگی معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان آسکوربات پراکسیداز برگ (۱/۷۸) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) در تیمار کود روی و

کمترین آن (۱/۵) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) در تیمار بدون کود و قارچ مشاهده شد. تیمار کود روی میزان آسکوربات پراکسیداز برگ توت فرنگی را نسبت به تیمار شاهد ۱۹ درصد افزایش داد. همچنین، مقایسه میانگین نشان داد بیشترین مقدار آسکوربات میوه (۰/۸۲) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) به کود فسفره و تلقیح با قارچ و کمترین آن (۰/۴۲) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) به تیمار قارچ همراه با روی مربوط بود. تیمار کودی فسفره به همراه قارچ اندوفیت *S. indica* باعث افزایش ۷۴/۵ درصدی میزان آسکوربات پراکسیداز میوه در مقایسه با شاهد شد (جدول ۴).

#### کاتالاز برگ و میوه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد تأثیرات اصلی تیمار کودی و قارچ و همچنین، تأثیرات متقابل قارچ در کود بر میزان آنزیم کاتالاز برگ و میوه توت فرنگی معنی‌دار بود.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان کاتالاز برگ (۲/۹) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) در تیمار کود فسفره و کمترین آن (۲/۱۹) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) در تیمار بدون کود و قارچ مشاهده شد. تیمار کود فسفره میزان کاتالاز برگ توت فرنگی را نسبت به تیمار شاهد ۳۲/۴ درصد افزایش داد. همچنین، مقایسه میانگین نشان داد بیشترین مقدار کاتالاز میوه (۱/۲۶) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) به تیمار شاهد و کمترین آن (۰/۶۹) واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین محلول) به تیمار همزمان کود روی و فسفره در گیاهان تلقیح‌شده مربوط بود (جدول ۴). نتایج بررسی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ و میوه

متفاوت دارند و این گروه‌های فعال اکسیژن را خنثی یا جاروب می‌کنند. پراکسیدازها در بسیاری از فرایندهای سلولی از قبیل متابولیسم اکسین، اتصالات عرضی در دیواره سلول‌های گیاهی، پاسخ به تنش‌های محیطی و نظایر آن شرکت می‌کنند (Yamasaki *et al.*, 1997) بنابراین، افزایش آنزیم پراکسیداز باعث افزایش مقاومت یا تحمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی شده و افزایش طول عمر برگ و میوه را به همراه خواهد داشت. در تحقیق Movahedi و همکاران (۲۰۲۰) کاربرد *S. indica* به‌طور معنی‌داری باعث کاهش میزان  $H_2O_2$  و نشت الکترولیت شد که مبین افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی از جمله آنزیم پراکسیداز است. در مطالعه Sun و همکاران (۲۰۱۰) تلقیح با قارچ *S. indica* از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، باعث کاهش تخریب کلروفیل و تیلاکوئید و کاهش افت کارایی فتوسنتز در کلم چینی شد.

توت‌فرنگی نشان داد که تلقیح با قارچ *S. indica* و کاربرد کودهای روی و فسفر باعث افزایش آنزیم‌های بررسی‌شده (بجز کاتالاز میوه) شده است. کاربرد همزمان کودها و تلقیح قارچ اثر مثبت بیشتری نسبت به کاربرد کودهای روی یا فسفر و همچنین تلقیح با قارچ در پراکسیداز برگ و میوه و همچنین آسکوربات پراکسیداز میوه توت‌فرنگی داشت. همچنین، نتایج نشان داد کاربرد کودهای روی و فسفر به ترتیب بیشترین تأثیر را بر اسکوربات پراکسیداز و کاتالاز برگ توت‌فرنگی داشت. در مورد کاتالاز میوه، تیمارهای مختلف اثر افزایشی نداشتند اما در پراکسیداز میوه کود روی نسبت به کود فسفر تأثیرات مثبت بیشتری داشت. در مجموع، کاربرد این کودها و همچنین تلقیح با قارچ اثر افزایشی در اکثر آنزیم‌های اندازه‌گیری‌شده داشت. آنزیم پراکسیداز که به‌صورت ایزوفرم‌های مختلف در سلول‌ها ظاهر می‌شوند و ویژگی‌های

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف کود و تلقیح با قارچ *S. indica* بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز) برگ و میوه

Table 3- Variance analysis for effect of fertilizer and *S. indica* inoculation on antioxidant enzymes of strawberry leaf and fruit

منابع تغییر	درجه آزادی	پراکسیداز برگ	پروکسیداز میوه	اسکوربات برگ	اسکوربات میوه	کاتالاز برگ	کاتالاز میوه
قارچ <i>S. indica</i>	۱	۰/۱۷۹**	۰/۲۱۱**	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۲**	۰/۰۲۲**	۰/۴۶۵**
کود	۳	۰/۰۵۳**	۰/۰۱۳**	۰/۰۱**	۰/۱۱۲**	۰/۰۰۵**	۰/۰۶۳**
قارچ × کود	۳	۰/۰۱۳**	۰/۰۱۲**	۰/۰۲۴**	۰/۰۲۱**	۰/۰۱۸**	۰/۰۱۶**
خطا	۱۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۳
ضریب تغییرات	-	۷/۷۷	۶/۱۴	۵/۹	۱۰/۱۲	۸/۱۳	۶/۱۸

\*\* و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است.

ns, \*\*: Non significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively



جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیرات کود و قارچ *S. indica* بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ و میوه توت‌فرنگی

Table 4- Mean comparison of effect of fertilizer and *S. indica* inoculation on antioxidant enzymes in leaves and fruits of strawberry

کاتالاز میوه (U/mg prot)	کاتالاز برگ (U/mg prot)	آسکوربات پراکسیداز میوه (U/mg prot)	آسکوربات پراکسیداز برگ (U/mg prot)	پراکسیداز میوه (U/mg prot)	پراکسیداز برگ (U/mg prot)	تیماها
۱/۲۶ <sup>a</sup>	۲/۱۹ <sup>d</sup>	۰/۵۰ <sup>c</sup>	۱/۵۰ <sup>c</sup>	۰/۲۳ <sup>d</sup>	۰/۳۱ <sup>e</sup>	بدون کود
۱/۱۰ <sup>b</sup>	۲/۲۰ <sup>d</sup>	۰/۵۴ <sup>c</sup>	۱/۷۸ <sup>a</sup>	۰/۳۱ <sup>c</sup>	۰/۴۱ <sup>d</sup>	روی
۱/۰۶ <sup>b,c</sup>	۲/۹۰ <sup>a</sup>	۰/۶۸ <sup>b</sup>	۱/۷۲ <sup>ab</sup>	۰/۲۴ <sup>d</sup>	۰/۵۹ <sup>b</sup>	تلقیح نشده فسفر
۰/۹۵ <sup>c</sup>	۲/۲۰ <sup>d</sup>	۰/۴۲ <sup>d</sup>	۱/۷۱ <sup>ab</sup>	۰/۲۸ <sup>cd</sup>	۰/۴۱ <sup>d</sup>	روی+ فسفر
۰/۹۳ <sup>c</sup>	۲/۳۵ <sup>b</sup>	۰/۴۷ <sup>c</sup>	۱/۷۱ <sup>ab</sup>	۰/۵۳ <sup>a</sup>	۰/۶۲ <sup>b</sup>	بدون کود
۰/۸۴ <sup>d</sup>	۲/۳۷ <sup>b</sup>	۰/۴۲ <sup>d</sup>	۱/۷۲ <sup>ab</sup>	۰/۵۲ <sup>a</sup>	۰/۵۳ <sup>c</sup>	روی
۰/۷۹ <sup>d</sup>	۲/۲۰ <sup>d</sup>	۰/۸۲ <sup>a</sup>	۱/۷۰ <sup>ab</sup>	۰/۳۹ <sup>b</sup>	۰/۷۲ <sup>a</sup>	تلقیح شده فسفر
۰/۶۹ <sup>e</sup>	۲/۲۹ <sup>c</sup>	۰/۵۰ <sup>c</sup>	۱/۷۴ <sup>ab</sup>	۰/۳۷ <sup>b</sup>	۰/۵۳ <sup>c</sup>	روی+ فسفر

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار دارند

Mean values marked with the different letters are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

Mollaei *et al.* (2020) در بررسی اثر محلول‌پاشی فسفر بر رشد، عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی گزارش کردند که کاربرد فسفر باعث افزایش آنتی‌اکسیدان‌های کل شد. Heshmati *et al.* (2016) در بررسی تأثیر کود شیمیایی و زیستی فسفر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و صفات بیوشیمیایی گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius*) تحت تنش کمبود آب نشان دادند که کود زیستی فسفر باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و میزان پروتئین‌های محلول برگ در شرایط تنش در مراحل رویشی و زایشی شد. در مجموع نتایج نشان می‌دهد که قارچ ممکن است در چندین پاسخ فیزیولوژیک از طریق فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان دخالت کند. فیتوهورمون‌هایی مانند اکسین و سیتوکین تولید شده توسط قارچ ممکن است سطح آنزیم‌های

کاربرد کود روی و کاربرد همزمان قارچ و کود فسفره به ترتیب بیشترین تأثیر را بر افزایش محتوای آنزیم اسکوربات پراکسیداز برگ و میوه توت‌فرنگی داشت. Waller *et al.* (2005) گزارش کردند که *S. indica* باعث افزایش محتوای آسکوربات کل گیاه جو شده و از این طریق در ایجاد مقاومت در برابر بیماری‌های قارچی و تحمل به تنش شوری نقش داشته است. Rahmati *et al.* (2004) نیز گزارش نمودند که کاربرد روی در مقایسه با تیمار شاهد، تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز داشت. مشابه این نتایج توسط Sbartai *et al.* (2011) نیز گزارش شده است.

در مورد آنزیم کاتالاز، تنها تیمار فسفر باعث افزایش معنی‌دار کاتالاز برگ توت‌فرنگی شد؛ از طرفی هیچ‌کدام از تیمارها باعث افزایش معنی‌دار

صفات فیزیولوژیک بررسی شده در گیاهان تلقیح شده با قارچ بهبود یافته است که نشان می دهد استفاده از این قارچ می تواند رشد و نمو توت فرنگی را در شرایط هواکشت افزایش دهد. از طرف دیگر، محلول دهی روی و فسفر در سیستم هواکشت نیز تأثیرات مثبتی بر رشد، عملکرد و ویژگی های فیزیولوژیک توت فرنگی داشت. بررسی نتایج نشان می دهد در بیشتر موارد، تأثیرات کاربرد همزمان قارچ و کودها نسبت به کاربرد منفرد قارچ و کود، تأثیرات مثبت و مشهودتری داشت.

در مجموع، نتایج نشان می دهد مدیریت محلول های غذایی و استفاده بهینه از عناصر مهمی نظیر فسفر و روی در کنار کاربرد میکرواگانیزم های مفید نظیر قارچ های اندوفیت می تواند به عنوان یک راهکار مناسب برای افزایش رشد و عملکرد توت فرنگی و دستیابی به کشاورزی پایدار در تولید این محصول در نظر گرفته شود.

## References

- Alinejad Elahshah, A., Moradi, H. and Sadeghi, H. (2018) Effect of foliar application of zinc and boron on quantitative and qualitative characteristics of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* cv. Aromas) in hydroponic system. *Journal of Horticultural Science* 32(2): 213-226.
- Akter, S., Hossain, M. I., Kabir, K., Jahan, M. S. and Baten, M. A. (2013) Effect of phosphorus on growth and yield of strawberry varieties. *International of Journal of Sustainable Agricultural Technology* 9(9): 8-12.

آنتی اکسیدان را در گیاهان تلقیح شده تغییر دهد (Zhang et al., 2018).

روی عنصر ضروری و کم مصرف است که در گروه های مختلف آنزیم های گیاهی شرکت داشته و در محافظت غشاء در برابر رادیکال های آزاد اکسیژن نقش مهمی ایفا می کند (Hemantaranjan, 1996) و همچنین، نقشی فعال در تولید اکسین دارد (Cakmak et al., 1989).

نتایج این پژوهش با نتایج Alinejad Elahshah et al. (2018) که اثر کاربرد روی را بر توت فرنگی بررسی کردند همسو است، آنها نشان دادند که مصرف روی موجب افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی نسبت به تیمار شاهد شد.

نتایج Heshmati et al. (2016) نشان داد استفاده از کودهای شیمیایی فسفردار باعث افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان می شود.

در مطالعه ای نشان داده شده است که کاربرد فسفر ظرفیت آنتی اکسیدانی و فتوسنتزی را در *Paeonia ostia* افزایش می دهد (Duan et al., 2022).

## نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تأثیرات تلقیح با قارچ اندوفیت *S. indica* و محلول دهی روی و فسفر بر رشد، عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک رقم سابرینا توت فرنگی بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد قارچ *S. indica* باعث افزایش تعداد گل و میوه در تمام تیمارها شده است، که به نوبه خود می تواند عملکرد نهایی را نیز افزایش دهد. همچنین اغلب

- Amiri, M., Boroumand, N. and Rashidi, N. (2012) Effects of simultaneous application of phosphorus and zinc on the characteristics of strawberry fruit and plantlets. In: Proceeding of the National Conference on Environment and Plant Production, Semnan, Iran (in Persian).
- Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24(1): 1-15.
- Askari, M., Amini, F. and Jamali, F. (2015) Effects of zinc on growth, photosynthetic pigments, proline, carbohydrate and protein content of *Lycopersicum esculentum* under salinity. *Journal of Plant Process and Function* 3(9): 45-58 (in Persian).
- Bajaj, R., Hu, W., Huang, Y., Chen, S., Prasad, R., Varma, A. and Bushley, E. (2015) The beneficial root endophyte *Piriformospora indica* reduces egg density of the soybean cyst nematode. *Biological Control* 90: 193-199.
- Baybordi, A. (2006) Zinc in soils and crop nutrition. 1st edition, Parivar Press (in Persian).
- Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein dyebinding. *Analytic Biochemistry* 72: 248-254.
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I. and Lux, A. (2007) Zinc in plants. *New Phytologist* 173(4): 677-702.
- Bukvic, G., Antunovic, M., Popovic, S. and Rastija, M. (2003) Effect of P and Zn fertilization on biomass yield and its uptake by maize lines (*Zea mays* L.). *Plant Soil Environment* 49: 505-510.
- Cakmak, I., Marschner, H. and Bangerth, F. (1989) Effect of zinc nutrition status on growth, protein metabolism and level of indole-3 acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Experimental Botany* 40: 405-415.
- Cheng, C., Li, D., Wang, B., Liao, B., Qu, P., Liu, W., Zhang, Y. and Lu, P. (2022) *Piriformospora indica* colonization promotes the root growth of *Dimocarpus longan* seedlings. *Scientia Horticulturae* 301: 111-137.
- Chien, Y. and Lin, N. (2018) Effects of biohardening with *Serendipita indica* on strawberry growth and resistance to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of Edmicinal Plant Research* 60: 1-8.
- Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P. and Thorpe, T. A. (1981) Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany* 32: 93-101.
- Duan, X., Liu, W., Wang, X., Zhang, L., Liu, S., Guo, L., Guo, D. and Hou, X. (2022) Effects of phosphorus fertilization on growth characteristics, fatty acid composition, and seed yields of fengdan (*Paeonia ostii* T. Hong and JX Zhang). *Horticultural Science* 57(6): 733-740.
- Ebrahimian, E. and Bybordi, A. (2011) Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 9: 422-427.
- Feng, H. Y., Feng, G., Wang, J. G. and Li, X. L. (2003) Regulation of P status host plant on alkaline phosphatase (ALP) activity in intraradical hyphae and development of extraradical hyphae of AM fungi. *Mycosystema* 22: 589-598.
- Ferreira, L. C., Cataneo, A. C., Remaeh, L. M. R., Corniani, N., de Fatima Fumis, T., de Souza, Y. A., Scavroni, J. and Soares, B. J. A. (2010) Nitric oxide reduces oxidative stress generated by lactofen in soybean plants. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 97(1): 47-

- 54.
- Ghabooli, M., Khatabi, B., Ahmadi, F. S., Sepehri, M., Mirzaei, M., Amirkhani, A. and Salekdeh, GH. (2013) Proteomics study reveals the molecular mechanisms underlying water stress tolerance induced by *Piriformospora indica* in barley. *Journal of Proteomics* 94: 289-301.
- Gurusubramanian, G., Rahman, A., Sarmah, M., Ray, S. and Bora, S. (2008) Pesticide usage pattern in tea ecosystem, their retrospects and alternative measures. *Journal of Environmental Biology* 29: 813-826.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Moller, I. and White, P. (2012) Functions of macronutrients. In: *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (Ed. Marschner, P.) 135-189. Academic Press, London.
- Hayden, A. L., Brigham, L. A. and Giacomelli, G. A. (2004) Aeroponic cultivation of ginger (*Zingiber officinalis*) rhizomes. *Acta Horticulturae* 659: 397-402.
- Hemantaranjan A. (1996) Physiology and biochemical significance of zinc in plants. In: *Advancement in Micronutrient Research*, Ed. Hemantaranjan A. Scientific Publishers, India.
- Heshmati, S., Amini Dehaghi, M. and Fathi Amirkhiz, K. (2016) Effect of chemical and biological phosphorus on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress conditions. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing* 6(19): 203-214
- Husaini, A. M., Abdin, M. Z., Khan, S., Xu, Y. W., Aquil, S. and Anis, M. (2012) Modifying strawberry for better adaptability to adverse impact of climate change. *Current Science* 102: 1660-1673.
- Izadi, F., Ghabooli, M., Rostami, M. and Movahedi, Z. (2021) Evaluation of fungus *Piriformospora indica* effects on some morphophysiological traits of radish under heavy metal stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 31(3): 117-129 (in Persian).
- Kaboosi, E., Ghabooli, M. and Karimi, R. (2022). *Piriformospora indica* inoculants enhance flowering, yield, and physiological characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in different growth phases. *Iranian Journal of Plant Physiology* 12(3): 4183-4194 (in Persian).
- Karimi, F., Sepehri, M., Afuni, M. and Hajabbasi, M. (2015) Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on barley resistance to lead. *Isfahan University of Technology* 19(71): 311-321 (in Persian).
- Kashi, A. K. and Hekmati, J. (1991). *Strawberry breeding*. Ahmadi Press, Tehran, Iran (in Persian)
- Kazemi, M. (2014) Influence of foliar application of Iron, Calcium and Zinc sulfate on vegetative growth and reproductive characteristics of strawberry cv. 'Pajaro'. *Trakia Journal of Sciences* 1: 21-26 (in Persian).
- Khalid, M., Rahman, S. U. and Huang, D. F. (2019) Molecular mechanism underlying *Piriformospora indica*-mediated plant improvement/protection for sustainable agriculture. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica* 51(3): 229-242.
- Li, F., Hao, Z. P. and Chen, B. D. (2019) Molecular mechanism for the adaption of arbuscular mycorrhizal symbiosis to phosphorus deficiency. *Journal of Plant Nutrition*. 25: 1989-1997.
- Marschner, H. (2002) *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd Edition, Academic

- Press, London, UK.
- Mashayekhi, P. and Tatari, M. (2017) Effect of different concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium on some quantitative and qualitative characteristics of strawberry cv. Selva in hydroponic culture. *Iranian Journal of Soil Research* 30(4): 391-402 (in Persian).
- Mashayekhi, P. and Marjoy, A. (2017) The effect of different levels of nitrogen, potassium and phosphorus on absorption of macro elements by strawberry plants in different growth stages in hydroponic culture. In: *Proceeding of the 15th Iranian Soil Science Congress, Isfahan, Iran* (in Persian).
- Mensah, R. A., Li, D., Liu, F., Tian, N., Sun, X., Hao, X., Lai, Z. and Cheng, C. (2020) Versatile *Piriformospora indica* and its potential applications in horticultural crops. *Horticultural Plant Journal* 6: 111-121.
- Molaie, M., Tabatabaei, S. and Sharafi, Y. (2018) The effect of foliar application of glucose and mono potassium phosphate ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) on some characteristics of strawberry cultivar "Camarosa" in Hydroponic condition. *Horticultural Plants Nutrition* 1(2): 51-64 (in Persian).
- Mollaei, N., Tabatabae, S. and Sharafi, Y. (2020) Effect of phosphorus spraying and nutrigration on growth, yield and quality of strawberries in soilless culture. *Horticultural Plants Nutrition* 3(2): 107-116 (in Persian).
- Movahedi, Z., Rostami, M. and Ghabooli, M. (2020) *Piriformospora indica* culture filtrate and biofertilizer (Nitrokara) promote chicory (*Cichorium intybus* L.) growth and morpho-physiological traits in an aeroponic system and soil Cculture. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 4: 353-363.
- Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidases in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology* 22: 867-880.
- Rahmani, H. and Mohammadi Goltapeh, E. (2018) Effect of endophytic fungi *Piriformospora indica* on flowering and root growth parameters of strawberry in hydroponic culture. *Journal of Horticultural Science* 32(2): 239-249 (in Persian).
- Rahmati, M., Yazdani, M. and Ghanati, F. (2004) Effect of excess amount of Mn on activation of certain enzymes antioxidant system in suspension-cultured tea cells. In: *Proceeding of the 2nd Congress on Applied Biology, Mashhad, Iran* (in Persian).
- Rani, M., Raj, S., Dayaman, V., Kumar, M., Dua, M. and Johri, A. K. (2016) Functional characterization of a hexose transporter from root endophyte *Piriformospora indica*. *Frontiers in Microbiology* 7(1083): 1-15.
- Reshna, O. P., Beena, R., Joy, M., Viji, M. M. and Roy, S. (2022) Elucidating the effect of growth promoting endophytic fungus *Piriformospora indica* for seedling stage salinity tolerance in contrasting rice genotypes. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 25: 583-598.
- Rion, B. and Alloway, J. (2004) *Fundamental aspects of zinc in soils and plants*. International Zinc Association Communications. IZA publications, Brussels, Belgium.
- Saadati, S. and Moallemi, N. (2011) A study of the effect of zinc foliar application on growth and yield of strawberry plant under saline conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science* 42(3): 267-275 (in Persian).
- Sabatino, L., Iapichino, G., Consentino, B. B., Anna, F. and Roupael, Y. (2020) Rootstock and arbuscular mycorrhiza combinatorial effects on eggplant crop performance and fruit quality under greenhouse conditions. *Agronomy* 10(693): 1-15.

- Saboor, A., Ali, M. A., Husain, S., Tahir, M. S., Irfan, M., Bilal, M., Baig, K. S., Datta, R., Ahmed, N., Danish, S. and Glick, B. R. (2021). Regulation of phosphorus and zinc uptake in relation to arbuscular mycorrhizal fungi for better maize growth. *Agronomy* 11(2322): 1-15.
- Sbartai, H., Djebar, M. R., Rouabhi, R., Sbartai, I. and Berrebbah, H. (2011) Antioxidative response in tomato plants *Lycopersicon esculentum* L. roots and leaves to zinc. *American-Eurasian Journal of Toxicology Science* 1: 41-46.
- Sedri, M. H. and Ghaderi, N. (2005) Nutrient deficiency symptoms in strawberries. Technical Bulletin No. 462. Sana Publication (in Persian).
- Shahabivand, S., Parvaneh, A. and Aliloo, A. A. (2017) Root endophytic fungus *Piriformospora indica* affected growth, cadmium partitioning and chlorophyll fluorescence of sunflower under cadmium toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 145: 496-502.
- Sharma, R. R. (2002) Growing strawberries. Scientist division of fruit and horticulture technology. New Dehli, international book distributing Co. India.
- Sharma, R. R., Krishna, H., Patel, V. B., Dahuja, A. and Singh, R. (2006) Fruit calcium content and lipoxygenase activity in relation to albinism disorder in Strawberry. *Scientia Horticulturae* 107: 150-154.
- Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., Zhang, W. and Zhang, F. (2011) Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant Physiology* 156: 997-1005.
- Shlegl, H. G. (1986) Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Plant Sciences* 41:47-51.
- Sinclair, G., Charest, C., Dalpe Y. and Khanizadeh, S. (2013) Influence of colonization by arbuscular mycorrhizal fungi and a root endophyte on selected strawberry cultivars under salt conditions. *Canadian Journal of Plant Science* 93: 1-3.
- Su, Z. Z., Wang, T., Shrivastava, N., Chen, Y. Y., Liu, X., Sun, C., Yin, Y., Gao, Q. K. and Lou, B. G. (2017) *Piriformospora indica* promotes growth, seed yield and quality of *Brassica napus* L. *Microbiological Research* 199: 29-39.
- Sun, C., Johnson, J. M., Cai, D., Sherameti, I., Oelmuller, R. and Lou, B. (2010) *Piriformospora indica* confers drought tolerance in *Chinese cabbage* leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought-related genes and the plastid-localized CAS protein. *Journal of Plant Physiology* 167(12): 1009-1017.
- Tabatabaei, S. J. (2013) Principles of mineral Nutrition Plant. Tabriz University press, Iran (in Persian).
- Tavajjoh, M., Karimian, N., Ronaghi, A., Yasrebi, J., Hamidi, R. and Olama, V. (2016) Yield, yield components and seed quality of two rapeseed cultivars as affected by different levels of phosphorus and boron under greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 6(4): 99-113.
- Teimory, H., Ghabooli, M. and Movahedi, Z. (2021). Effects of different inoculation methods of *Serendipita indica* on some morphophysiological, biochemical, and yield traits of tomato under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology* 13(2): 1-22
- Vadassery, J., Ritter, C., Venus, Y., Camehl, I., Varma, A., Shahollari, B., Novak, O., Strnad, M., Ludwig-Muller, J. and Oelmuller, R. (2008). The role of auxins and cytokinins in the mutualistic interaction between *Arabidopsis* and *Piriformospora indica*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 21(10): 1371-1383.
- Varma, A., Bakshi, M., Lou, B., Anton, H.

- and Oelmüller, R. (2012). *Piriformospora indica*: a novel plant growth-promoting mycorrhizal fungus. *Agricultural Research* 1: 117-131.
- Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Huckelhoven, R., Neumann, C., Von Wettstein, D. and Franken, P. (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.
- Wang, J., Chen, Y., Wang, P., Li, Y. S. and Khan, A. (2018) Leaf gas exchange, phosphorus uptake, growth and yield responses of cotton cultivars to different phosphorus rate. *Photosynthetica* 56: 1414-1421.
- Wu, C., Li, B., Wei, Q., Pan, R. and Zhang, W. (2019) Endophytic fungus *Serendipita indica* increased nutrition absorption and biomass accumulation in *Cunninghamia lanceolata* seedlings under low phosphate. *Acta Ecologica Sinica* 39(1): 21-29.
- Xu, Z., Pehlivan, N., Ghorbani, A. and 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): 1-19.
- Yamasaki, H., Sakihama, Y. and Ikehara, N. (1997) Flavonoid-peroxidase reaction as a detoxification mechanism of plant cells against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Plant Physiology* 115: 1405-1412.
- Zhang, Y., Liu, F., Wang, B., Wu, H., Wu, J., Liu, J., Sun, Y., Cheng, C. and Qiu, D. (2021) Identification, characterization and expression analysis of anthocyanin biosynthesis-related bHLH genes in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *International Journal of Molecular Sciences* 22(13274): 1-19.
- Zhang, W., Wang, J., Xu, L., Wang, A., Huang, L., Du, H., Qiu, L. and Oelmüller, R. (2018). Drought stress responses in maize are diminished by *Piriformospora indica*. *Plant Signaling and Behavior* 13(1): 1-11.
- Zhang, S. B., Wang, Y. S., Yin, X. F., Liu, J. B. and Wu, F. X. (2017) Development of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and their influences on the absorption of N and P of maize at different soil phosphorus application levels. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*. 23: 649-657.