

برهمکنش قارچ میکوریز آربوسکولار و زئولیت طبیعی بر رشد، عملکرد و عناصر معدنی توت‌فرنگی رقم آروماس

Interaction of Mycorrhizal Fungi and Natural Zeolite on Growth, Yield and Mineral Elements of Strawberry (Aromas Cultivar)

سعید عشقی*، مینا اسفندیاری، سجاد میرمقدم، زهرا عفیفی‌پور

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (Eshghi@shirazu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۶

چکیده

خاک‌هایی که دارای حاصلخیزی پایین و آهکی هستند، رشد رویشی و زایشی گیاهان و از جمله توت‌فرنگی در این خاک‌ها محدود می‌شود. از این جهت مواد معدنی طبیعی همچون زئولیت برای بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به کار می‌روند. برای بررسی تأثیر قارچ میکوریز و زئولیت بر رشد، عملکرد و مقدار عناصر معدنی گیاهان توت‌فرنگی رقم آروماس آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در سال ۱۳۹۱ در گلخانه اجرا شد. فاکتور اول شامل سه سطح قارچ میکوریز (*Glomus intraradices* و *Glomus etunicatum* و بدون قارچ (۵۰ گرم)) و فاکتور دوم شامل ۴ سطح زئولیت (۰، ۴، ۸، ۱۲ گرم در کیلوگرم خاک) بود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین سطح برگ مربوط به تیمار بدون زئولیت و قارچ گلوبوس اتونیکاتوم با ۸/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد بود. همچنین بیش‌ترین وزن تر ریشه (۱۲/۸۳ گرم)، درصد مواد جامد محلول (۷/۰۵ درصد) مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوبوس اینترارادیسز بود. بیش‌ترین وزن میوه (۱۳/۴۴ گرم) مربوط به تیمار برهمکنش قارچ گلوبوس اتونیکاتوم و ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک بود. قارچ گلوبوس اتونیکاتوم باعث افزایش معنی‌دار ۲۰/۲ درصدی عملکرد تک بوته و قارچ گلوبوس اینترارادیسز باعث افزایش ۱۵/۷ درصدی عملکرد نسبت به تیمار شاهد بدون قارچ شده است. بیش‌ترین جذب کل پتاسیم مربوط به تیمار ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت و قارچ گلوبوس اینترارادیسز بود. بیش‌ترین میزان کلنیزاسیون ریشه مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوبوس اتونیکاتوم است. به‌طور کلی کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوبوس اتونیکاتوم به میزان ۵۰ گرم بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد توت‌فرنگی و دیگر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده داشتند.

واژه‌های کلیدی: توت‌فرنگی، جذب عناصر غذایی، خاک‌های آهکی، زئولیت، گلوبوس اتونیکاتوم.

مقدمه

به‌دنبال رشد بی‌رویه جمعیت جهان در سال‌های اخیر تولید هرچه بیش‌تر فرآورده‌های کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است. یکی از راهکارهای تولید بیش‌تر این فرآورده‌ها افزایش عملکرد در واحد سطح در میان‌مدت و بلندمدت با مصرف نهاده‌هایی مانند انواع کودهای شیمیایی و زیستی است (Abbas *et al.*, 2012; Chiomento *et al.*, 2021). از بین کودهای مختلف، کودهای شیمیایی به دلیل مصرف راحت‌تر و اثربخشی مناسب بیش از سایر کودها در گذشته مصرف شده‌اند، غافل از اینکه مصرف بیش از حد آن‌ها آلودگی‌های زیست‌محیطی را به‌دنبال داشته است (Hagin *et al.*, 1996).

استفاده از منابع گیاهی و حیوانی قابل تجدید و منابع زیستی به جای منابع شیمیایی می‌تواند نقش مهمی در باروری و حفظ فعالیت‌های زیستی خاک، افزایش کیفیت محصولات کشاورزی و سلامت زیست‌بوم داشته باشد (Zaidi et al., 2003). کودهای زیستی حاوی مواد نگهدارنده‌ای با جمعیت متراکم از یک یا چند نوع موجود زنده مفید خاک‌زی و با هدف عرضه مناسب عناصر غذایی گیاه در یک سیستم کشاورزی پایدار به کار می‌روند (Darzi et al., 2008).

اغلب پژوهشگران بر این باورند که با یک مدیریت مناسب، با استفاده از کودهای زیستی و ریزجانداران می‌توان شرایط تغذیه‌ای بهتری را برای گیاه فراهم کرد (Lopes et al., 2022). برخی از ریزجانداران خاک قادرند از طریق اشغال قسمتی از ریشه گیاهان با میزبان رابطه همزیستی برقرار نمایند. در این میان همزیستی قارچ با گیاه شاید یکی از مهم‌ترین پدیده‌های جالب و قابل توجه در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی به‌شمار آید (Jeffries et al., 2003).

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار یکی از انواع کودهای زیستی بوده که دارای رابطه همزیستی با ریشه بیشتر گیاهان می‌باشند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی (مانند فسفر، نیتروژن و برخی عناصر کم‌مصرف مثل روی و آهن)، افزایش جذب آب، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زیستی (عوامل بیماری‌زا) و غیرزیستی (خشکی، شوری و ...) سبب بهبود رشد و نمو و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Lopes et al., 2022).

میکوریز با ایجاد همزیستی با ریشه گیاهان خشکی‌زی، جذب و انتقال عناصر غذایی به داخل گیاه را تسهیل می‌نماید (Parada et al., 2019; Begum et al., 2021). افزون بر این، تشکیل کلنی با قارچ‌های میکوریز کارایی فتوسنتزی را در گیاهان افزایش می‌دهد (Rasouli et al., 2022). تأثیر مثبت قارچ میکوریز بر رشد و نمو گیاهان چند ساله در آزمایش‌های گلدانی و گلخانه‌ای توسط بسیاری از نویسندگان در مطالعات خود گزارش شده است (Vosnjak et al., 2021).

به دلیل اینکه در سال‌های اخیر توجه زیادی به توسعه کشاورزی پایدار شده است، از این جهت علاوه بر همزیستی قارچ‌های میکوریز، مواد معدنی طبیعی همچون اصلاح‌کننده‌های خاک برای بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به کار می‌روند. استفاده از این مواد سبب افزایش نگهداری آب و مصرف بهتر کودها در طی دوره رشد می‌شود. اخیراً گروه کانی‌های ژئولیت مورد توجه قرار گرفته‌اند. ژئولیت کلینوپتیلولیت یک ماده معدنی ژئولیت هیدراته طبیعی است که در کشاورزی برای اهداف مختلف استفاده می‌شود. یکی از دلایل استفاده از ژئولیت در فعالیت‌های کشاورزی، بهره‌وری بیشتر از خاک، خاصیت جذب رطوبت و نگهداری آن برای مدت طولانی و صرفه‌جویی در مصرف کود شیمیایی و جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی است. ژئولیت با دانه‌بندی مطلوب می‌تواند سبب بهبود ویژگی‌های هیدرو-فیزیکی خاک گردد (Eprikashvili et al., 2016; Choo et al., 2020). گزارش شده‌است که اصلاح خاک با ژئولیت باعث افزایش عملکرد محصول برای جو، ذرت، برنج، سیب زمینی، گندم، توت فرنگی، و آفتابگردان شده‌است (Choo et al., 2020). کارایی ژئولیت در بهبود بهره‌وری خاک و محصول را می‌توان به ساختار آن نسبت داد که از واحدهای چهار وجهی سیلیس و آلومینا با منافذ به هم پیوسته به هم مرتبط شده توسط اتم‌های اکسیژن مشترک تشکیل شده است. این ساختار منحصربه‌فرد ژئولیت سطح ریز متخلخل داخلی بزرگی را برای جذب مواد مغذی (جذب و دفع) از طریق تبادل کاتیونی و گیر افتادن مواد مغذی در حفره‌های ژئولیت فراهم می‌کند. این ویژگی‌های ژئولیت آن را قادر می‌سازد تا مواد مغذی را جذب کند (Choo et al., 2020) که از بارزترین اثرات ژئولیت‌ها انتقال عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و بالا بردن توانایی جذب آن‌ها گزارش شده است (Koljajic et al., 2003). علاوه بر این، ژئولیت‌ها رشد و نمو گیاهان را بهبود می‌بخشد و کاربرد آنها باعث افزایش عملکرد می‌شود (Milošević & Milošević, 2012). ژئولیت و کاربرد آن در کشاورزی، مبحثی نوین و رو به رشد است که با توجه به مشکلات کمبود آب و شوری اراضی از یک سو و وجود معادن غنی ژئولیت در ایران و هزینه کم تأمین آن از سوی دیگر، استفاده از آن مورد توجه زیادی قرار گرفته است.

توت‌فرنگی یکی از مهم‌ترین و خوش‌طعم‌ترین میوه‌ها در دنیا است و سرشار از ویتامین‌ها و املاح معدنی است و ارزش غذایی بالایی دارد. این میوه دارای فعالیت‌های بیولوژیکی مهمی مانند فعالیت آنتی‌اکسیدانی و اثر ضد التهابی است که همگی مربوط به حضور متابولیت‌های ثانویه، عمدتاً آنتوسیانین‌ها هستند (Chiomento et al., 2021). از لحاظ آب و هوا در شرایط مرطوب و نسبتاً گرم محصول‌دهی مناسبی خواهد داشت و باید آب کافی در اختیار گیاه توت فرنگی قرار گیرد. آروماس یک رقم روز خنثی است و دارای میوه درشت و مخروطی شکل، سفت و بسیار براق و خوش نما می‌باشد. طعم آن بسیار خوب

است. این رقم دارای عملکرد بالایی می باشد و میزان برداشت بیشتری نسبت به رقم سلوا را دارا می باشد (Chiomento et al., 2021). بر اساس آمار فائو (FAO, 2019) کشور چین بزرگترین تولید کننده توت فرنگی در دنیاست و کشورهای آمریکا، مکزیک، ترکیه، مصر و اسپانیا به ترتیب در جایگاه های بعدی قرار دارند. آمریکا با میانگین تولید بیش از ۶۵ تن در هکتار، بیشترین عملکرد در واحد سطح را دارد و پس از آن کشورهای اسپانیا (۴۹ تن در هکتار) و مکزیک (۴۷/۸ تن در هکتار)، بیشترین عملکرد در واحد سطح را دارند. ایران از لحاظ سطح زیر کشت توت فرنگی در رتبه ۱۸ اما از نظر عملکرد در واحد سطح، در رتبه سی و نهم دنیا قرار دارد. گزارش شده است که در کشت توت فرنگی، همزیستی میکوریز سبب می شود که از مورفولوژی سیستم ریشه گیاه سود برده و کیفیت فیتوشیمیایی میوه ها را بهبود بخشند (Berruti et al., 2016; Chiomento et al., 2019; Parada et al., 2019).

ایران به دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی منحصربه فرد که همزمان هر چهار اقلیم را دارد، در آینده ای نزدیک می تواند به عنوان یکی از تولیدکنندگان عمده توت فرنگی مطرح شود. کمبود عناصر غذایی روی رشد رویشی و زایشی توت فرنگی می تواند مؤثر باشند و همچنین روی طعم و کیفیت میوه تغییرات نامطلوبی را ایجاد می کنند. با توجه به این که بیشتر خاک های ایران کم حاصلخیز و آهکی هستند، گیاه توت فرنگی در جذب برخی از عناصر غذایی به ویژه فسفر، آهن، روی، مس و منگنز دچار مشکل می شود، بنابراین کاربرد کانی های ژئولیت و همچنین همزیست کردن قارچ های میکوریز با ریشه آن ها می تواند نقش به سزایی در کاهش این مشکل و افزایش کمی و کیفی تولید میوه را به دنبال داشته باشد. همچنین با توجه به مصرف بی رویه کودهای شیمیایی و مشکلات ناشی از آن، گرسنگی نهان عناصر کم مصرف و همچنین نظر به اهمیت اقتصادی توت فرنگی که سطح زیر کشت این محصول در کشور رو به افزایش است. این مطالعه با هدف بررسی کاربرد قارچ های میکوریز آربوسکولار (*Glomus intraradices* و *Glomus etunicatum*) و مقادیر مختلف کانی ژئولیت از نوع کلینوپتیلولیت پتاسیمی در محیط ریشه روی رشد، گلدھی و عملکرد توت فرنگی و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی به منظور بهبود خصوصیات رشدی و کمی میوه توت فرنگی انجام شد.

مواد و روش ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار تکرار و با دو گلدان در هر تکرار و با دو عامل شامل کانی ژئولیت کلینوپتیلولیت پتاسیمی در چهار سطح ۰، ۴، ۸، ۱۲ گرم در کیلوگرم خاک و دو گونه قارچ میکوریز (*G. etunicatum* و *G. intraradices*) برای هر گلدان ۳ کیلوگرمی ۵۰ گرم و یک سطح بدون قارچ در گلخانه به اجرا در آمد. به طور کلی ۱۲ تیمار آزمایش شد که اثر هر کدام از عوامل به صورت جداگانه و تلفیقی مورد بررسی قرار گرفت و در مجموع ۹۶ (۲×۴×۱۲) گلدان ماده آزمایشی را تشکیل می داد.

در ابتدا نمونه های سه کیلوگرمی از خاک را درون کیسه های پلاستیکی ریخته و پس از نتایج آزمون خاک (جدول ۱) عناصر غذایی مورد نیاز شامل فسفر از منبع $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ به میزان ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک، روی از منبع $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ به میزان ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک، منگنز از منبع $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ به میزان ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک، مس از منبع $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ به میزان ۲/۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک و آهن از منبع سکوسترن آهن به میزان ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک و نیتروژن از منبع اوره به میزان ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک اضافه گردید و اجازه داده شد تا خاک خشک شود. سپس خاک درون این کیسه ها به خوبی مخلوط شده و به گلدان های سه کیلوگرمی انتقال داده شد. قبل از انتقال خاک به گلدان ها، کف گلدان ها با یک لایه سنگریزه جهت زهکشی پوشانده شدند. قارچ های میکوریز در زمان کاشت بوته ها در گلدان در اطراف ریشه های گیاه ریخته شدند. مقادیر مختلف ژئولیت نیز قبل از کشت بوته ها، به خاک گلدان اضافه شده و به خوبی با خاک مخلوط گردیدند. نشاهای ریشه دار شده توت فرنگی رقم آروماس از نهالستانی تجاری واقع در خفر جهرم تهیه و در گلخانه بخش علوم باغبانی که دارای سیستم خنک کننده ی پوشال و پنکه بود، در گلدان های پلاستیکی سه کیلوگرمی کاشته شدند. در هر گلدان یک بوته کاشته شد. در حین کاشت تیمارهای ژئولیت و قارچ میکوریز نیز به گلدان ها اضافه شدند. در گلخانه دمای روز و شب به ترتیب 25 ± 3 و 15 ± 3 درجه سلسیوس، شرایط نور طبیعی و رطوبت نسبی 5 ± 60 درصد بود. در طول دوره رشد، بوته های توت فرنگی در حدود ظرفیت مزرعه به طور مساوی آبیاری می شدند. همچنین به منظور تهویه بهتر خاک و جلوگیری

از سله بستن، عمل سله شکنی به طور مرتب در طول دوره رشد انجام می‌گرفت. از زمان اعمال تیمارها تا زمانی که گیاهان وارد مرحله گلدهی شدند، حدود ۸۰ روز طول کشید و از آغاز گلدهی تا پایان دوره میوه دهی که حدود ۳ ماه بود، ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان در پایان آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Some physico-chemical properties of the experimental soil.

ویژگی Characteristics	میزان Content
شن (درصد) Sand (%)	30
سیلت (درصد) Silt (%)	34
رس (درصد) Clay (%)	36
بافت Texture	Clay Loam
پ-هاش pH	7.42
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (ds/m)	1.1
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	1.48
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار در کیلوگرم) Cation exchange capacity (cmol Kg ⁻¹)	26
فسفر قابل حل در بیکربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Soluble phosphorus in sodium bicarbonate (mg kg ⁻¹)	6.4
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) K (mg kg ⁻¹)	225
روی قابل استخراج با دی تی پی ۱ (میلی‌گرم در کیلوگرم) Zn extractable with DTPA (mg kg ⁻¹)	0.59
آهن قابل استخراج با دی تی پی ۱ (میلی‌گرم در کیلوگرم) Fe extractable with DTPA (mg kg ⁻¹)	2.09
منگنز قابل استخراج با دی تی پی ۱ (میلی‌گرم در کیلوگرم) Mn extractable with DTPA (mg kg ⁻¹)	2.05
مس قابل استخراج با دی تی پی ۱ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu extractable with DTPA (mg kg ⁻¹)	0.78

سطح برگ

۹۰ روز پس از کاشت بوته‌ها، برای اندازه‌گیری سطح برگ از هر بوته سه برگ چیده شده و توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل DELTA-T DEVICES LTD ساخت انگلیس سطح کل آن محاسبه شد و سپس میانگین آن‌ها به دست آمد و مورد بررسی قرار گرفت.

وزن ویژه برگ

ابتدا ۱۰ دیسک برگ، هر یک به مساحت ۱ سانتی مترمربع، از هر تکرار تهیه شد. آن گاه دیسک‌ها در 70°C به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا اینکه کاملاً آب خود را از دست دادند و از فرمول زیر برای محاسبه‌ی وزن ویژه استفاده شد (۲۰):

$10 / \text{وزن خشک دیسک برگ} = \text{وزن ویژه برگ (g/cm}^2\text{)}$

وزن تر و خشک ریشه و شاخساره

در پایان آزمایش، گیاهان از گلدان خارج شده و ریشه‌های آن‌ها برای جداسازی محیط کشت به طور کامل با آب شستشو داده شدند. سپس قسمت ریشه از شاخساره جدا شده و توزین هر دو قسمت به طور جداگانه انجام گرفت. آن گاه به مدت ۴۸ ساعت در آون ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و وزن خشک ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد.

شاخص سبزی‌نگی

برای شاخص سبزی‌نگی، ابتدا از هر گلدان پنج برگ کاملاً توسعه یافته به صورت تصادفی انتخاب و سپس با دستگاه SPAD-502 میزان سبزی‌نگی آن‌ها خوانده شد و میانگین این پنج عدد ثبت گردید.

عملکرد تک بوته

در مدت ۹۰ روز، به تدریج با رسیدن میوه‌ها، آن‌ها را جمع‌آوری کرده و وزن شدند. در پایان آزمایش نیز، تمام میوه‌های باقی‌مانده روی بوته جمع‌آوری شده و وزن گردیدند. سپس وزن تمامی میوه‌ها از آغاز تا پایان آزمایش با هم جمع گردید و به عنوان میزان محصول کل هر بوته در این مدت در نظر گرفته شد.

میانگین وزن میوه

در طول دوره آزمایش و پس از رسیدن میوه‌های اول و دوم (رنگ گیری ۷۵ درصد میوه)، این میوه‌ها توزین شدند و میانگین آن‌ها به دست آمد.

میزان مواد جامد محلول (TSS)

یک قطره آب میوه را روی قندسنج دستی قرار داده و درصد مواد جامد محلول در آن اندازه‌گیری شد.

میزان اسیدیته کل

اسید غالب در میوه توت‌فرنگی اسیدسیتریک می‌باشد که مقدار اسید غالب از روش تیتراسیون با سود ۰/۳ نرمال اندازه‌گیری شد. بدین طریق که ۵ سی‌سی عصاره برداشته و سپس قطره‌قطره سود هیدروکسید سدیم ۰/۳ نرمال افزوده می‌شود تا اولین تغییر رنگ ظاهر گشته و این تغییر رنگ ثابت بماند و سپس مقدار سود مصرفی یادداشت می‌شود و در فرمول قرار می‌گیرد.

$$۱۰۰ \times \frac{\text{والانس گرم اسید غالب} \times \text{نرمالیه سود} \times \text{میزان سود مصرفی}}{1000 \times \text{وزن نمونه}} = \text{گرم اسیدسیتریک در ۱۰۰ میلی‌لیتر آبمیوه}$$

ویتامین C

میزان ویتامین C به روش اسپکتوفتومتری (۲۴) اندازه‌گیری شد. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره میوه با ۱۰ میلی‌لیتر متافسفریک ۱٪ مخلوط شده و ۱ میلی‌لیتر از محلول حاصله را با ۹ میلی‌لیتر ۶ و ۲- دی کلرو ایندوفنول ۵۰ میکرومولار مخلوط کرده و چند ثانیه با ورتکس تکان داده شد، سپس در طول موج ۵۱۵ توسط دستگاه اسپکتوفتومتر (T60 UV visible, Japan) خوانده شد. واحد اعداد به دست آمده میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت میوه است.

آنتوسیانین

اندازه‌گیری آنتوسیانین به روش تغییر pH، (۴) انجام شد. به این صورت که با ساختن دو بافر با pH های ۱ و ۴/۵ بعد با اضافه کردن آب میوه (۱ میلی‌لیتر آب میوه - ۴ میلی‌لیتر بافر) و سپس با استفاده از اسپکتروفتومتر (T60 UV visible, Japan) در طول موج‌های ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر قرائت گردید. بلانک آب مقطر می‌باشد. سپس اعداد قرائت‌شده را در فرمول گذاشته و میزان آنتوسیانین محاسبه می‌گردد.

$$\text{Anthocyanin pigment (cyaniding-3-glucoside equivalents, mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{26900 \times 1}$$

A = (A520nm - A 700nm) pH1.0 - (A520nm - A700nm) pH4.05

MW(molecular weight) = 449.2 g/mol for cyaniding-3-glucoside.

DF = dilution factor established in D; 1 = pathlength in cm; e = 26900 molar extinction coefficient, in L ' mol⁻¹, for cyd-3-glu; and

103 = factor for conversion from g to mg.

اندازه‌گیری عناصر معدنی در بافت برگ

در پایان آزمایش و پس از جداسازی اندام هوایی گیاه و میوه‌های توت‌فرنگی تمامی نمونه‌ها با آب مقطر شست و شو داده شدند تا عاری از هر گونه آلودگی گردند. نمونه‌های برگ در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و سپس توزین و در آسیاب برقی پودر شدند. سپس ۱ گرم ماده خشک گیاهی در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شد و از پودر حاصل جهت تجزیه‌های آزمایشگاهی استفاده شد. اندازه‌گیری نیتروژن کل به روش میکرو کجلدال (Bremner, 1996) انجام شد که البته برای اندازه‌گیری نیتروژن نیازی به خاکستر کردن نیست. بخشی از نمونه برگ قبل از خاکستر کردن استفاده می‌شود. آهن و روی به وسیله دستگاه جذب اتمی شیماتزو مدل AA-670c و پتاسیم با روش شعله سنجی و فسفر به روش آبی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Watanabe & Olsen, 1965) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری درصد کلنیزاسیون ریشه

۹۰ روز پس از کاشت بوته‌ها، به‌منظور رنگ آمیزی ریشه، ابتدا ۲ گرم از ریشه‌های نگه‌داری شده در فرمالین-اسید استیک-الکل (FAA)، ۳-۴ مرتبه با آب شستشو داده شدند و لوله‌های فالكون حاوی محلول KOH ۱۰ درصد، برای ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. در طی این مدت محلول یاد شده با لیز کردن دیواره سلولی سبب خروج اجزای سیتوپلاسمی و هسته‌ها از سلول می‌شود و در مراحل بعدی نفوذ رنگ به درون بافت ریشه را تسهیل می‌کند. در پایان این مرحله، محلول به رنگ تقریباً زرد یا زرد کم رنگ در می‌آید. بعد از این مدت محلول بیرون ریخته شده و ریشه‌ها ۳-۴ مرتبه با آب شستشو گردید. نمونه‌ها دست‌کم به مدت ۱۵ دقیقه در محلول اسیدکلریدریک ۲ درصد قرار داده شده تا آماده رنگ‌پذیری شوند. در ادامه اسید را خالی کرده و بدون شستشو با آب و به همان حالت اسیدی، روی ریشه‌ها محلول رنگی به شرح زیر اضافه و ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری می‌گردد. در این پژوهش از جوهر آبی پلیکان برای رنگ‌آمیزی استفاده شد. محلول رنگی جوهر آبی شامل نسبت حجمی ۱:۱ از جوهر ۵ بار رقیق شده و محلول رنگ بر است که در این حالت محلول رنگ بر، نسبت حجمی ۱:۱۴ از اسیدلاکتیک: گلیسرین: آب را شامل می‌شود. در ادامه محلول رنگ را خارج نموده و به منظور حذف رنگ‌های اضافی، محلول رنگ بر روی ریشه‌ها ریخته شد. بعد از ۶ الی ۱۲ ساعت در ظرف پتری دیش که زیر آن کاغذ شبکه‌بندی شده با ابعاد 1cm x 1cm قرار گرفته بود (روش تقاطع خطوط شبکه)، ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به طور تصادفی پخش و اندام‌های قارچی شامل آربسکول، هیف و وزیکول در زیر میکروسکوپ نوری شمارش شدند (Kormanik, 1982).

واکاوی داده‌ها

واکاوی آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹) انجام گرفته و مقایسه میانگین‌ها به وسیله آزمون دانکن و در سطح ۵٪ انجام شد.

نتایج

سطح برگ، وزن ویژه برگ

با توجه به جدول ۲ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین سطح برگ (۱۵۳/۸۶ سانتی‌متر مربع) مربوط به تیمار بدون زئولیت و قارچ گلوبوس اتونیکاتوم با ۸/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد می‌باشد و کمترین (۹۱/۶۸ سانتی‌متر مربع) آن مربوط به تیمار ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و بدون قارچ با ۳۵/۴ درصد کاهش نسبت به شاهد می‌باشد. با توجه به جدول ۲ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین میزان وزن ویژه برگ (۹ میلی‌گرم در سانتی‌متر مربع) مربوط به تیمار ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و بدون قارچ می‌باشد که نسبت به شاهد دارای افزایش ۷/۴ درصدی می‌باشد و کمترین (۶/۳ میلی‌گرم در سانتی‌متر مربع) آن مربوط به تیمار ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوبوس اینترادیسز است که دارای کاهش معنی‌دار ۲۴ درصدی نسبت به شاهد می‌باشد.

وزن تر و خشک ریشه

با توجه به جدول ۲ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین وزن تر ریشه (۱۲/۸۳ گرم) مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوبوس اینترادیسز می‌باشد و کمترین (۷/۰۸ گرم) آن مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم خاک زئولیت و قارچ گلوبوس اتونیکاتوم می‌باشد. با توجه به جدول ۲ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار ۴ گرم

در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اتونیکاتوم می باشد و کمترین آن نیز مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و بدون قارچ (شاهد) است.

وزن تر و خشک شاخساره

با توجه به جدول ۲ در برهمکنش عامل ها، بیشترین میزان وزن تر شاخساره (۱۶/۳۷ گرم) مربوط به کاربرد قارچ گلوموس اتونیکاتوم و میزان ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و کمترین (۶/۸۰ گرم) آن مربوط به کاربرد ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ شاهد می باشد. مقایسه اثر عامل های اصلی (جدول ۳) نشان می دهد که اثر قارچ بر وزن خشک شاخساره معنی دار می باشد. کاربرد هردو گونه قارچ باعث افزایش وزن خشک شاخساره گشته است که قارچ گلوموس اتونیکاتوم باعث افزایش ۶۳ درصدی و قارچ گلوموس اینترادیسز موجب افزایش ۲۴/۳ درصدی وزن تر شاخساره نسبت به عدم کاربرد قارچ گشته است. با افزایش میزان زئولیت از ۰ به ۴ گرم در کیلوگرم خاک افزایشی معنی دار در میزان وزن خشک شاخساره و با افزایش آن از ۰ به ۸ و ۱۲ گرم در کیلوگرم خاک کاهشی در میزان وزن خشک شاخساره مشاهده می شود که این کاهش معنی دار نمی باشد.

جدول ۲- اثر برهمکنش قارچ میکوریز و زئولیت بر برخی خصوصیات رویشی توت فرنگی رقم آروماس.

Table 2. The interaction effect of mycorrhizal fungus and zeolite on some vegetative characteristics of Aromas strawberry cultivar.

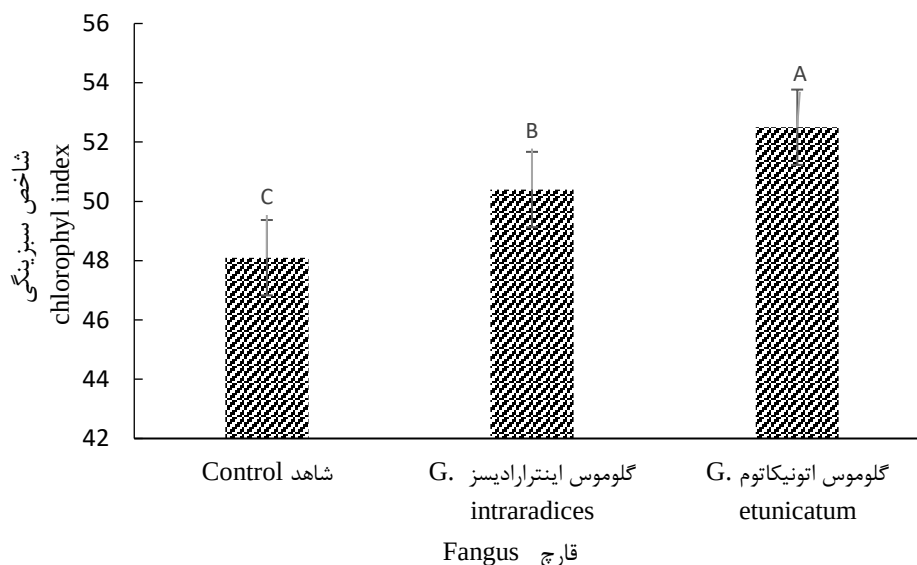
قارچ Fungus	زئولیت Zeolite) (g/Kg)	سطح برگ Leaf area (cm ²)	وزن ویژه برگ Leaf specific weight (mg/cm ²)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
شاهد Control	0	142.02a-c†	8.3a-c	12.19cd	10.13c	3.68ab
	4	122.90c	7.6c-e	10.23ef	9.83c	3.40a-d
	8	97.97d	7.0f	6.88g	7.70de	2.16f
	12	91.68d	9.0a	6.80g	8.39d	2.87de
گلوموس اینترادیسز G. intraradices	0	142.26a-c	7.3de	13.30bc	11.91b	3.38a-d
	4	127.40b-c	8.6ab	14.01b	9.98c	3.21a-d
	8	93.58d	8.0b-d	11.72d	12.83a	3.76ab
	12	127.38bc	6.3f	9.49f	8.35d	2.42ef
گلوموس اتونیکاتوم G. etunicatum	0	153.86a	7.6c-e	13.06bc	11.95b	3.60a-c
	4	141.60a-c	8.0b-d	16.37a	11.19b	3.82a
	8	145.77ab	7.6c-e	11.15de	7.08e	3.09b-e
	12	138.38a-c	7.6c-e	13.09bc	8.60d	2.95c-e
معنی داری Signification						
قارچ Funji		**	ns	**	**	**
زئولیت Zeolite		**	ns	**	**	**
قارچ*زئولیت Funji*zeolite		**	**	**	**	**

† میانگین های هر ستون که دارای حرف های مشابه هستند، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه ای دانکن). **, *, ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و ns معنی دار نمی باشد.

†Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of ns; non-significant probability (Duncan's multiple range test). Significant differences ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, and

شاخص سبزینگی

مقایسه اثر قارچ میکوریز نشان می دهد که کاربرد قارچ های گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس اینترادیسز در مقایسه با شاهد سبب افزایش معنی دار به ترتیب ۴ درصدی و ۴/۵ درصدی شاخص سبزینگی توت فرنگی شده است (شکل ۱).



شکل ۱- اثر قارچ میکوریز بر شاخص سبزیگی برگ توت فرنگی رقم آروماس.

Fig.1. The main effect of mycorrhiza fungus on leaf chlorophyll index in Aromas strawberry cultivar.

معنی داری	
Signification	
قارچ	**
Funji	
زئولیت	ns
Zeolite	
قارچ*زئولیت	ns
Funji*zeolite	

*, ** به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۰.۵، ۰.۱ و ns معنی دار نمی باشد.

Significant differences ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, and ns: non-significant

عملکرد تک بوته

مقایسه اثر عامل های اصلی (جدول ۳) نشان می دهد که کاربرد قارچ گلوموس اتونیکاتوم باعث افزایش معنی دار ۲۰/۲ درصدی و قارچ گلوموس اینترادیسز باعث افزایش ۱۵/۷ درصدی عملکرد نسبت به تیمار شاهد بدون قارچ شده است. کاربرد سطوح چهار و هشت گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک نسبت به عدم کاربرد زئولیت، موجب کاهش معنی دار عملکرد تک بوته شده و کاربرد ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک موجب افزایش عملکرد تک بوته گشته هرچند که این افزایش معنی دار نبوده است.

میانگین وزن میوه

با توجه به جدول ۴ بیشترین وزن میوه مربوط به تیمار برهمکنش قارچ گلوموس اتونیکاتوم و ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک (۱۳/۴۴ گرم) و کمترین وزن میوه (۹/۷۶ گرم) مربوط به تیمار بدون قارچ و هشت گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک می باشد.

درصد مواد جامد محلول

با توجه به جدول ۴ در برهمکنش عامل ها، بیشترین درصد مواد جامد محلول مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اینترادیسز (۷/۰۵ درصد) می باشد و کمترین (۵/۲۵ درصد) آن مربوط به تیمار ۱۲ گرم در کیلوگرم خاک زئولیت و قارچ گلوموس اینترادیسز می باشد.

جدول ۳- اثر اصلی قارچ میکوریز و زئولیت بر وزن خشک شاخساره، عملکرد تک بوته، جذب نیتروژن، فسفر و روی در توت فرنگی رقم آروماس.

Table 3. The main effect of mycorrhiza and zeolite on shoot dry weight, plant yield, nitrogen, phosphorus and zinc uptake in Aromas strawberry cultivar.

قارچ Fungus	وزن خشک شاخساره (گرم) Shoot dry weight (g)	عملکرد (گرم) Yield (g)	نیتروژن (میلی گرم در گرم وزن خشک) N (mg/gdw)	فسفر (میلی گرم در گرم وزن خشک) P (mg/gdw)	روی (میکروگرم در گرم وزن خشک) Zn(μg/gdw)
شاهد Control	2.58C [†]	116.12B	31.9C	4.21C	131.97B
گلوبوس اینترادیسز <i>G. intraradices</i>	3.21B	134.20A	34.9B	5.11B	145.25B
گلوبوس اتونیکاتوم <i>G. etunicatum</i>	4.22A	139.63A	73.1A	5.96A	207.50A
زئولیت Zeolite (g/Kg))					
0	3.57B	140.33A	51.1AB	5.34A	157.33B
4	4.05A	125.73B	65.1A	5.71A	211.66A
8	2.82C	110.63C	43.0B	4.04B	140.30B
12	2.92C	143.24A	45.1B	5.28A	137.00B
معنی داری Signification					
قارچ Funji	**	**	**	**	**
زئولیت Zeolite	**	**	ns	**	**
قارچ*زئولیت Funji*zeolite	ns	ns	ns	ns	ns

[†] میانگین های هر ستون که دارای حرف های مشابه هستند، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه ای دانکن). **، * به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و ns معنی دار نمی باشد.

[†]Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test). Significant differences ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, and ns: non-significant.

اسیدیته کل

با توجه به جدول ۴ در برهمکنش عامل ها، بیشترین مقدار اسیدیته کل (۱/۲۷ درصد) مربوط به تیمار بدون قارچ و ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک می باشد و کمترین (۰/۹۰ درصد) آن مربوط به تیمار شاهد می باشد. در تیمارهای دارای قارچ گلوبوس اتونیکاتوم و بدون قارچ با افزایش سطح زئولیت، اسیدیته کل توت فرنگی افزایش یافته است هر چند این افزایش برای قارچ گلوبوس اتونیکاتوم معنی دار نمی باشد.

ویتامین C

با توجه به جدول ۴ در برهمکنش عامل ها، بیشترین میزان ویتامین C (۸۴/۷۴ میلی گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت میوه) مربوط به تیمار بدون زئولیت و قارچ گلوبوس اتونیکاتوم می باشد و کمترین آن مربوط به تیمار بدون زئولیت و بدون قارچ (۲۲/۱۶۸ میلی گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت میوه) است.

آنتوسیانین

با توجه به جدول ۴ در برهمکنش عامل ها، بیشترین مقدار آنتوسیانین مربوط به تیمار ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت و بدون قارچ (۹۸/۸ میلی گرم در لیتر سیانیدین تری گلیکوزاید) می باشد و کمترین (میلی گرم در لیتر سیانیدین تری گلیکوزاید ۴۸) آن مربوط به تیمار شاهد می باشد.

جدول ۴- اثر برهمکنش قارچ میکوریز و زئولیت بر برخی خصوصیات میوه توت فرنگی رقم آروماس.

Table 4. The interaction effect of mycorrhizal fungus and zeolite on some fruit characteristics of Aromas strawberry cultivar.

قارچ Fungus	زئولیت Zeolite) (g/Kg)	میانگین وزن fruit weight mean (g)	مواد جامد TSS(%) محلول	اسیدیته کل Total acidity (%)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg/Lcyanidin 3- glycosid)	ویتامین ث Vit c (mg ascorbic acid/100g fruit tissue
شاهد Control	0	10.22de	5.75b-d	0.90d	47.3d	22.16f
	4	10.97b-e	5.75b-d	1.00cd	98.8a	26.27f
	8	9.76e	5.35cd	1.08bc	54.8cd	44.66c
	12	11.32b-d	6.25a-c	1.27a	60.4cd	45.31c
گلوبوس اینترادیسز G. intraradices	0	12.23ab	5.62b-d	1.09bc	83.2ab	43.32e
	4	13.35a	6.55ab	1.20ab	71.1bc	53.61b
	8	11.74bc	7.05a	1.09bc	83.6ab	53.74b
	12	10.58c-e	5.25d	0.93d	48.00d	24.33f
گلوبوس اتونیکاتوم G. etunicatum	0	11.38b-d	5.87b-d	1.07bc	66.10b-d	84.74a
	4	10.78c-e	6.55ab	1.04cd	85.8ab	33.41e
	8	13.03a	6.47ab	1.14bc	62.4cd	35.26de
	12	13.44a	6.10b-d	1.10bc	50.9cd	41.22cd

معنی داری

Signification

قارچ

**

ns

ns

ns

**

Funji

زئولیت

ns

ns

ns

**

**

Zeolite

قارچ*زئولیت

**

**

**

**

**

Funji*zeolite

† میانگین‌های هر ستون که دارای حرفهای مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن). **، *، ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

†Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test) Significant differences** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, and ns: non-significant.

نیترژن

مقایسه اثر عامل‌های اصلی (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر قارچ بر میزان نیترژن معنی‌دار بوده است و گلوبوس اینترادیسز دارای افزایش معنی‌دار ۲۰/۶ درصدی نسبت به تیمار شاهد بدون قارچ و گلوبوس اتونیکاتوم دارای افزایش معنی‌دار ۴۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد بدون قارچ می‌باشد. با افزایش سطح زئولیت میزان نیترژن شاخساره افزایش یافته است. بیش‌ترین میزان آن مربوط به تیمار ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت که نسبت به تیمار شاهد بدون زئولیت دارای افزایش معنی‌دار ۱۰/۷ درصدی است ولی در سطح ۸ و ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک این افزایش معنی‌دار نمی‌باشد.

فسفر

مقایسه اثر عامل‌های اصلی (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر قارچ بر جذب کل فسفر معنی‌دار می‌باشد. بین گونه‌های قارچ مورد استفاده نیز اختلاف معنی‌دار ملاحظه می‌شود. به طوری که گلوبوس اتونیکاتوم در مقایسه با گلوبوس اینترادیسز باعث افزایش ۴۱/۵ درصدی جذب کل فسفر شده است. کاربرد ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در مقایسه با سه سطح دیگر سبب کاهش معنی‌دار جذب کل فسفر گشته است.

روی

مقایسه اثر عامل‌های اصلی (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر قارچ بر جذب کل روی معنی‌دار می‌باشد. بین گونه‌های قارچ مورد استفاده نیز اختلاف معنی‌داری ملاحظه می‌شود. کاربرد قارچ گلوبوس اتونیکاتوم در مقایسه با گلوبوس اینترادیسز باعث

افزایش جذب کل روی شده است. کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در مقایسه با سه سطح دیگر سبب افزایش معنی دار جذب کل روی گشته است.

پتاسیم

با توجه به جدول ۵ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین جذب کل پتاسیم مربوط به تیمار ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت و قارچ گلوموس اینترادایسز می‌باشد و کمترین آن مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم خاک زئولیت و بدون قارچ (شاهد) می‌باشد.

آهن

با توجه به جدول ۵ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین جذب کل آهن مربوط به تیمار ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت و قارچ گلوموس اتونیکاتوم با ۷۷/۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد می‌باشد و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۲ گرم در کیلوگرم خاک زئولیت و قارچ گلوموس اینترادایسز با ۴۷/۳ درصد کاهش نسبت به شاهد می‌باشد.

کلنیزاسیون ریشه

با توجه به جدول ۵ در برهمکنش عامل‌ها، کمترین میزان کلنیزاسیون ریشه مربوط به تیمار شاهد بدون زئولیت و قارچ بوده است و بیش‌ترین آن مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اتونیکاتوم است.

جدول ۵- اثر برهمکنش قارچ میکوریز و زئولیت بر جذب پتاسیم، آهن و میزان کلنیزاسیون ریشه توت فرنگی رقم آروماس.
Table 5- The effect of mycorrhizal fungus and zeolite on K, Fe uptakes and root colonization of Aromas strawberry cultivar.

قارچ Fungus	زئولیت Zeolite (g/Kg)	پتاسیم (میلی گرم در گرم وزن خشک) K(mg/gDW)	آهن (میکروگرم در گرم وزن خشک) Fe (µg/g DW)	کلنیزاسیون ریشه (درصد) Root colonization (%)
	0	150.00bc†	145.00b-c	9.47e
شاهد	4	192.00ab	166.00b	9.73e
Control	8	123.00c	87.70ed	9.81e
	12	148.00bc	128.00b-d	10.40e
گلوموس اینترادایسز	0	179.00ab	113.00c-e	56.18d
G. intraradices	4	227.00a	161.00b	81.01ab
	8	209.00a	161.00b	77.33b
	12	124.00c	78.40e	89.00a
گلوموس اتونیکاتوم	0	201.00a	151.00bc	66.23c
G. etunicatum	4	215.00a	265.00a	85.80a
	8	181.00ab	123.00b-d	89.18a
	12	193.00ab	239.00a	84.21ab

معنی داری

Signification

قارچ

Funji

زئولیت

Zeolite

قارچ*زئولیت

Funji*zeolite

**

**

**

**

**

**

**

**

**

† میانگین‌های هر ستون که دارای حرفهای مشابه هستند، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن). **, *، ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و ns معنی دار نمی‌باشد.

†Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test. Significant differences** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, and ns: non-significant

بحث

در این پژوهش همزیستی با قارچ‌های میکوریز به تنهایی سبب افزایش نسبی در سطح برگ شد. عنوان شده است که افزایش در سطح برگ در گیاهان همزیست با قارچ میکوریز به دلیل جذب بیشتر عناصر غذایی به ویژه عنصر نیتروژن توسط

گیاه میزبان است (Tobar *et al.*, 1994). همچنین قارچ‌های میکوریز می‌توانند باعث افزایش وزن گیاه و سطح برگ شوند. این افزایش می‌تواند به بهبود جذب آب توسط هیف‌های قارچ و افزایش جذب فسفر نسبت داده شود. در این بررسی با افزایش میزان ژئولیت از صفر به ۱۲ گرم در کیلوگرم ژئولیت در خاک کاهش معنی داری در سطح برگ مشاهده شد. در پژوهشی، Qolizadeh و همکاران (Qolizadeh *et al.*, 2006) در آزمایشی روی گیاه دارویی بادرشبی تحت تنش آبی به این نتیجه رسیدند که استفاده از ۲۵ گرم ژئولیت در ۱۲ کیلوگرم خاک باعث افزایش سطح برگ می‌شود.

همچنین مشخص شد که همزیستی با قارچ‌های میکوریز سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه می‌شود که به علت تحریک به رشد ریشه و همچنین ذخیره کربوهیدرات‌ها در ریشه می‌باشد. در این زمینه گزارش‌های متعددی وجود دارد که قارچ‌های میکوریز سبب افزایش وزن ریشه می‌گردند (Abbaspour & Phalahian, 2008; Neripendra *et al.*, 2012). در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریز، مقداری از هیف‌های قارچی وارد سیستم ریشه گیاه می‌شود و سطح اسید آبسازیک را کاهش می‌دهد و سیتوکینین‌ها را افزایش داده که باعث گسترش سیستم ریشه و افزایش جذب آب و همچنین ترشح اسیدهای آلی مانند اسید مالیک می‌شود. هیف‌های خارج از ریشه باعث افزایش جذب فسفر و در نتیجه بهبود رشد ریشه و در نهایت رشد اندام‌های هوایی گیاه می‌شود (Rasouli *et al.*, 2022). عنوان شده است که در خاک‌های فشرده قارچ‌های میکوریز از فشردگی خاک کاسته و این منجر به بهبود ساختار خاک می‌شود، به دنبال آن رشد ریشه‌ها بیشتر شده و در سطح بیشتری خود را می‌گسترانند که نهایتاً منجر به افزایش وزن تر و خشک ریشه می‌شود (Elena *et al.*, 2011). در مورد وزن تر و خشک شاخساره نیز همزیستی با قارچ‌های میکوریز سبب افزایش میزان آن‌ها گشت که در اینجا نیز کاربرد قارچ گلووموس اتونیکاتوم نسبت به گونه قارچ دیگر تأثیر بیشتری داشت. این موضوع نشان می‌دهد که گلووموس اتونیکاتوم در جذب آب و مواد غذایی به ویژه فسفر به گیاه کمک بیشتری کرده و سبب تجمع ماده خشک بیشتری شده است و از کارایی بیشتری در تولید زیست توده اندام هوایی توت‌فرنگی برخوردار است. در پژوهشی، Abbaspour و Phalahian (2008) (Abbaspour & Phalahian) اعلام کردند وزن خشک و تر اندام هوایی و ریشه در گیاهان پسته تلقیح شده با قارچ میکوریز آربوسکولار از گیاهان غیر تلقیح شده بالاتر بود. کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم ژئولیت در خاک نیز سبب افزایش وزن تر و خشک شاخساره گردید که احتمال می‌رود به دلیل همان نقش ژئولیت در جذب آب و مواد غذایی از جمله فسفر باشد که نتایج ما نیز همین امر را نشان داد. در مورد وزن تر و خشک ریشه نیز، افزایش مقادیر ژئولیت نسبت به تیمار شاهد سبب کاهش میزان آن‌ها گشت.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد قارچ و ژئولیت هر دو باعث افزایش وزن میوه شد. از آن جایی که رشد میوه توت‌فرنگی به شدت وابسته به هورمون اکسینی است که از فندقه‌ها ترشح شده و باعث رشد نهنگ زیرین آن‌ها می‌گردد، بنابراین روشن است که با افزایش تعداد فندقه، وزن میوه و اندازه آن افزایش می‌یابد. یا شاید همین افزایش جذب عناصر از جمله نیتروژن و فسفر به وسیله این تیمارها سبب این افزایش وزن شده باشد (Ledesma *et al.*, 2008). به نظر می‌رسد که که افزایش همزیستی قارچ‌ها با ریشه گیاه سبب می‌شود که مواد غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار گیرد که به نوبه خود سبب افزایش گل‌انگیزی، تعداد گل، تعداد میوه و وزن میوه و سرانجام عملکرد میوه می‌شود.

در این پژوهش میزان عملکرد نیز از طریق کاربرد قارچ‌های گلووموس اینترادیسز و گلووموس اتونیکاتوم و میزان ۱۲ گرم در کیلوگرم ژئولیت در خاک افزایش یافت. کاهش عملکرد در دو تیمار ۴ و ۸ گرم در کیلوگرم ژئولیت می‌تواند به دلیل دیرتر وارد شدن به مرحله گلدهی و میوه قابل برداشت باشد (با توجه به تاریخ شروع گلدهی و تاریخ شروع میوه‌دهی). کل عملکرد میوه در بوته‌های توت‌فرنگی به رشد و توسعه اندام‌های هوایی بستگی دارد (Jalili Marandi, 2005). کاربرد هر دو گونه قارچ و ۴ گرم در کیلوگرم ژئولیت سبب افزایش وزن تر و خشک شاخساره گردید که این خود می‌تواند دلیلی بر افزایش میزان عملکرد توسط تیمارهای فوق باشد. به عبارت دیگر، کاربرد قارچ و ژئولیت سبب بهبود جذب عناصر غذایی شده در نتیجه گیاه رشد بیشتری کرده و تولید ریشه و شاخساره بالاتری نموده و میزان فتوسنتز افزایش یافته و مواد غذایی بیشتری تولید شده و به میوه‌ها منتقل گشته در نتیجه این‌ها عملکرد بهتر شده است.

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد قارچ‌های گلووموس اتونیکاتوم باعث افزایش معنی‌دار شاخص سبزی‌نگی گردید. جذب عناصر غذایی تأثیر مثبتی بر تغذیه گیاه، فتوسنتز، مقدار کلروفیل برگ‌ها و بهبود مقدار عناصر غذایی در بخش‌های مختلف

گیاه از جمله ریشه‌ها، برگ‌ها و میوه‌ها دارد و از آنجائیکه قارچ‌های میکوریز به واسطه همزیستی با ریشه گیاهان سبب افزایش جذب عناصر غذایی (مانند فسفر، نیتروژن و برخی از عناصر کم مصرف) می‌شوند، این خود می‌تواند دلیلی بر افزایش شاخص سبزی‌نگی توسط کاربرد قارچ باشد. همچنین غلظت کلروفیل در گیاه به طور معمول بازتابی از میزان عنصر آهن در گیاه می‌باشد. در صورتی که میزان آهن در گیاه به حد کافی نباشد سنتز پیش سازهای آزاد کلروفیل مختل می‌شود (Wang et al., 2008). در این پژوهش به دلیل تجمع بیشتر عناصر دخیل در ساخت کلروفیل از جمله آهن، میزان کلروفیل در گیاهان همزیست نسبت به گیاهان شاهد افزایش پیدا کرد. همچنان که مشخص شده است، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌توانند با بهبود صفات رشدی و با افزایش جذب عناصر منیزیم، آهن و نیتروژن سبب ساخت بیشتر کلروفیل شوند (Wang et al., 2011; Hoda et al., 2008) که نتایج این پژوهش با چنین پژوهش‌هایی همسویی دارد.

کاربرد کودهای زیستی پتانسیل فتوسنتزی، جذب نیتروژن و فسفر را بهبود می‌بخشند و در نهایت منجر به بهبود میزان ویتامین ث می‌شوند. علاوه بر این، مقادیر بالای ویتامین ث را می‌توان به بهبود محتوای کلروفیل در پاسخ به اثرات محرک همزیستی با قارچ میکوریز نسبت داد (Rasouli et al., 2022). در این پژوهش مشخص شد که کاربرد هر دو گونه قارچ گلوبوس اتونیکاتوم و گلوبوس اینترادیسز سبب افزایش معنی‌داری در میزان ویتامین ث گردید. شاید یکی از دلایل افزایش ویتامین ث در گیاهان تیمار شده با این دو گونه قارچ این باشد که در اثر همزیستی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن افزایش یافته، در نتیجه آن دسترسی به ذخیره‌های کربوهیدراتی و رشد و نمو میوه بهتر شده که باعث تجمع مقادیر بیشتری از ویتامین ث در میوه می‌گردد؛ اما در مورد مواد جامد محلول نیز کاربرد قارچ و یا ژئولیت به تنهایی تأثیر چندانی بر مواد جامد محلول نداشت که نشان می‌داد که جذب نیتروژن توسط قارچ و ژئولیت نتوانسته بود مواد جامد محلول را تحت تأثیر قرار دهد که مطابق با گفته‌های Miner et al. (1997) و همکارانش بود و تنها کاربرد قارچ گلوبوس اینترادیسز و ۸ گرم در کیلوگرم ژئولیت در خاک توانست بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول را تولید کند که در مورد اسیدیته کل نیز مانند مواد جامد محلول همین امر مشاهده شد و تنها کاربرد ۱۲ گرم در کیلوگرم ژئولیت در خاک و عدم استفاده از قارچ توانست بیش‌ترین میزان اسیدیته را تولید کند.

مزایای همزیستی با قارچ میکوریز بر کیفیت فتوشیمیایی توت فرنگی با افزایش سطح کل آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و پلی فنل‌ها در پژوهش‌های قبلی گزارش شده است که در تایید با نتایج این پژوهش می‌باشد (Chiomento et al., 2019). پویایی این میکروارگانیسم‌ها در متابولیسم ثانویه گیاه منجر به افزایش بیوسنتز فیتوکمیکال‌ها می‌شود که در طول برقراری همزیستی بین میکوریز و گیاه، کلونیزاسیون میکوریز باعث استرس میزبان می‌شود که به عنوان یک پاسخ دفاعی به کلونیزاسیون میکوریز، گیاه متابولیسم ثانویه خود را فعال می‌کند که مسئول تولید بیومولکول‌های محافظ مانند آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و پلی فنول‌ها است (Chiomento et al., 2019).

در این پژوهش اثرات مثبت قارچ‌های میکوریز روی تجمع برگی عناصر غذایی همچون نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی در گیاهان همزیست نسبت به گیاهان غیر همزیست مشاهده شد. همان طور که در نتایج بیان شد، تیمارهای میکوریزی میزان عنصر فسفر را در گیاهان همزیست نسبت به گیاهان غیر همزیست افزایش دادند و مشخص شد که قارچ میکوریزی گلوبوس اتونیکاتوم نسبت به قارچ شاهد و قارچ گلوبوس اینترادیسز به طور معنی‌داری بهتر ظاهر شد. به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر به دلیل انتشار از طریق میسلیم‌های میکوریزی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه باشد که بهره‌برداری از حجم بیشتر خاک را ممکن می‌سازد که ریشه‌های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارند (Alizadeh, 2007). آنزیم فسفاتاز می‌تواند استرها و آنهیدریدهای فسفریک اسید را کاتالیز کند. این آنزیم همچنین به صورت مستقیم در جذب فسفر به وسیله گیاه دخیل است. پیشنهاد شده است که آنزیم فسفاتاز ممکن است با رشد و توسعه قارچ در درون بافت میزبان همراه باشد (Begum et al., 2021). بهبود جذب فسفر توسط قارچ‌های میکوریز معمولاً به عنوان مهم‌ترین سودمندی این میکروارگانیسم در جذب عناصر غذایی عنوان شده است و وضعیت فسفر گیاه اغلب به عنوان عامل کنترل‌کننده اصلی ارتباط قارچ و گیاه عنوان شده است (Koide & Kabir, 2000).

پیشنهاد شده است که میسلیوم های خارجی قارچ میکوریز در شرایط کمبود می توانند کمک قابل توجهی به میزان ۶۰٪ در تغذیه روی به گیاه میزبان بدهند که این نکته در شرایط خاک های آهکی که با مشکل جذب عناصر غیر متحرکی مثل روی مواجه است، حائز اهمیت است. همچنین قارچ های میکوریز همان گونه که جذب فسفر را بهتر می کنند از طریق مکانیسم دیگری باعث بهبود جذب روی می شوند (Liu et al., 2000).

گونه های مختلف قارچ میکوریز توانایی متفاوتی در جذب عنصر آهن نشان می دهند، به نظر می رسد قارچ های میکوریز از طریق ترشح انواعی از سیدروفورها و کلات کردن آهن جذب و انتقال آهن را افزایش می دهند (Caris & Hordt, 1998). نتایج این بررسی نیز نشان داد که قارچ گلوموس اتونیکاتوم سبب افزایش معنی دار و قارچ گلوموس اینترارادیسز سبب کاهش غیر معنی دار جذب کل آهن گشته است.

نتایج این پژوهش نشان داد دیگر عناصر پر مصرف مانند نیتروژن و پتاسیم در تیمارهای میکوریزی به طور معنی داری بالاتر از گیاهان شاهد بودند. بیان شده است که گسترش هیف های خارجی قارچ های میکوریز بر روی سطح ریشه گیاه میزبان درون خاک منجر به افزایش سطح ریشه و در نهایت افزایش جذب عناصر پر مصرف در اطراف ناحیه جذب می شود (Baghaie et al., 2019). افزایش میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Begum et al., 2021). نتایج این مطالعه نشان می دهد که مقدار عناصر معدنی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی به طور قابل توجهی از طریق کاربرد ژئولیت افزایش یافت و با کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم ژئولیت در خاک افزایش معنی داری در همه عناصر غذایی مورد نظر ایجاد شد. این موضوع نشان می دهد که نگهداری ظرفیت کاتیون هایی مانند آمونیوم و عناصر غذایی گیاهی از طریق ژئولیت به وسیله جذب در محل خلل و فرج های خود و از طریق ظرفیت تبادل کاتیونی انجام می شود (Choo et al., 2020).

پیشنهاد شده است که ژئولیت ها توانایی جذب سطحی یون پتاسیم از کودهای شیمیایی و کاهش آبشویی را همچون کودهای پتاسیمی کند رها شوند را دارا می باشند. بهبود در بسیاری از ویژگی ها در این مطالعه ممکن است به افزایش مقدار پتاسیم خاک نسبت داده شود. همچنان نشان داده شده است که پتاسیم نقش های مهمی در پایداری pH، تنظیم اسمزی، فعالیت آنزیم ها، فتوسنتز، سنتز پروتئین، طویل شدن سلولی، باز شدن روزنه ها و انتقال آوندی دارد (Marschner & Dell, 1994). همچنین با توجه به این که ژئولیت مورد استفاده از نوع پتاسیم دار بود و بخش قابل توجهی از آن را پتاسیم تشکیل می دهد (حدود ۳ درصد) بنابراین مصرف ژئولیت در خاک علاوه بر افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، جذب رطوبت و جلوگیری از آبشویی نیتروژن می تواند نقش قابل توجهی در تأمین بخشی از پتاسیم مورد نیاز گیاه داشته باشد (Kosmidis et al., 2018; Assimakopoulou et al., 2020).

نتایج این پژوهش نشان داد که کلنیزاسیون ریشه در تمام گیاهان همزیست انجام شد. درصد بالای کلنیزاسیون میکوریزی به طور مستقیم وابسته به جذب بهتر عناصر غذایی، افزایش میزان کلروفیل کل، افزایش در نرخ فتوسنتزی و تعرق می باشد (Rajasekaran & Nagarajan, 2005). در پژوهشی، Hosseini (2013) گزارش کرد که در تلقیح پایه های مختلف رویشی سبب، *G. versiform* بیشتر از گونه های قارچی دیگر میسلیوم خارجی تولید کرد و بهتر از دو قارچ *G. intraradices* و *G. etunicatum* با پایه ها همزیست شد. در بین قارچ های میکوریزی بیشترین کلنیزاسیون به قارچ گلوموس اتونیکاتوم اختصاص یافت. در گیاهان شاهد درصد ناچیزی از همزیستی مشاهده شد که ممکن است به دلیل قارچ های احتمالی موجود در خاک باشد، همچنین کلنیزاسیون کمتر گیاهان شاهد می تواند تأییدی بر کمتر بودن قارچ های بومی در خاک مورد آزمایش باشد.

نتیجه گیری

به عنوان نتیجه گیری کلی ثابت شد که همزیستی گیاهان توت فرنگی با قارچ های میکوریز آربوسکولار، سبب بهبود بیشتر صفات های اندازه گیری شده در گیاهان همزیست با این قارچ شد. قارچ های میکوریز با افزایش جذب عناصر غذایی سبب بهبود ویژگی های فوق شدند. بنابراین همان گونه که در نتایج نیز نشان داده شد استفاده از قارچ های میکوریز می تواند کمک فراوانی به رشد توت فرنگی در خاک هایی با pH بالا بکند. کاربرد ژئولیت تا حدودی توانست سبب بهبود ویژگی های اندازه گیری شده شود اما در مقایسه با کاربرد قارچ های میکوریز تأثیر آن کم بود. مشخص شد که واکنش گیاهان توت فرنگی نسبت به قارچ های

همزیست در رابطه با پارامترهای ذکرشده متفاوت بود و به طور کلی قارچ گلوموس اتونیکاتوم بیشتر از قارچ گلوموس اینترادیسز مؤثر واقع شد. در رابطه با زئولیت نیز، کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک نسبت به ۳ سطح دیگر آن تأثیر بیشتری داشت؛ بنابراین انتخاب بهترین سطوح زئولیت کاربردی و همزیست کردن آن‌ها با گونه مناسبی از قارچ‌های میکوریز می‌تواند سبب به حداقل رساندن استفاده از کودهای شیمیایی و افزایش کیفی و کمی محصولاتی همچون توت‌فرنگی شود و مشکلات ناشی از کشت این گیاهان را در خاک‌های آهکی کاهش دهد، مشکلاتی از جمله کم تحرک بودن عناصر غذایی به ویژه عناصر کم مصرف که منجر به کاهش کمی و کیفی محصولات باغی در کشور شده است. به‌طور کلی کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اتونیکاتوم می‌تواند سبب افزایش ویژگی‌های کمی و کیفی توت فرنگی رقم آروماس شود.

References

منابع

- Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Mahmood, A., Zia-ur-Rehman, M. and Qayyum, M. F. (2018). Biochar application increased the growth and yield and reduced cadmium in drought stressed wheat grown in an aged contaminated soil. *Ecotox. Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 825-833.
- Abbaspour, H., Phalahian, M.R. (2008). The effect of endomycorrhiza on the immune system, antioxidants and pigments of pistachio under salinity stress. *Iranian Journal of Biological Science*, 3(2), 54-47. (In Persian).
- Alizadeh, A. 2007. The effect of mycorrhizal on moisture different condition on uptake nutrition elements in Maize. *Journal of Research Agriculture*, 3(1), 101-108.
- AOAC Officioal Method. (2005). Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines. *pH Differential Method*, 37, 1- 68.
- Assimakopoulou, Dimitroulia, A., D., Kosmidis, S. and Doula, M. K. (2020). Growth, yield and nutrient status of pepper plants grown on a soil substrate with olive mill waste sludge and natural zeolite addition. *Journal of Plant Nutrition*, 43(5), 629-640.
- Baghaie, A. H., Aghili, F. and Jafarinia, R. (2019). Soil-indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and zeolite addition to soil synergistically increase grain yield and reduce cadmium uptake of bread wheat (through improved nitrogen and phosphorus nutrition and immobilization of Cd in roots). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(30), 30794-30807.
- Begum, N., Akhtar, K., Ahanger, M. A., Iqbal, M., Wang, P., Mustafa, N. S. and Zhang, L. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, essential oil, secondary metabolism, and yield of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) under drought stress conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(33), 45276-45295.
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., and Bianciotto. V. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1559.
- Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-Total. In: Methods of Soil Analysis. 1085-1121. Part 3. Sparks, D.L. (ed.). SSSA Book Ser. 5. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Caris, C. and Hordt, W. (1998). Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plant. *Mycorrhiza*, 8(1), 35-39.
- Chiomento, J. L. T., Da Costa, R. C., De Nardi, F. S., Trentin, N. D. S., Nienow, A. A. and Calvete, E. O. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi communities improve the phytochemical quality of strawberry. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(5), 653-663.
- Chiomento, J. L. T., De Nardi, F. S., Filippi, D., Dos Santos Trentin, T., Dornelles, A., Fornari G. and Calvete, E.O. (2021). Morpho-horticultural performance of strawberry cultivated on substrate with arbuscular mycorrhizal fungi and biochar. *Scientia Horticulturae*, 282, 110053.
- Choo, L. N. L. K., Ahmed, O. H., Talib, S. A. A., Ghani, M. Z. A. and Sekot. S. (2020). Clinoptilolite zeolite on tropical peat soils nutrient, growth, fruit quality, and yield of *Carica papaya* L. CV. Sekaki. *Agronomy*, 10(9), 1320.
- Darzi, M., Ghalavand, A. and Rejali, F. (2008). Effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphate biofertilizer application on flowering, biological yield and root colonization in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 1(10), 88-109. (In Persian).
- Elena, D., Chira, A., Chira, L., and Savulescu, E. (2011). *Arbuscular mycorrhizae: An overview*. South-Western *Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 2(2), 167-192.
- Eprikashvili, L., Zautashvili, M., Kordzakhia, T., Pirtskhalava, N., Dzaganian, M., Rubashvili, I., and Tsitsishvili, V. (2016). Intensification of bioproductivity of agricultural cultures by adding natural zeolites and brown coals into soils. *Annals of Agrarian Science*, 14(2), 67-71.
- FAO, W.F.P., IFAD. (2019). The State of Food Insecurity in the World 2015. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition. Rome, FAO.
- Hagin, J. and Lowengart, A. (1996). Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. *Fertilizer research*, 43, 5-7.

- Hoda, A.K., Ahmad, M.E., Samy, M.E.S. and Amal, M.A.N. (2011). Improved growth of salinity-stressed citrus after inoculation with mycorrhizal fungi. *Scientia Horticulturae*, 130, 624-632.
- Hosseini, M. (2013). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth indices and nutrient uptake of apple vegetative rootstocks in a calcareous soil. Master Thesis. Shiraz university. 95 p. (In Persian).
- Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis: Plant Growth Analysis for Beginners*. Unwin Hyman, London, 110p.
- Jalili Marandi, R. 2005. Small fruits. Jihad University Press, West Azerbaijan Branch. 297 p. (In Persian).
- Jeffries, P., Gianinazzi, S. and Perotto S. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 37, 1-16.
- Klein, B. and Perry, A. (2006). Ascorbic acid and vitamin A activity in selected vegetables from different geographical areas of the United States. *Journal of Food Science*, 47, 941-945
- Koide, R.T. and Kabir, Z. (2000). Extraradical hyphae of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* can hydrolyse organic phosphate. *New Phytologist*, 148, 511-517.
- Koljajic, V., Djordjevic, N., Grubic, G. and Adamovic, M. (2003). The influence of zeolite on the quality of fresh beet pulp silages. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*, 48, 77-84.
- Kormanik, P.P. and McGraw, A.C. (1982). *Quantification of Vesicular arbuscular Mycorrhizae in Plant Roots*. In Methods and Principles of Mycorrhizal Research. Ed. N. C. Schenck. The American Phytopathological Society. pp. 37-36.
- Kosmidis, S., Doula, M.K., Assimakopoulou A., Kolovos, C., Troyanos, Y., Papadopoulos, A., and Kostopoulos, P. (2018). *Pepper cultivation on a substrate consisting of soil, natural zeolite and olive mill waste Sludge-Changes in soil properties*. In 6th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Naxos Island, Greece (pp. 13-16).
- Ledesma, N. A., Nakata, M., and Sugiyama, N. (2008). Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. 'Nyoho' and 'Toyonoka'. *Scientia Horticulturae*, 116(2), 186-193.
- Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R.I., Ma, B.L., and Smith, D.L. (2000). Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhizae*, 9, 331-336.
- Lopes, J. I., Arrobas, M., Raimundo, S., Gonçalves, A., Brito, C., Martins, S., and Rodrigues, M. Â. (2022). Photosynthesis, Yield, Nutrient Availability and Soil Properties after Biochar, Zeolites or Mycorrhizal Inoculum Application to a Mature Rainfed Olive Orchard. *Agriculture*, 12(2), 171.
- Marschner, H. and B. Dell. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159(1), 89-102.
- Milošević, T., and Milošević, N. (2012). Response of young apricot trees to natural zeolite, organic and inorganic fertilizers. *Plant, Soil and Environment*, 59(1), 44-49.
- Miner, G.S., Poling, E.B., Carroll, D.E., Nelson, L.E., and Campbell, C.R. (1997). Influence of fall nitrogen and spring nitrogen- potassium applications on yield and fruit quality of Chandler strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122, 290-295.
- Neripendra, V.S., K.S. Sanjay, K.S. Anad, T.M. Deodas, S.S. Sachin, and Dweijesh, C.M. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) induced hardening of micropropagated pomegranate (*Punica granatum* L.) plantlets. *Scientia Horticulturae*, 136, 122-137.
- Parada, J., T. Valenzuela, F. Gómez, G. Tereucán, S. García, P. Cornejo, and Ruiz, A. (2019). Effect of fertilization and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on antioxidant profiles and activities in *Fragaria ananassa* fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(3), 1397-1404.
- Qolizadeh, A., Isfahani, M., and Azizi, M. (2006). Study of the effects of water stress along with the application of natural zeolite on the quantitative and qualitative characteristics of safflower. *Applied Field Crops Research*, 73, 102-96. (In Persian).
- Rajasekaran, P. and Nagarajan, S.M. (2005). Effect of dual inoculation (AM fungi and Rhizobium) on chlorophyll content of *Vigna unguiculata* L. *Mycorrhiza News*, 17, 10-11.
- Rasouli, F., Amini, T., Asadi, M., Hassanpouraghdam, M. B., Aazami, M. A, Ercisli, S., and Mlcek, J. (2022). Growth and Antioxidant Responses of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) to Arbuscular Mycorrhiza Inoculation and Seaweed Extract Foliar Application. *Agronomy*, 12(2), 401.
- Tobar, R., Azcon, R., and Barea, J.M. (1994). The improvement of plant N acquisition from an ammonium-treated, drought-stressed soil by the fungal symbiot in arbuscular mycorrhizae. *Mycorrhizae*, 4, 105-108
- Vosnjak, M., Likar, M., and Osterc, G. (2021). The Effect of Mycorrhizal Inoculum and Phosphorus Treatment on Growth and Flowering of *Ajania* (*Ajania pacifica* (Nakai) Bremer et Humphries) Plant. *Horticulture*, 7(7), 178.
- Wang, M., Christie, P., Xiao, Z., Wang, P., Lio, J., and Xia, R. (2008). Arbuscular mycorrhizal enhancement of iron concentration by *Poncirus trifoliata* L. Raf and *Citrus reticulata* Blanco grown on sand medium under different pH. *Biology and Fertility of Soils*, 45, 65-72.
- Watanabe, F.S., and Olsen, S.R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of America Journal*, 29(6), 677-678.
- Zaidi, A., M. Saghir Khan, and M.D. Amil. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European Journal of Agronomy*, 19, 15-21.

Interaction of Mycorrhizal Fungi and Natural Zeolite on Growth, Yield and Mineral Elements of Strawberry (Aromas Cultivar)

Saeid Eshghi*, Mina Esfandyari, and Sajad Mirmoghdam, Zahra Afifipour

Department of Horticulture, University of Shiraz, Iran

* Corresponding Author, Email: (Eshghi@shirazu.ac.ir)

Soils that have low fertility and calcareous, vegetative and reproductive growth of plants, including strawberries, are limited in these soils. For this reason, natural minerals such as zeolite are used to improve the physical and chemical properties of soil. To investigate the effect of mycorrhiza and zeolite on growth, yield and content of mineral elements of Aromas strawberry plants, a factorial experiment based on a completely randomized design with 4 replications was performed in greenhouse in 2012. The first factor consisted of three levels of mycorrhizal fungi (*Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum* and without fungi (50 g) and the second factor included 4 levels of zeolite (0, 4, 8, 12 g kg⁻¹ soil). The results showed that the highest leaf area was noticed after inoculation with *G. atonicatum* without zeolite with increase of 8.3% compared to the control. Additionally, the highest root fresh weight (12.83g) and the percentage of soluble solids (7.05%) related to the treatment of 8 g kg⁻¹ zeolite and *G. intraradices*. The highest fruit weight was related to the interaction of *G. atonicatum* and 12 g kg⁻¹ zeolite in soil (13.44 g). *G. atonicatum* caused a significant increase of 20.2% and *G. intraradices* increased the yield by 15.7% compared to the control treatment without fungus application. The highest total potassium uptake was found after application of 4 g kg⁻¹ zeolite and *G. intraradices*. The highest rate of root colonization was recorded in the treatment of 8 g kg⁻¹ zeolite and *G. atonicatum*. In general, 4 g kg⁻¹ zeolite in soil and 50 g *G. atonicatum* had the greatest effect on strawberry yield and the other measured properties.

Keywords: Calcareous soils, *Glomus atonicatum*, Mineral element uptake, Strawberry, Zeolite.