ارزیابی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی توت‌فرنگی رقم گاویوتا در پاسخ به قارچ‌های میکوریزا و تریکودرما تحت تیمار سلنیوم

علی لچینانی[۱]، سید جلال طباطبایی[۲]*، امیر بستانی[۳]، وحید عبدوسی[۴] و سعید رضائی[۵]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد ، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه خاک شناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۵- استادیار، گروه گیاهپزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: j.tabatabaei@shahed.ac.ir

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۲/۱۷، پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۴/۲۰

چکیده

بررسی حاضر اثر قارچ‌های میکوریزا (*Rhizophagus irregularis*)، تریکودرما (*Trichoderma harzianum*) و سلنیوم بر برخی صفات فیزیولوژیکی توت‌فرنگی رقم گاویوتا در آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۶ را مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارها شامل قارچ (بودن تلقیح، میکوریزا، تریکودرما) و سلنیوم (۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود. نتایج نشان داد که استفاده از قارچ‌های همزیست و به ویژه تریکودرما توانست به طور معنی‌داری باعث افزایش میزان pH، مواد جامد محلول کل (TSS)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنتوسیانین میوه و نیز افزایش میزان پروتئین، کلروفیل و کاروتنوئید برگ توت‌فرنگی رقم گاویوتا گردد. همچنین تیمار سلنیوم به ویژه در غلظت‌های کم (۰/۵ و ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) توانست ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنتوسیانین میوه و همچنین میزان پروتئین و کلروفیل برگ را افزایش دهد. در نهایت می‌توان استفاده از قارچ‌های همزیست به ویژه تریکودرما را در غلظت‌های کم سلنیوم (۰/۵ و ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در برنامه‌های کشت توت‌فرنگی رقم گاویوتا توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، پروتئین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، قارچ‌های همزیست، کلروفیل

مقدمه

توت‌فرنگی با اسم علمی *Fragaria × annanasa* Duch از خانواده Rosacea می‌باشد. میوه توت‌فرنگی غنی از مواد مغذی مانند پروتئین، فیبر، قندها، اسیدهای آلی، ویتامین‌ها، عناصر معدنی و همچنین ترکیبات فنولی و آنتوسیانین می‌باشد. در سال‌های اخیر توجه بسیاری به خواص سلامتی میوه توت‌فرنگی شده است و به همین دلیل کشت و کار آن افزایش چشم‌گیری پیدا کرده است (۱ و ۲). توت‌فرنگی دارای ارقام مختلفی می‌باشد که در این میان رقم گاویوتا بسیار شیرین، درشت و رقمی پر بازده است. این رقم بسیار مناسب کاشت فضای باز و گلخانه‌ای می‌باشد و به همین دلیل یکی از محبوب‌ترین رقم‌ها در بین انواع توت‌فرنگی است. همانند سایر ارقام، توجه به تغذیه این رقم نیز از اهمیت خاصی برخوردار است (۳ و ۴).

تولید و مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی متداول در طی چند دهه اخیر مشکلات زیست محیطی بسیار زیادی را سبب گردیده است که در این میان می‌توان به معضلاتی نظیر وارد شدن نیترات به آب‌های زیرزمینی و محیط زیست و بروز بیماری‌هایی مانند سرطان و برهم خوردن تعادل زیستی در محیط خاک که صدمات جبران‌ناپذیری به اکوسیستموارد می‌سازد، اشاره کرد. از این‌رو در سال‌های اخیر، توجه به

سلامت محصولات تولید شده سبب شده است تا روش‌های تولید و نهاده‌های بکار رفته مورد توجه خاص قرار گیرند (۵ و ۶). امروزه با درک بیشتر عوارض جدی زیست محیطی در بهبود حاصلخیزی خاک و تولید پایدار محصولات کشاورزی، تولید و کاربرد کودهای زیستی توسعه بیشتری یافته است. در این مورد، ارگانیسم‌های مورد استفاده برای تولید کودهای زیستی، از خاک منشاء می‌گیرند و در اغلب خاک‌ها حضور فعال دارند (۷ و ۸).

مصرف کودهای زیستی می‌تواند کمبود عناصر غذایی را جبران کند و از طریق تولید تنظیم‌کننده‌های رشد توسط میکروارگانیسم‌های موجود در محیط ریشه، باعث بهبود نمو گیاه شوند. این ریزجانداران موجب تحریک توسعه ریشه و در نتیجه جذب بهتر آب و مواد غذایی از خاک می‌شوند (۹). از جمله این میکروارگانیسم‌ها قارچ‌های میکوریزا هستند که سبب تغییر ترکیب شیمیایی ترشحات ریشه، جذب عناصر غذایی، تأثیرگذاری بر تعاملات جامعه میکروبی ریزوسفر گیاهان عالی می‌شوند و همه این عوامل بر ترکیب جامعه گیاهی اثر می‌گذارند (۱۰ و ۱۱). در مطالعه انجام شده توسط Salehi و همکاران (۱۴۰۰) در مورد تأثیر میکوریزا برخصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی در محیط کشت‌های مختلف در کشت بدون خاک مشخص شد که استفاده از قارچ میکوریزا توانست بر میزان سفتی، مواد جامد محلول و ویتامین ث اثر افزایشی داشته باشد (۱۲).

علاوه بر میکوریزا، گونه‌های مختلف تریکودرما به عنوان جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و ابزار زیستی موفق در زمینه کشاورزی پایدار و مؤثر در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی مطرح می‌باشند. این میکروارگانیسم‌ها با دارا بودن توان رقابت غذایی بالا، استقرار و اسپورزایی فراوان در محیط ریشه‌ی اغلب گیاهان زراعی و غیرزراعی و نیز قابلیت القای مقاومت در گیاه، نه تنها باعث کاهش عوامل بیمارگر در خاک شده، بلکه در برخی موارد موجب تحریک رشد گیاه می‌گردند. در کل گونه‌های مختلف تریکودرما فعالیت بیمارگرهای مختلف گیاهی اطراف ریشه را کاهش داده و راهبرد دفاعی گیاه را تقویت می‌نمایند. همچنین در افزایش رشد گیاه، اصلاح جذب مواد غذایی و بهبود دفاع گیاه در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش دارند (۱۳ و ۱۴).

از طرف دیگر، سلنیوم یک عنصر ریزمغذی با خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطان و آنتی‌ویروسی است که برای سلامت انسان و حیوانات ضروری می‌باشد، ولی برای گیاهان عالی ضروری شناخته نشده است. اهمیت این عنصر در سلامت انسان و حیوان به خاطر حضور در سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی و تعادل هورمونی است. بنابراین سلنیوم یک عنصر جزیی و ریزمغذی ضروری برای سلامتی انسان است که در غلظت‌های زیاد سمی می‌باشد (۱۵ و ۱۶). در مطالعه انجام شده روی توت‌فرنگی مشخص شد که تیمار سلنیوم می‌تواند رشد و علمکرد گیاه را در هم شرایط نرمال و هم شرایط تحت تنش به طور مطلوبی بهبود ببخشد (۱۷). همچنین، Narváez-Ortiz و همکاران (۲۰۱۸) گزارش نمودند که تیمار سلنیوم توانست وضعیت عناصر غذایی و همچنین وضعیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان توت‌فرنگی را تحت تأثیر قرار دهد (۱۸).

با توجه به اینکه نقش عنصر سلنیوم در سلامت انسان و پیشگیری از بیماری‌ها اثبات شده است، بنابراین، غنی‌سازی محصولات کشاورزی از جمله توت‌فرنگی می‌تواند راهکاری مناسب برای وارد کردن این عنصر به رژیم غذایی افراد جامعه باشد. همچنین با در نظر گرفتن این مورد که سلامت انسان‌ها به محیط زیست وابسته است، استفاده از قارچ‌های بیولوژیک باعث حفظ محیط زیست و در نهایت، بهبود وضعیت سلامتی افراد جامعه خواهد شد. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور ارزیابی اثرات همزیستی قارچ‌های میکوریزا و تریکودرما به همراه استفاده از سلنیوم بر برخی صفات فیزیولوژیکی توت‌فرنگی رقم گاویوتا انجام شد.

روش تحقیق

به منظور ارزیابی اثر قارچ‌های میکوریزا، تریکودرما و سلنیوم بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک توت‌فرنگی رقم گاویوتا، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده علوم

کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۶ به اجرا درآمد. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار و در هر تکرار تعداد چهار بوته و به صورت گلدانی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد انواع قارچ در سه سطح (بدون کاربرد قارچ‌ها، کاربرد قارچ میکوریزا و کاربرد قارچ تریکودرما) و استفاده از سلنیوم از منبع سلنات سدیم در پنج سطح خالص سلنیوم (۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود. در مجموع ۴۵ واحد آزمایشی (گلدان) و ۱۸۰ گیاه (چهار بوته در هر گلدان) در آزمایش حاضر بررسی شد.

توت‌فرنگی رقم گاویوتا به‌صورت نشاءهای ریشه‌پر در داخل سینی‌های نشاء از یک مرکز تجاری تولید نشاء توت‌فرنگی در آذر ماه ۱۳۹۶ تهیه گردید. نشاءهای آماده توت‌فرنگی رقم گاویوتا در اواخر آذر ماه به بستر کاشت انتقال یافت. بستر کاشت مورد استفاده در این آزمایش شامل مخلوطی از خاک لومی با ۵ درصد ماده آلی بود که در هر گلدان به ابعاد ۱۸×۲۰ سانتی‌متر یک گیاه کشت شد. همزمان با کاشت بوته‌های توت‌فرنگی، تیمارهای قارچ‌های همزیست شامل میکوریزا و قارچ تریکودرما، به صورت مجزا اعمال گردید. قارچ‌ها از شرکت زیست فناوران توران تهیه گردید. در زمان کاشت برای تلقیح قارچ‌ها مایه قارچ‌ها شامل هاگ، هیف و قطعات ریشه‌ای به میزان میزان ۵۰ گرم همراه با خاک در داخل بستر کاشت و زیر ریشه نشاءهای توت‌فرنگی قرار گرفتند. اعمال سطوح مختلف سلنیوم (به‌صورت سلنات سدیم) در غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در زمان استقرار کامل نشاءهای توت‌فرنگی بر اساس وزن هر گلدان همراه با آب آبیاری انجام شد. قارچ‌های میکوریزا و تریکودرما از شرکت‌های داخلی (شرکت زیست فناور توران و شرکت فناوران حیات سبز) تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

برای تعیین محتوای مواد جامد محلول کل (TSS) میوه‌ها از یک رفراکتومتر دستی (ATAGO PAL-3, Tokyo, Japan) استفاده شد. یک قطره آب میوه روی چشمی اندازه‌گیری قرار داده شد و قرائت مستقیماً به صورت °Brix گرفته شد (۱۹). همچنین pH میوه با استفاده از دستگاه pHمتر (model 691, Metrohm, AG, Herisau, Switzerland) اندازه‌گیری شد.

لازم به ذکر است جهت اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیکی، نمونه‌گیری بعد از اعمال تیمارها و قبل از پیری و زوال برگ‌ها انجام شد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش مهار رادیکال آزاد ۱، ۱-دی فنیل-۲- پیکریل هیدرازیل (DPPH) مورد سنجش قرار گرفت (۲۰). ۱ میلی‌لیتر عصاره متانولی به ۲ میلی‌لیتر محلول ۰,۱۵ میلی‌مولار DPPH در شرایط تاریکی اضافه گردیدو محلول حاصل به خوبی بهم زده شد و مخلوط گردید. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر پس از ۳۰ دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:

$$\% DPPH_{sc} = (A_{cont} - A_{samp}) / A_{cont} \times 100$$

%DPPHsc= درصد بازدارندگی، A_{cont} = میزان جذب DPPH، A_{samp}= میزان جذب (نمونه + DPPH)

غلظت آنتوسیانین به روش Ghasemnezhad و همکاران (۲۰۱۵) مورد سنجش قرار گرفت (۲۱). مطابق با این روش ۰/۱ گرم از بافت تازه میوه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به نسبت ۹۹ به ۱) به‌طور کامل سائیده و عصاره حاصل در لوله‌های آزمایش در پیچ‌دار ریخته شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و جذب محلول بالایی در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

برای تعیین غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید ابتدا ۵۰ میلی‌گرم نمونه برگی تازه از هر تیمار آزمایشی در ۵ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکسید (DMSO) به مدت چهار ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد درآون قرار داده شد. سپس جذب نوری عصاره‌های برگی در طول موج‌های ۴۸۰، ۶۴۹، ۶۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و اعداد به‌دست

آمده در فرمول‌های مربوطه جایگذاری و ابتدا کلروفیل a، کلروفیل b و سپس کلروفیل کل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید (۲۲).

برای تعیین مقدار پروتئین محلول از روش برادفورد استفاده شد (۲۳). مبنای این روش براساس اتصال رنگ کوماکسی بریانت بلو موجود در معرف اسیدی به مولکول پروتئین است. به‌منظور تهیه معرف، مقدار ۰/۰۱ گرم کوماکسی بریانت بلو در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد با کمک همزم مغناطیسی در تاریکی به‌خوبی حل گردید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر فسفریک اسید ۸۵ درصد قطره قطره به مخلوط فوق اضافه شد و پس از هم‌زدن حجم نهایی با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین ۲۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده را در ۸۰ میکرولیتر بافر استخراج رقیق کرده و ۵ میلی‌لیتر معرف کوماکسی بلو تازه به آن اضافه شد و دو دقیقه به هم زده شد و پس از ۵ دقیقه میزان جذب تابش در طول موج ۵۹۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر قرائت گردید. از بافر استخراج به عنوان شاهد استفاده شد.

آنالیزهای آماری شامل تجزیه واریانس براساس طرح فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. از نرم افزارهای نرم‌افزار SAS (Version 9.1 2002–2003, SAS Institute, Cary, NC) و Excel (2010) برای آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها استفاده گردید. لازم به ذکر است که قبل از آنالیز آماری، داده‌ها از لحاظ نرمال بودن بر اساس آزمون‌های Kolmogorov–Smirnov و Cochran مورد بررسی قرار گرفتند.

بحث و بررسی

pH میوه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط اثر ساده قارچ‌های اهد) با گیاهان تلقیح شده با قارچ تریکودرما اختلاف معنهمزیست در سطح احتمال یک درصد بر میزان pH میوه توت‌فرنگی رقم گاویوتا معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین گیاهان تلقیح نشده (شی‌داری از نظر pH وجود ندارد، اما گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در مقایسه با سایر گیاهان به طور معنی‌داری دارای بالاترین میزان pH (۳/۵۲) بودند (شکل ۱- الف).

یکی از ویژگی‌های مهم توت‌فرنگی که طعم و مزه میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، pH میوه می‌باشد. معمولاً توت‌فرنگی‌ها دارای طعم تند و اسیدی هستند. با افزایش pH، اسیدیته کاهش می‌یابد و طعم تند و تلخ آن کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش pH، ممکن است مزه توت‌فرنگی از ترش به شیرین‌ترین شکل تغییر کند. این به دلیل کاهش اسیدیته و افزایش مقدار شیرین‌کننده‌های طبیعی موجود در میوه است (۱ و ۲).

افزایش میزان pH میوه توت‌فرنگی با تیمار قارچی میکوریزا ممکن است به دلایل مختلفی رخ دهد. یکی از این دلایل می‌تواند به دلیل تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر روی جذب عناصر غذایی توسط گیاه باشد. قارچ‌های میکوریزا ارتباط همزیستی با ریشه‌های گیاه را برقرار می‌کنند و در تبادل عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن با گیاه نقش مهمی دارند. در نتیجه گیاه وضعیت تغذیه‌ای بهتری را برخوردار بوده که این امر می‌تواند بر تغییرات ترکیبات بیوشیمیایی تأثیرگذاشته و در نتیجه میزان pH میوه نیز تغییر یابد (۱۱ و ۱۲).

TSS میوه

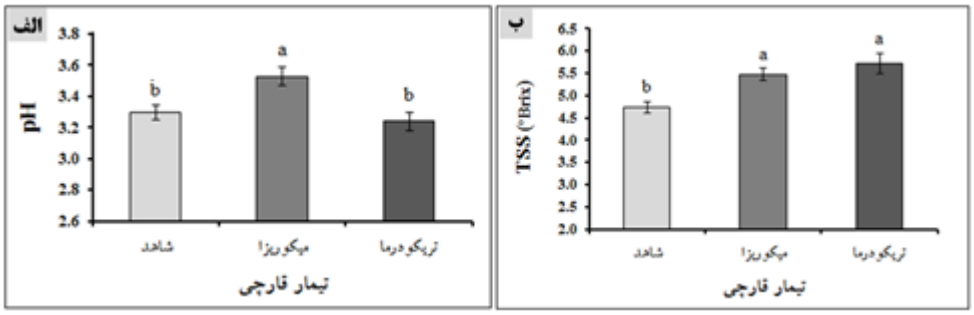
همانند pH میوه، میزان TSS میوه توت‌فرنگی رقم گاویوتا نیز فقط تحت اثر ساده قارچ‌های همزیست قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که گیاهان تلقیح شده با تریکودرما (°Brix ۵/۵۳) و میکوریزا (°Brix ۵/۷۱) به طور معنی‌داری میزان TSS میوه توت‌فرنگی را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده (°Brix ۴/۶۳) افزایش دادند (شکل ۱ب).

تأثیر استفاده از قارچ‌های همزیست را اینگونه می‌توان عنوان کرد که در واقع مصرف کودهای زیستی می‌توانند کمبود عناصر غذایی را جبران کنند و از طریق تولید تنظیم‌کننده‌های رشد توسط ریزجاندران موجود در محیط ریشه، باعث بهبود نمو گیاه شود، زیرا این ریزجاندران موجب تحریک توسعه ریشه و در نتیجه جذب بهتر آب و مواد غذایی از خاک می‌شوند. بنابراین به نظر می‌رسد که اثر مثبت تریکودرما و میکوریزا بر صفات مذکور ممکن است ناشی از بهبود جذب آب و مواد غذایی، ایجاد مقاومت و یا افزایش تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی و حفاظت از آفات و بیماری‌های گیاهی باشد (۲۴). همچنین جدایه‌های تریکودرما، فاکتورهای رشدی مانند اکسین، سیتوکینین، اتیلن و مولکول‌های شبه سیتوکینین مانند زآتین و جیبرلین یا وابسته به جیبرلین را تولید می‌کنند که باعث افزایش رشد ریشه و توسعه گیاه می‌شوند که در نتیجه آن تولید و اختصاص مواد کربوهیدراتی به میوه بهبود یافته و ترکیبات بیوشیمیایی میوه می‌تواند دچار تغییر شوند (۲۴ و ۲۵).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات تیمار سلنیوم و قارچ‌های همزیست (میکوریزا و تریکودرما) بر برخی صفات فیزیولوژیکی توت‌فرنگی رقم گاویوتا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		pH	TSS	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی	آنتوسیانین	پروتئین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
سلنیوم	۴	۰/۳۶۳ ns	۰/۳۶۳ ns	۷۳**	۰/۰۱۷۲۳**	۰/۱۹۵**	۱۷/۱۱**	۱۸/۳۹**	۶۳/۲۶**	۰/۸۸۹ ns
قارچ	۲	۷/۷۵۴**	۷/۷۵۴**	۱۱۸۳**	۰/۰۱۴۶۰**	۰/۴۰۸**	۴۶۹/۱۵**	۳۲۶/۳۷**	۱۵۷۶/۲۲**	۳۲/۷۱۹**
سلنیوم × قارچ	۸	۰/۲۶۳ ns	۰/۲۶۳ ns	۴۲*	۰/۰۰۷۸۵**	۰/۰۵۳ ns	۲۷/۲۹**	۱۱/۹۹**	۶۹/۹۹**	۰/۳۳۸ ns
خطای آزمایشی	۶۰	۰/۰۸۵	۰/۵۱۱	۱۵	۰/۰۰۱۹۹	۰/۰۲۷	۲/۷۶	۱/۲۹	۴/۱۹	۰/۶۷۵
ضریب تغییرات (٪)	-	۷/۹۸	۱۳/۱۵	۶/۱۵	۱۲/۹۴	۹/۷۳	۹/۱۸	۱۱/۴۵	۱۳/۰۸	۱۴/۶۷

**، * و ns بترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده نوع قارچ همزیست بر میزان pH (الف) و مواد جامد محلول کل (TSS، ب) میوه توت‌فرنگی رقم گاویوتا. حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر با آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد. میله‌های هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (Standard Error) می‌باشد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه

مشخص شد که هم اثرات ساده و هم اثرات متقابل تیمار سلنیوم و قارچ‌های همزیست توانستند به طور معنی‌داری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم گاویوتا را تحت تأثیر قرار دهند (جدول ۱). اگرچه تغییرات ظرفیت آنتی‌اکسدانی میوه توت‌فرنگی در سطوح مختلف تیمارهای مختلف، رفتار متفاوتی را نشان داد اما به طور کلی با افزایش سطح سلنیوم تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک ظرفیت آنتی‌اکسدانی میوه افزایش یافت و سپس کاهش اندکی را نشان داد (جدول ۲). همچنین مشخص شد که استفاده از تلقیح قارچ‌های همزیست توانست تا حدی ظرفیت آنتی‌اکسدانی میوه را افزایش دهد که در این میان اثرات تلقیح با تریکودرما مشهودتر بود. در حالت کلی، بالاترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسدانی میوه در غلظت ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تیمار سلنیوم در گیاهان تلقیح شده با قارچ تریکودرما مشاهده شد (جدول ۲).

نتایج بسیاری از مطالعات پیشین بیانگر اثر مثبت قارچ‌های همزیست بر افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان است (۲۶ و ۲۷). همچنین، اثر سلنیوم بر ظرفیت آنتی‌اکسیدان را می‌توان چنین بیان کرد که سلنیوم علاوه‌بر اینکه در ساختار برخی آنزیم‌ها و ترکیبات موجود در گیاه به کار رفته است، می‌تواند روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز اثر بگذارد (۲۷ و ۲۸). تأثیر مثبت قارچ‌های همزیست بر ظرفیت آنتی‌اکسدانی میوه می‌تواند به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود شرایط رشدی باشد که باعث تولید اسیمولات‌ها شده و این ترکیبات در سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به کار گرفته می‌شوند (۱۰، ۲۶ و ۲۸).

آنتوسیانین برگ

آنتوسیانین برگ میوه توت‌فرنگی رقم گاویوتا به طور معنی‌دار و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر هم اثرات ساده و هم اثرات متقابل تیمار سلنیوم و قارچ‌های همزیست قرار گرفت (جدول ۱). به طور کلی مشخص شد که بیشترین میزان آنتوسیانین میوه در شرایط بدون سلنیوم به دست آمد به طوری که با اعمال سلنیوم میزان آنتوسیانین میوه تا غلظت ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کاهش معنی‌داری یافت و سپس در غلظت ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک افزایش اندکی را نشان داد (جدول ۲). مشاهده شد که در غلظت‌های مختلف سلنیوم، در اکثر موارد گیاهان تلقیح شده با قارچ تریکودرما از میزان آنتوسیانین بیشتری برخوردار بودند (جدول ۲). در مجموع بیشترین میزان آنتوسیانین میوه با ۰/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه در شرایط بدون تیمار سلنیومی و در گیاهان تلقیح شده با قارچ تریکودرما به دست آمد.

تأثیر مثبت قارچ‌های همزیست بر افزایش میزان آنتوسیانین میوه را می‌توان به اثرات محرک رشدی این قارچ‌ها مرتبط دانست که با ایجار شرایط بهینه رشد باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی شده و در نتیجه مواد اولیه

جهت سنتز رنگدانه آنتوسیانین را افزایش می‌دهند (۱۳ و ۱۴). براساس نتایج حاصل از این پژوهش، سلنیوم منجر به کاهش آنتوسیانین شد. احتمال دارد علت کاهش آنتوسیانین در گیاه با کاربرد سلنیوم ایجاد سمیت در گیاه باشد که این موضوع با نتایج تحقیقات (۲۹) همراستا است.

پروتئین برگ

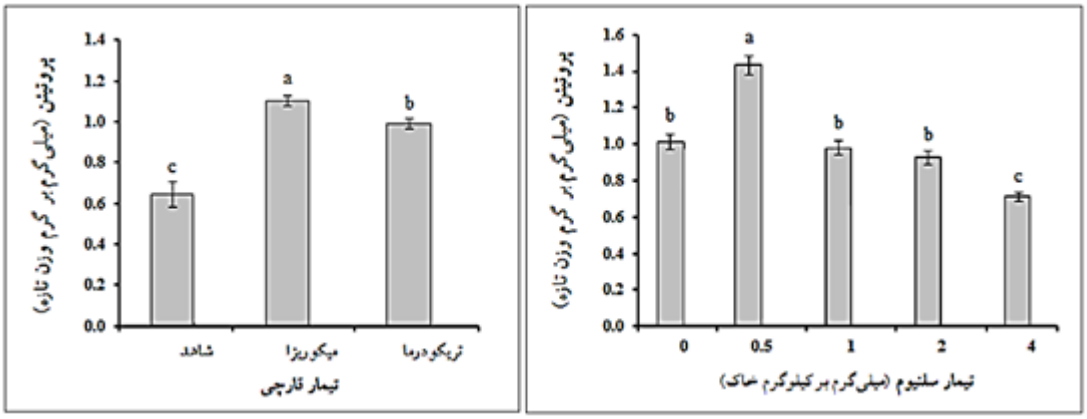
بر اساس جدول ۱، میزان پروتئین برگ فقط تحت تأثیر اثرات ساده تیمار سلنیوم و قارچ‌های همزیست قرار داشت. مشخص شد که تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریزا و تریکودرما باعث افزایش میزان پروتئین برگ نسبت به گیاهان تلقیح نشده (شاهد) شد. بر اساس شکل ۲، با افزایش غلظت سلنیوم تا ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک میزان پروتئین افزایش یافت و پس از آن و با افزایش غلظت سلنیوم، میزان پروتئین به تدریج کاهش پیدا کرد.

افزایش غلظت سلنیوم از ۰/۵ میلی‌گرم به بالا منجر به کاهش پروتئین کل شد. افزایش بیش از حد غلظت سلنیوم کاهش پروتئین و زیست توده گیاه را سبب می‌شود که ممکن است به دلیل اثر تخریبی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و یا واکنش با گروه سولفیدریل برخی آنزیم‌ها، جانشین شدن به جای گوگرد در ساختار سولفولیپیدهای غشاء تیلاکوئیدها و تجزیه آنزیم روبیسکو باشد که فتوسنتز گیاه را نهایتاً کاهش می‌دهد (۳۰).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سلنیوم × قارچ بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی رقم گاویوتا.

تیمار سلنیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	قارچ‌های همزیست	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (%DPPHsc)	آنتوسیانین (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)
۰	**بدون تلقیح**	۴۴/۰۵g*	۰/۲۷bcd
	میکوریزا	۵۲/۳۵ef	۰/۲۵cde
	تریکودرما	۴۹/۷۶fg	۰/۴۰a
۰/۵	**بدون تلقیح**	۵۲/۶۹ef	۰/۲۵cde
	میکوریزا	۵۲/۶۷ef	۰/۲۴cde
	تریکودرما	۵۲/۰۹ef	۰/۳۰b
۱	**بدون تلقیح**	۶۶/۵۷bc	۰/۲۳de
	میکوریزا	۷۰/۹۷abc	۰/۲۴cde
	تریکودرما	۷۱/۵۹ab	۰/۲۹b
۲	**شاهد**	۶۳/۰۱cd	۰/۱۵f
	میکوریزا	۵۴/۰۳ef	۰/۱۴f
	تریکودرما	۶۵/۸۲bc	۰/۲۵cde
۴	**شاهد**	۴۸/۵۱fg	۰/۲۴cde
	میکوریزا	۵۲/۶۵ef	۰/۲۵cde
	تریکودرما	۵۳/۴۲ef	۰/۲۷bcd

* حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر با آزمون چند دامنه‌ای دانکن.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات ساده نوع قارچ همزیست (الف) و تیمار سلنیوم (ب) بر میزان پروتئین برگ توت‌فرنگی رقم گاویوتا. حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر با آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد. میله‌های هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (Standard Error) می‌باشد.

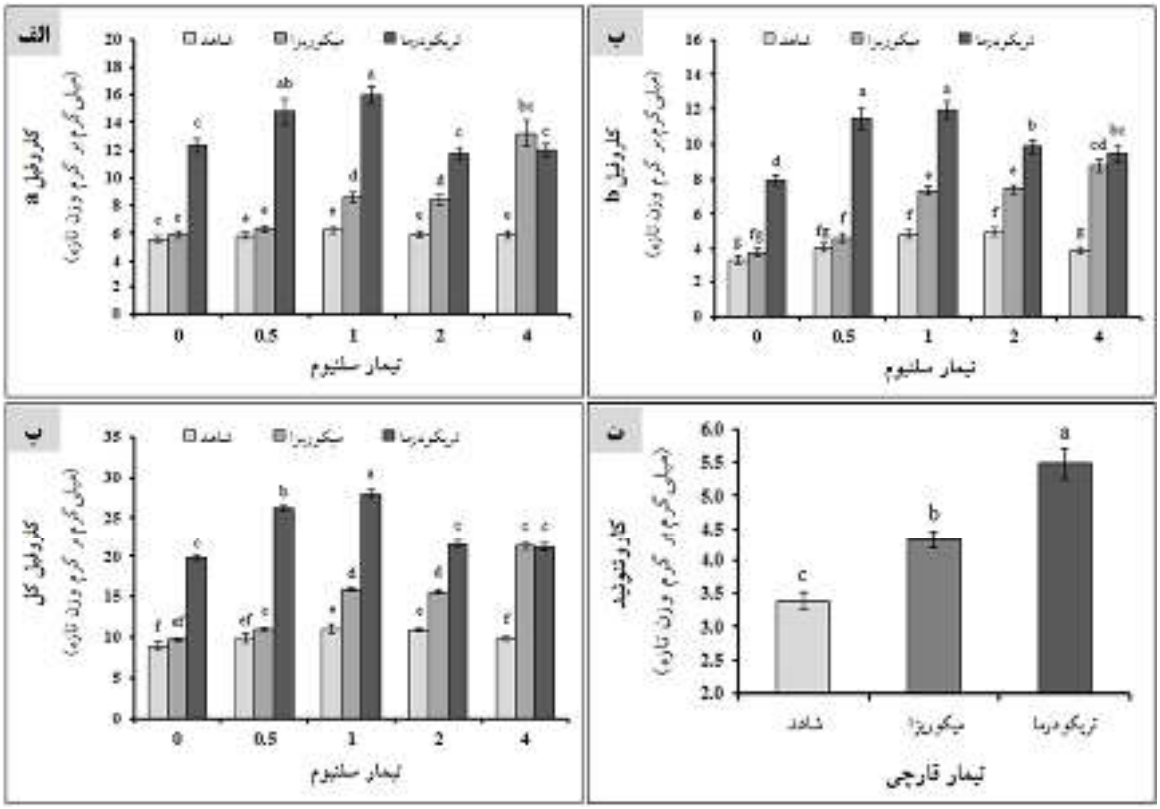
کلروفیل برگ

نتایج حاکی از آن بود که هم اثرات ساده و هم اثرات متقابل تیمار سلنیوم و قارچ‌های همزیست در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل برگ توت‌فرنگی رقم گاویوتا معنی‌دار بود (جدول ۱). در شرایط استفاده از تریکودرما مصرف سلنیوم تا میزان ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک منجر به افزایش کلروفیل a گردید، اما از آن غلظت به بعد میزان کلروفیلa کاهش یافت. در شرایط استفاده از میکوریزا افزایش غلظت سلنیوم به میزان ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک منجر به افزایش کلروفیل a گردید (شکل ۳ الف).

در شرایط استفاده از قارچ تریکودرما، با افزایش غلظت سلنیوم به ۱ میلی‌گرم بر گرم خاک، میزان کلروفیل b افزایش و پس از آن اندکی کاهش یافت. این درحالی بود که در شرایط استفاده از قارچ میکوریزا، با افزایش غلظت سلنیوم میزان کلروفیل b به طور مداوم افزایش پیدا کرد (شکل ۳ب). در شرایط استفاده از قارچ تریکودرما، با افزایش غلظت سلنیوم به ۱ میلی‌گرم بر گرم خاک، میزان کلروفیل کل افزایش و پس از آن اندکی کاهش یافت. این درحالی بود که در شرایط استفاده از قارچ میکوریزا، با افزایش غلظت سلنیوم میزان کلروفیل کل به طور مداوم افزایش پیدا کرد (شکل ۳پ).

براساس نتایج حاصل از این مطالعه، کاربرد قارچ تریکودرما و میکوریزا منجر به افزایش کلروفیلa، کلروفیلb و کلروفیل کل گردید اما این افزایش در شرایط استفاده از تریکودرما محسوس‌تر بود. نتایج اثر مثبت میکوریزا آربوسکولار بر شاخص کلروفیل در این آزمایش با نتایج سایر محققان هم راستا است (۳۱ و ۳۲). همچنین نتایج مطالعات قبلی بیانگر افزایش کلروفیل با کاربرد قارچ تریکودرما بود (۳۳).

میکوریزا از راه ایجاد همزیستی با گیاه میزبان در جذب مؤثر برخی عناصر مثل فسفر که به عنوان عنصر کلیدی در انتقال انرژی طی فرآیند فتوسنتز مطرح است، افزایش محتوای کلروفیل و به دنبال آن افزایش فتوسنتز را به همراه دارد. همچنین میکوریزا با آسان کردن روند جذب عناصری از قبیل نیتروژن و منیزیم (جزء اصلی ساختار مولکول کلروفیل) به افزایش محتوای کلروفیل کمک می‌نماید. نشان داده شده است که استفاده از قارچ میکوریزا موجب افزایش سطح برگ‌ها و افزایش مقدار کلروفیل می‌شود و در نتیجه سرعت فتوسنتز خالص در کل دوره رشد گیاه افزایش می‌یابد. همزیستی قارچ میکوریزا باعث افزایش مقدار کلروفیل در گیاه میزبان می‌شود، به صورتی که در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا، مقدار کلروفیل بیشتری از گیاهان غیر میکوریزایی بود (۱۱ و ۳۴).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع قارچ همزیست و تیمار سلنیوم بر میزان کلروفیل a (الف)، کلروفیل b (ب) و کلروفیل کل (پ) و اثر ساده نوع قارچ همزیست بر میزان کاروتنوئید (ت) برگ توت‌فرنگی رقم گاویوتا. حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر با آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد. میله‌های هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (Standard Error) می‌باشد.

نقش سلنیوم در تأثیر روی کمپلکس‌های فتوسنتزی، انتقال الکترون و بهبود سیستم فتوسنتزی، تنظیم جذب و باز توزیع عناصر ضروری مشخص شده است (۳۵). ساخت و فعال‌سازی آنزیم‌ها، ساخت ترکیبات حیاتی مثل گلوتاتیون پراکسیداز و شبه تیول‌ها، بازسازی کلروپلاست، حفاظت از اسیدهای چرب، غشاء و مهار رادیکال‌های آزاد، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها، در توجیه اثر سلنیوم در افزایش محتوای کلروفیل کافی است (۳۶). اما افزایش بیش از حد سلنیوم در این آزمایش رنگیزه‌های فتوسنتزی را در گیاهان تلقیح شده با قارچ تریکودرما کاهش داد، این موضوع با نتایج مطالعه Namdar و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد (۳۷). افزایش غلظت سلنیوم با افزایش ترکیبات فنلی مانند کوماریک و فرولیک اسید و افزایش آنزیم کلروفیلاز تجزیه کلروفیل را افزایش داد و با جانشین شدن به جای منیزیم در ساختار کلروفیل و مهار ساخت پورفوبیلینوژن سنتتاز و واکنش با گروه سولفیدریل آنزیم‌های آمینولولینیک اسید دهیدراتاز و پورفوبیلینوژن دآمیناز، سبب کاهش ساخت کلروفیل شد (۳۸).

کاروتنوئید برگ

مطابق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، میزان کاروتنوئید برگ توت‌فرنگی رقم گاویوتا فقط تحت تأثیر اثر ساده نوع قارچ‌های همزیست قرار داشت (جدول ۱). در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده (۳/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)، گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریز (۴/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) و تریکودرما (۵/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن

تـازه) بـه طور معنی‌داری میزان کـاروتنوئید توت‌فرنگی را افزایش داد (شکل ۳ت).

در همین راســـتـا نتـایج مطالعه‌ای بیانگر افزایش ۱۰ درصـــدی محتوای کاروتنوئید با کاربرد تریکودرما در برنج بود (۳۹). در این مطـالعـه ســـلنیوم بر کـاروتنوئیـد اثر معنی‌داری نداشـــت که این موضـــوع با نتایج مطالعه روی فلفـل دلمـه‌ای حـاکی از عـدم تأثیر ســـلنیوم بر محتوای کاروتنوئید هم راستا است (۴۰).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی حاضر حاکی از آن بود که میزان pH، مواد جامد محلول کل (TSS)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنتوســـیـانین میوه و نیز میزان پروتئین، کلروفیـل و کـاروتنوئیـد برگ توت‌فرنگی رقم گـاویوتـا در واکنش بـه اسـتفاده از قارچ‌های همزیست و به ویژه تریکودرما افزایش معنی‌داری را نشـــان دادند. همچنین مشـــخص شـــد که ظرفیـت آنتی‌اکســـیدانی و آنتوســـیانین میوه و همچنین میزان پروتئین و کلروفیل برگ تحت شرایط تیمار سلنیوم بـه ویژه در غلظت‌های کم (۰/۵ و ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خـاک) افزایش یـافـت. در نهـایـت، می‌توان اســـتفـاده از قارچ‌های همزیســت به ویژه تریکودرما را به همراه استفاده از تیمار سـلنیوم (۰/۵ و ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در برنامه‌های کشت توت‌فرنگی رقم گاویوتا پیشنهاد کرد.

References

1- Giampieri F, Forbes-Hernandez TY, Gasparrini M, Alvarez-Suarez JM, Afrin S, Bompadre S, Quiles JL. Mezzetti B, Battino M. Strawberry as a health promoter: an evidence based review. *Food & Function*. 2015; 6(5): 1386-1398.

2- Afrin S, Gasparrini M, Forbes-Hernandez TY, Reboredo-Rodriguez P, Mezzetti B, Varela-López A, Giampieri F, Battino M. Promising health benefits of the strawberry: A focus on clinical studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016; 64(22): 4435-4449.

3- Hummerr KE, Hancock J. Strawberry genomics: Botanical history, cultivation, traditional breeding, and new technologies. In: Folta K, Gardiner S. editors. Genetics and Genomics of Rosaceae. Springer Science + Business Media, New York, 2009; pp. 413-435.

4- Hummerr KE, Bassil N, Njuguna W. *Fragaria*. In: Kole C. editor. Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources, Temperate Fruits. 2011; pp. 17-43.

5- Tan H, Barret M, Rice O, Dowling DN, Burke J, Morrissey JP, O'Gara F. Long-term agrichemical use leads to alterations in bacterial community diversity. *Plant, Soil and Environment*. 2012; 58: 452-458.

6- Pahalvi HN, Rafiya L, Rashid S, Nisar B, Kamili AN. Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health. In: Dar GH, Bhat RA, Mehmood MA, Hakeem KR. editors. Microbiota and Biofertilizers, Springer, Cham. 2021.

7- Bharti N, Suryavanshi M. Quality control and regulations of biofertilizers: Current scenario and future prospects. In: Rakshit A, Meena VS, Parihar M, Singh HB, Singh AK. editors. Biofertilizers, Woodhead Publishing. 2021; pp. 133-141.

8- Mitter EK, Tosi M, Obregón D, Dunfield KE, Germida JJ. Rethinking crop nutrition in times of modern microbiology: Innovative biofertilizer technologies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021; 5: 606-815.

9- Van der Heijden MGA, Martin FM, Selosse MA, Sanders IR. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the

future. *New Phytologist*. 2015; 205(4): 1406-1423.

10- Singh D, Thapa S, Geat N, Mehriya ML, Rajawat MVS. Biofertilizers: Mechanisms and application. In: Rakshit A, Meena VS, Parihar M, Singh HB, Singh AK. editors. Biofertilizers, Woodhead Publishing. 2021; pp. 151-166.

11- Figueiredo AF, Boy J, Guggenberger G. Common mycorrhizae network: A review of the theories and mechanisms behind underground interactions. *Frontiers in Fungal Biology*. 2021; 2: 735299.

12- Salehi H, Javadi T, Ghaderi N. The effect of mycorrhiza on the quality characteristics of strawberry fruit in different culture environments in soilless culture. *The 12th Congress of Horticultural Sciences of Iran*. 2021; 5 Sep, Rafsanjan, Iran. [In Persian]

13- Tyśkiewicz R, Nowak A, Ozimek E, Jaroszuk-Ściseł J. Trichoderma: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(4): 2329.

14- Kumar S, Diksha L, Sindhu SS, Kumar R. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*. 2022; 3: 100094.

15- Schiavon M, Lima LW, Jiang Y, Hawkesford MJ. Effects of Selenium on Plant Metabolism and Implications for Crops and Consumers. In: Pilon-Smits E, Winkel L, Lin ZQ. editors. Selenium in Plants. Plant Ecophysiology, Springer, Cham. 2017.

16- Lanza MGDB, Reis AR. Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021; 164: 27-43.

17- Zahedi SM, Abdelrahman M, Sadat Hosseini M, Fahadi Hoveizeh N, Tran LSP. Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium-nanoparticles. *Environmental Pollution*. 2019; 253: 246-258.

18- Narváez-Ortiz WA, Martínez-Hernández M, Fuentes-Lara LO, Benavides-Mendoza A, Valenzuela-García JR, González-Fuentes JA. Effect of selenium application on mineral macro- and micronutrients and antioxidant status in strawberries. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2018; 91: 321-331.

19- Javaherdashti M, Ghasemnezhad M, Smizadeh Lahiji H, Shiri MA. Comparison of nutritional value and antioxidant compounds of Some winter pumpkin (*Cucurbita* Sp) species fruits in Iran. *Advances in Environmental Biology*. 2012; 6(10): 2611-2616

20- Brand-Williams, W, Cuvelier ME, Berset C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science Technology*. 1995; 28(1): 25-30.

21- Ghasemnezhad M, Zareh S, Shiri MA, Javdani J. The arils characterization of five different pomegranate (*Punica granatum*) genotypes stored after minimal processing technology. *Journal of Food Science and Technology*. 2015; 52(4): 2023-2032.

22- Shiri MA, Ghasemnezhad M, Fattahi Moghaddam J, Ebrahimi R. Enhancing and maintaining nutritional quality and bioactive compounds of 'Hayward' kiwifruit: Comparison the effectiveness of different $CaCl_2$ spraying times. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2016b; 40(5): 850-862.

23- Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 1976; 72(1-2): 248-54.

24- Duc NH, Mayer Z, Pek Z, Helyes L, Posta K. Combined inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi, *Pseudomonas fluorescens* and *trichoderma* spp. For enhancing defense enzymes and yield of three pepper cultivars. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2017; 15(3): 1815-1829.

25- Yuan S, Li M, Fang Z, Liu Y, Shi W, Pan B, Shen Q. Biological control of tobacco bacterial wilt using *Trichoderma harzianum* amended bioorganic fertilizer and the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae*. *Biological Control*. 2016; 92: 164-171.

26- Sarkar J, Ray A, Chakraborty B, Chakraborty U. Antioxidative changes in *Citrus reticulata* L. induced by drought stress and its effect on root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi. *European Journal of Biological Research*. 2016; 6(1): 1-13.

27- Zahangeer Alam M, McGee R, Anamul Hosque M, Jalal Ahamad G, Carpenter-Boggs L. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi, selenium and biochar on photosynthetic pigments and aqntioxidant enzyme activity under arsenic stress in Mung Bean (*Vigna radiata*). *Physiologist*. 2019; 10: 193:1-13.

28- Beladel B, Nedjimi B, Mansouri A, Tahtat D, Belamri M, Tchanchane A, Khelfaoui F, Benamar MEA. Selenium content in wheat and estimation of the selenium daily intake in different regions of Algeria. *Applied Radiation and Isotopes*. 2013; 71: 7-10.

29- Pu Z, Wei G, Liu Z, Chen L, Guo H, Li Y, Li Y, Dai S, Wang J, Li W, Jiang Q, Wei Y, Zheng Y. Selenium and anthocyanins share the same transcription factors *R2R3-MYB* and *bHLH* in wheat. *Food Chemistry*, 2021; 356; 129699.

30- Pilon-Smits EAH, Winkel LHE, Lin ZQ. Selenium in Plants: Molecular, Physiological, Ecological and Evolutionary Aspects. *Plant Ecophysiology*. 2017; pp. 324.

31- Bolandnazar SA, Neyshaboury MR, Aliasgharzad N, Chapazadeh N. Effects of mycorrhizal colonization on growth parameters of onion under dofferent irrigation and soil coditions. *Pakistan Journal of Biology Sciences*. 2007; 10(9): 1491-1495.

32- Asensio D, Rapparini F, Peñuelas J. AM fungi root colonization increases the production of essential isoprenoids vs nonessential isoprenoids especially under drought stress conditions or after jasmonic acid application. *Phytochemistry*. 2012; 77: 149-161.

33- Johnson D, Leake JR, Ostle N, Ineson P, Read DJ. In situ $13CO_2$ pulselabelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. *New Phytologist*. 2002; 153: 327-334.

34- Begum N, Qin C, Ahanger MA, Raza S, Khan MI, Ashraf M, Zhang L. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*. 2019; 10.

35- Feng RW, Wei CY. Antioxidative mechanisms on selenium accumulation in *Pteris vittata* L., a potential selenium phytoremediation plant. *Plant Soil and Environment*. 2012; 58, 105-110.

36- Pennanen A, Hartikainen H, Lukkari K, Ollilainen V. Acclimation of *Lactuca sativa* to increased UV irradiation at various selenium levels. *Photosynthesis Research*. 2001; 69: 30.

37- Namdar M, Arvin MJ, Bahremand N. Effect of selenium on growth, physiological and biochemical indices of garlic plant (*Allium sativum*) under cadmium toxicity. *Plant Process and Function*. 2019; 8(30): 137-153. [In Persian]

38- Hawrylak-Nowak B. Enhanced selenium content in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by foliar fertilization. *Vegetable Crops Research Bulletin*. 2008; 69: 63-72.

39- Mohammadi Kashka F, Pirdashti H, Yaghoubian Y. Inoculation with *Trichoderma virens* and *Piriformospora indica* for improving the morphological and physiological traits related to grain yield of rice under different rates of phosphorus fertilizer. *Journal of Crop Ecophysiology*. 2018; 11(4): 857-874. [In Persian]

40- Shekari L, Kamelmanesh M, Mozafariyan M, Hasanuzzaman M, Sadeghi F. Role of selenium in mitigation of cadmium toxicity in pepper grown in hydroponic condition. *Journal of Plant Nutrition*. 2017; 40(6): 761-772.

Vol.3/No.1/Summer 2023/Pages 21-35 https://www.qafj.iauk.ac.ir

Evaluation of Physiological and Biochemical Changes of Strawberry Cv. Gaviota in Response to Mycorrhizal and Trichoderma Fungi Under Selenium Treatment

Ali Lachinani[1], Seyed Jalal Tabatabaei[*2], Amir Bostani[3], Vahid Abdossi[4], Saeed Rezaee[5]

1- Ph.D Student, Department of Horticultural Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran

3- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

5- Assistant Professor, Department of Plant Protection, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

* Corresponding Author: j.tabatabaei@shahed.ac.ir

Received: 7/5/2023, Accepted: 11/7/2023

Abstract

This study evaluated the effects of Mycorrhiza (*Rhizophagus irregularis*), Trichoderma (*Trichoderma harzianum*) and selenium on some physiological traits of Gaviota strawberry as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications in the Shahed University, Faculty of Agricultural Sciences research greenhouse in 2017. The treatments included fungi (No inoculation, Mycorrhiza, Trichoderma) and selenium (0, 0.5, 1, 2 and 4 mg/kg soil). The results showed that the use of symbiotic fungi, especially Trichoderma, could significantly increase the pH, total soluble solids (TSS), antioxidant capacity and anthocyanin of the fruit, as well as increase the amount of protein, chlorophyll and carotenoid of Gaviota strawberry leaves. Furthermore, selenium treatment, especially at low concentrations (0.5 and 1 mg/kg soil), could increase the antioxidant and anthocyanin capacity of the fruit, as well as the amount of protein and chlorophyll in the leaves. Overall, it is possible to recommend the using of symbiotic fungi, especially Trichoderma, along with low concentrations of selenium (0.5 and 1 mg/kg soil) in Gaviota strawberry cultivation programs.

Keywords: Anthocyanin, Protein, Antioxidant capacity, Symbiotic fungi, Chlorophyll