Archive of SID

بررسی تأثیر قارچ‌های *تریکودرمای* محرک رشد بر بهبود رشد و تغذیه درختان پسته در شرایط باغی

عاطفه حسین زینلی، پیمان عباس‌زاده دهجی[1]، حسین علایی، سید جواد حسینی فرد و عبدالرضا اخگر

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان؛ **shamim4061@chmail.ir**

استادیار گروه خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان؛ **p.abbaszadeh@vru.ac.ir**

دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان؛ **hossein.alaei@vru.ac.ir**

استادیار، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ **hosseinifard@pri.ir**

دانشیار گروه خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان؛ **akhgar@vru.ac.ir**

دریافت: **99/2/13** و پذیرش: **99/7/6**

چکیده

یکی از راه‌کارهای مناسب برای کاهش اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و رشد گیاهان، استفاده از کودهای زیستی مانند قارچ‌های محرک رشد گیاه می‌باشد. کودهای زیستی می‌توانند به‌عنوان مکمل یا جایگزین کودهای شیمیایی در کشاورزی پایدار به‌کار برده شوند. بر این اساس، به‌منظور بررسی تاثیر قارچ *تریکودرما* بر تغذیه و رشد درختان پسته، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، که هر بلوک شامل چهار تیمار (T_0) شاهد، (بدون مایه‌زنی قارچ *تریکودرما*)، گونه (*Trichoderma harzianum* (T_1)، گونه *Trichoderma viride* (T_2) و تیمار T_3 مخلوط مساوی از مایه‌تلقیح تیمار T_1 و T_2 در سه تکرار در شرایط باغی انجام گردید. نتایج نشان داد که هر سه تیمار قارچ توانستند پارامترهای رویشی شامل طول شاخه (تا 60%)، تعداد جوانه رویشی (تا 30%)، سطح برگ (تا 50%) و شاخص کلروفیل را (تا 171%) در درختان پسته به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد بدون تلقیح افزایش دهند. کاربرد تیمارهای قارچی باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم و روی برگ درختان پسته به ترتیب تا 20 و 70 درصد نسبت به شاهد گردید. کاربرد تیمار T_2 باعث افزایش معنی‌دار و 14 درصدی غلظت فسفر و 40 درصدی کلسیم برگ شد. کاربرد دو تیمار T_1 و T_3 غلظت منیزیم برگ درختان پسته را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار و تا 25 درصد افزایش دادند و تنها تیمار T_1 باعث افزایش معنی‌دار و 28 درصدی غلظت آهن برگ در مقایسه با عدم مایه‌زنی درختان شد. استفاده از تیمارهای T1، T2 و T3 به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار 73/2، 171 و 59/2 درصدی کلروفیل کل و 77/6، 80/3 و 64/8 درصدی کاروتنویید برگ درختان پسته نسبت به تیمار شاهد گردید. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش و پس از انجام آزمایشات مزرعه‌ای بیشتر می‌توان انتظار داشت که بتوان از این قارچ‌ها به‌عنوان کود زیستی (به تنهایی و یا به صورت کاربرد توام) در جهت کاهش حداقل بخشی از مصرف کودهای شیمیایی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اکسین، انحلال فسفات، تریکودرما ویریدی، تریکودرما هارزیانوم، فسفر

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: رفسنجان، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان (عج)، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

پسته (*Pistacia vera L.*) گیاهی نیمه گرمسیری از خانواده‌ی *Anacardiaceae* و جنس *Pistacia*، یکی از مهم‌ترین محصولات باغی و کالای صادراتی ایران می‌باشد که از اهمیت اقتصادی ویژه‌ای برخوردار است (رضوی و همکاران، 2005). اگرچه ایران مهم‌ترین تولیدکننده‌ی پسته در دنیا است، اما عملکرد پسته در برخی مناطق این کشور پایین است. اکثر باغ‌های پسته با آب‌های شور و با کیفیت پایین آبیاری می‌شوند (حجت نوقی و مظفری، 2012) که این عامل سبب کاهش میزان تولید پسته در سال‌های اخیر به‌خصوص در استان کرمان شده است (سلیمان‌زاده و همکاران، 2013). بخش عمده باغ‌های پسته ایران در نواحی خشک استان کرمان قرار دارد و خشکی، رشد و تغذیه را تحت تأثیر قرار داده است. کاهش رشد و اختلال در تغذیه درختان پسته توسط پژوهشگران گزارش شده است (اسماعیل‌پور و همکاران، 2016). مظفری و ملکوتی (2006) طی تحقیقی، مسائل تغذیه‌ای درخت‌های پسته شهرستان رفسنجان را مطالعه و گزارش کردند که در نیم‌رخ بیشتر خاک‌ها عوامل محدود کننده‌ای، همانند شوری و پی‌اچ قلیایی و درصد بالای آهک، باعث بروز مشکلات تغذیه‌ای، از جمله کمبود پتاسیم، فسفر، روی، آهن ، مس و منگنز می‌شود. بالا بودن پی‌اچ در بیشتر خاک‌های باغات پسته باعث کلروز شدید می‌شود که ناشی از جذب کم آهن می‌باشد که استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی باعث تشدید شدن قلیایت خاک و مشکلات زیست‌محیطی می‌شود (پناهی و همکاران، 1380).

اگرچه امروزه استفاده از کودهای شیمیایی به‌عنوان سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک و عملکرد بالا، گسترش چشمگیری یافته است، اما استفاده مداوم از این کودها باعث تخریب برخی از خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی در نهایت کاهش باروری خاک می‌گردد (صالحی و همکاران، 2014؛ کالهاپور و همکاران، 2013). کودهای زیستی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی یکی از ارکان اساسی در کشاورزی پایدار است (آرودا و همکاران، 2013). یکی از راه‌حل‌های نوین در کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک ارزیابی عملکرد گیاهان در شرایط تنش استفاده از ریزجانداران مفید خاک به‌عنوان کودهای زیستی جهت کاهش خسارت‌های ناشی از تنش‌های محیطی می‌باشد (ابین‌ماستو و همکاران، 2006). روش‌های زیستی یکی از روش‌های بسیار مفید و دوست‌دار محیط زیست جهت بهبود رشد و تغذیه گیاهان در شرایط تنش می‌باشد. روش‌های زیستی، همچون استفاده از ریزجانداران محرک رشد مانند باکتری‌های ریزوسفری بهبوددهنده‌ی رشد گیاه (PGPR)[1] و قارچ‌های بهبوددهنده‌ی رشد گیاه (PGPF)[2] که رابطه‌ی همیاری با گیاهان دارند، می‌تواند راه‌کار مناسبی جهت بهبود تغذیه و رشد گیاه در شرایط عادی و تنش باشند. این ریزجانداران می‌توانند با سرکوب عوامل بیمارگر گیاهی، تولید محرک‌های رشد گیاه، کاهش تنش‌های زیستی و غیرزیستی و یا با القای مقاومت سیستمیک (ISR)[3] اثرات مفیدی بر گیاهان داشته باشند (شورش و همکاران، 2010). استفاده از گونه‌های *تریکودرما*[4] یکی از روش‌های زیستی به‌منظور افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌باشد (هارمن، 2011).

گونه‌های جنس *تریکودرما* از مهم‌ترین قارچ‌های آنتاگونیست هستند که به‌عنوان قارچ ساپروفیت در اغلب خاک‌ها وجود دارند. این ریزجانداران به‌عنوان قارچ‌های افزاینده‌ی رشد گیاهی PGPF جزء متداول‌ترین گونه‌های قارچی اصلاح کننده‌ی خاک محسوب می‌شوند (وینال و همکاران، 2008). هم‌چنین اغلب سویه‌های *تریکودرما*، محیط اطراف خود را با ترشح اسیدهای آلی، همچون اسید گلوکونیک، اسیدسیتریک و اسیدفوماریک اسیدی می‌کنند و در نتیجه قادر به حل کردن فسفات، ریزمغذی‌ها، آهن، منگنز و منیزیم خواهند بود (هارمن و همکاران، 2004). توان اسپورزایی بالا، تحمل بالا نسبت به عناصر سنگین خاک، شوری و رقابت تغذیه‌ای بالا نسبت به‌عوامل بیماری‌زا در محیط ریزوسفر، از مهم‌ترین خصوصیات گونه‌های مختلف جنس *تریکودرما* محسوب می‌شوند (هارمن و همکاران، 2004). بال و همکاران (2006) بیان کردند که گونه‌های مختلف *تریکودرما* در افزایش رشد گیاهان و محصولات مختلف مؤثر هستند. ازجمله گونه‌های محرک رشد قارچ *تریکودرما* می‌توان به *T. harzianum* و *T.viride* اشاره کرد. سویه‌های *تریکودرما*، فاکتورهای محرک رشدی مختلفی مانند اکسین، سیتوکینین، اتیلن و مولکول‌های شبه سیتوکینین مانند زئاتین و جیبرلین (GA3) یا وابسته به GA3 را تولید می‌کنند که باعث افزایش رشد ریشه و توسعه‌ی گیاه می‌شود (اوسیوچ، 2002). عوامل زیستی خاک‌زی مانند

[1] Plant Growth Promoting Rhizobacteria
[2] Plant Growth Promoting Fungi
[3] Induction Systemic Resistance
[4] Trichoderma

www.SID.ir

Archive of SID

قارچ‌های *تریکودرما* می‌توانند باعث کاهش اثرهای تنش‌های محیطی شوند (کوایواس، 2006). استفاده از گونه‌های مختلف *تریکودرما* در گیاه ذرت باعث باعث افزایش طول ریشه، سطح برگ و کل ماده‌ی خشک شدند (روبیو و همکاران، 2017). ایدیدیا و همکاران (2001) اثر جدایه‌های *Trichoderma harzianum* را بر روی افزایش رشد و غلظت عناصر غذایی در خیار بررسی کردند. نتایج نشان داد تأثیر این جدایه‌ها باعث افزایش سطح و طول ریشه، وزن تر خشک ریشه و ساقه و افزایش سطح برگ گردید. همچنین کاربرد این جدایه‌ها باعث افزایش 90 و 30درصدی غلظت فسفر و آهن گردید. رودرش و همکاران (2005) طی آزمایش مزرعه‌ای بهبود افزایش شاخه‌دهی و ارتفاع بوته نخود تلقیح شده با تریکودرما را نسبت به شاهد گزارش نمودند و بهبود این صفات را به توانایی حل‌کنندگی فسفات نامحلول توسط این ریزجانداران و فراهمی فسفر برای گیاه نسبت دادند.

قارچ‌های *تریکودرما* از مهمترین قارچ‌های محرک رشد گیاه می‌باشد و تحقیقات کمی در زمینه نقش این قارچ‌ها در بهبود رشد و تغذیه گیاهان انجام شده است. با توجه به نقش قارچ‌های *تریکودرما* در کاهش تنش‌های محیطی و بهبود رشد و تغذیه گیاهان، این پژوهش به‌منظور استفاده از قارچ‌های *تریکودرمای* محرک رشد گیاه در جهت بهبود رشد و تغذیه‌ی درختان پسته در شرایط نسبتاً شور و خشک در باغ‌های پسته اطراف رفسنجان انجام شد.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری ویژگی‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی افق‌های خاک مورد مطالعه

برای انجام پژوهش یک باغ پسته واقع در روستای شمس آباد بیاض از توابع شهرستان انار از استان کرمان انتخاب گردید. درختان پسته از نوع رقم اکبری با سن تقریبی 50 سال با دور آبیاری درختان 48 روز یک‌بار که روی ردیف‌های 30 متری کشت شده بودند. با توجه به مسن بودن درختان، آلودگی سرخشکیدگی درختان پسته در باغ زیاد مشاهده گردید. پس از حفر پروفیل و تشخیص افق‌های مختلف، از هر افق یک کیلوگرم خاک تهیه و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری گردید. این خصوصیات شامل: بافت خاک به روش هیدرومتری، پ‌هاش در گل اشباع به وسیله الکترود شیشه‌ای، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج، فسفر قابل استفاده به روش بی کربنات سدیم، مقدار آهک با روش اسید کلریدریک، کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری، غلظت پتاسیم قابل تبادل از طریق عصاره‌گیری با روش استات آمونیوم، و غلظت آهن، منگنز، روی و مس عصاره‌گیری شده با DTPA با دستگاه جذب اتمی (GBC Avanta ساخت استرالیا) می‌باشند (استفان و همکاران، 2013).

انتخاب قارچ‌های *تریکودرما*

در این پژوهش دو گونه قارچ *تریکودرما* با صفات محرک رشدی مشخص (جدول 1) (اندازه‌گیری شده توسط گروه خاکشناسی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان) از کلکسیون میکروبی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه ولی‌عصر (عج) فراهم شد. این سویه‌ها توسط میرخانی و همکاران (1395)، از خاک‌های باغ‌های پسته و مرکبات مناطق مختلف استان کرمان جمع آوری، جداسازی و بر اساس روش‌های مرفولوژیکی و مولکولی شناسایی شده‌اند. در این پژوهش دو سویه ***T. harzianum*** T77-3(T1) و ***T. viride*** T48-2 (T2) مورد بررسی قرار گرفت. هر دو تیمار قارچ *تریکودرما* T77-3 و T48-2 توانایی حل‌کنندگی فسفات و روی نامحلول را داشتند. میزان انحلال فسفر معدنی توسط سویه T77-3 و T48-2 به‌ترتیب 77/3 و 266 میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. هر دو سویه توان انحلال روی از منبع ZnO و $ZnCO_3$ را دارا بودند. با توجه به نتایج جدول 2 هر دو سویه توانایی تولید اکسین را داشتند. میزان اکسین تولید شده توسط سویه T77-3 و T48-2 به ترتیب 9/39 و 40/7 میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. تنها سویه T77-3 قادر به تولید آنزیم ACC-دآمیناز و مصرف ACC به عنوان تنها منبع نیتروژن بود (جدول 1).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1- صفات محرک رشدی قارچ‌های *تریکودرما* تلقیح شده به باغ درختان پسته

سویه قارچ	اکسین	انحلال فسفر	انحلال ZnO	انحلال $ZnCO_3$	ACC- د آمیناز
	mg L^{-1}				
T. harzianum T77-3	9/39	77/3	15/2	11/9	+
T. viride T48-2	40/7	266	22/0	23/4	-

آماده‌سازی قارچ‌های *تریکودرما* جهت تلقیح به درختان پسته

تهیه فرمولاسیون جامد مایه‌تلقیح

برای تهیه مایه‌تلقیح قارچ *تریکودرما* 500 گرم بذر گندم به مدت 24 ساعت داخل آب خیسانده و پس از گرفتن آب اضافی تا یک سوم درون ارلن ریخته شد. ارلن حاوی بذور خیس خورده دو مرتبه در اتوکلاو در دمای 121 درجه سلسیوس به مدت 21 دقیقه استریل گردیدند و پس از سرد شدن چهار قطعه پنج میلی‌متری از حاشیه‌ی کشت چهار روزه قارچ *ترکودرما* (کشت شده روی محیط PDA[1]) اضافه گردید. ارلن‌ها در دمای 25 درجه سلسیوس به مدت 4-3 هفته در انکوباتور نگهداری شدند. هر روز یک بار، با تکان دادن ارلن‌ها محتویات آن‌ها به هم زده شد تا رشد قارچ به طور یکنواخت و غیر فشرده صورت گیرد (سالاری و همکاران، 1392).

تهیه فرمولاسیون مایع مایه‌تلقیح

به منظور تهیه فرمولاسیون مایع *تریکودرما* شامل پروپاگول‌های کنیدی قارچ، سویه‌های مورد نظر در محیط PDA کشت داده شد پس از گذشت 10 روز حدود 10 میلی‌لیتر آب مقطر استریل درون هر پتری دیش ریخته و توسط میله‌ی شیشه‌ای سطح محیط خراشیده شد و سوسپانسیون اسپور در یک ارلن جمع آوری شد و سپس جمعیت اسپور با قرار دادن 10 میکرولیتر از سوسپانسیون اسپور قارچ روی لام هموسایتومتر اندازه‌گیری گردید (سالاری و همکاران، 1392).

مایه‌زنی قارچ‌های *تریکودرما* به درختان پسته در باغ

این طرح به‌صورت دوساله و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی که هر بلوک شامل دو ردیف از درختان که فاصله هر ردیف از یکدیگر هفت متر بود، در اوایل بهمن ماه سال 1397 انجام شد. بلوک‌های انتخاب شده توسط دو ردیف از درختان از یکدیگر فاصله داشتند. برای هر بلوک چهار تیمار شامل (T_0) شاهد، بدون مایه‌زنی قارچ تریکودرما، (T_1) از گونه *T. harzianum*، (T_2) از گونه *T. viride* و تیمار (T_3) مخلوط مساوی از جمعیت مایه‌تلقیح تیمار T_1 و T_2 در سه تکرار اعمال شد. برای هر تکرار سه درخت استفاده شد. برای مایه‌زنی قارچ‌ها، چاله‌هایی به عمق 80 سانتی‌متر در یک طرف درخت حفر گردید و برای هر درخت مقدار 15 کیلوگرم کود دامی گاوی استفاده شد. مایه‌تلقیح جامد (3×10^8 CFU/tree) و مایع (2×10^9 CFU/tree) (سالاری و همکاران، 1392) قارچ برای هر تیمار روی کودهای دامی بطور یکنواخت پخش گردید. مایه‌تلقیح برای تیمار شاهد از گندم استریل و آب معمولی استریل استفاده گردید.

اندازه‌گیری پارامترهای رویشی درختان پسته

صفات رویشی که در این آزمایش اندازه‌گیری شد شامل: رشد شاخه‌ها، تعداد جوانه‌های رویشی و زایشی، تعداد و سطح برگ بود. نمونه‌گیری برگ در اواسط مرداد ماه و رشد شاخه‌ها، تعداد جوانه‌های رویشی و زایشی پس از برگ‌ریزی کامل درختان در اواخر دی ماه انجام شد. شاخه‌ها با استفاده از خط‌کش، تعداد جوانه‌های رویشی و زایشی و تعداد برگ‌ها را شمارش و سطح برگ‌ها با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ[2] (Leaf area measurement system delta T, WD3, UK) اندازه‌گیری گردید.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و مجموع کاروتنوئیدها با استفاده از روش اسپکتروفتومتری (لیچنتالر، 1987) انجام شد. برای این‌کار از برگ‌های بالغ و میانی استفاده شد. مقدار 0/25 گرم از نمونه‌ی برگ تازه تهیه و در هاون چینی از پیش سرد شده با 10 میلی‌لیتر استون 80% روی یخ سائیده شد تا به‌صورت محلول یکنواختی در آمد. سپس نمونه‌ها به لوله فالکون 10 میلی‌لیتری منتقل شد و به مدت 15 دقیقه با سرعت 5000 دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از جداسازی فاز مایع از جامد، قسمت مایع برای قرائت کلروفیل استفاده شد. سپس میزان جذب نور محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج 470، 510، 645، 652 و 663 نانومتر خوانده شد. در نهایت غلظت کلروفیل و کاروتنوئید با استفاده از رابطه‌های زیر به دست آمد:

[1] Potato Dextrose Agar

[2] Leaf Area

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه 3-1 - Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$) = 12.7(D663) - 2.69(D645)V/1000×W
رابطه 3-2 - Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$) = 22.9(D645) - 4.68(D663)V/1000×W
رابطه 3-3 - Chlorophyll a+b ($mg.g^{-1}$) = (D652) - 1000/34.5×V/1000×W
رابطه 3-4 - Carotenoids = 7.6(D470) - 1.49(D510)V/1000×W

D: میزان جذب نور
V: حجم نهایی عصاره (میلی‌لیتر)
W: وزن تر نمونه (گرم)

اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی در برگ درختان پسته

نمونه‌گیری از برگ‌های سالم وسط شاخه‌های بدون محصول درختان در اواسط مرداد ماه سال 1397 و 1398 انجام و پس از شست‌وشوی برگ‌ها و قرار گرفتن در پاکت‌های کاغذی مخصوص، به‌مدت 48 ساعت در آون با درجه حرارت 65 درجه سلسیوس قرار داده شد تا وزن آن‌ها به حد ثابتی برسد و پس از آن نمونه‌ها با آسیاب پودر شد. برای تهیه عصاره، یک گرم از نمونه‌های پودر شده در دمای 550 درجه سلسیوس به روش خشک سوزانی خاکستر شد و پس از هضم با اسید کلریدریک دو نرمال عصاره‌گیری و عناصر آهن، منگنز، روی و مس به‌وسیله‌ی دستگاه جذب اتمی مدل GBC Avanta ver.1.33 (کاتنی، 1980)، پتاسیم به روش شعله‌سنجی و قرائت به‌وسیله‌ی فلیم‌فوتومتر (پچ و همکاران، 1992)، فسفر به روش زرد (آمونیم مولیبدات-وانادات) (چاپمن و پرت، 1961) و قرائت‌به‌وسیله دستگاه اسپکترفتوومتر مدل PG instrument T80 UV/VIS ساخت کشور استرالیا، کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری و تیتراسیون با EDTA (رایان و همکاران، 2001) و نیتروژن به روش کلدال (برمنر و کینی، 1965) اندازه‌گیری گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس تمامی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. هم‌چنین داده‌های بدست آمده از نرم افزار و جدول‌ها و نمودارهای مربوطه با استفاده از برنامه‌های Excel و Word ارائه گردید

نتایج

خصوصیات خاک

نتایج تشریح پروفیل حفر شده در خاک باغ آزمایشی نشان داد که این پروفیل از چهار افق کاملا مجزا (Ap، Bw، C1 و C2) تشکیل شده است. ریشه‌های ریز درختان در افق‌های دوم و سوم (30-70 و 70-90) گسترش یافته بودند اما بیشتر ریشه‌ها در افق دوم متمرکز بودند. بیشترین مقدار رس در افق دوم و بیشترین تجمع شوری در افق آخر (8/31 دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد. تغییرات pH و درصد آهک خاک (CCE: Calcium Carbonate Equivalent) در چهار افق بسیار کم بود (جدول 2).

جدول 2- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی افق‌های خاک در باغ پسته مورد آزمایش

عمق نمونه‌برداری	رس	سیلت	شن	بافت	EC	pH	OM	CCE	فسفر	پتاسیم
	%				$dS\ m^{-1}$		%		$mg\ kg^{-1}$	
0-30	11/5	18/0	70/5	لوم شنی	4/39	7/66	0/551	20/5	11/1	384
30-70	21/5	32/0	46/5	لوم	4/85	7/38	0/586	20/8	8/25	364
70-90	3/50	22/0	74/5	شن لومی	5/41	7/32	0/689	21/8	9/32	334
90-150	11/5	24/0	64/5	لوم شنی	8/31	7/26	0/724	22/6	5/56	313
عمق نمونه‌برداری	سدیم	کلسیم	منیزیم	کلر	بی‌کربنات		آهن	منگنز	روی	مس
	$meq\ L^{-1}$						$mg\ kg^{-1}$			
0-30	49/9	19/0	9/00	28/0	2/80		20/2	1/54	1/12	0/988
30-70	54/1	16/8	2/70	37/0	2/40		16/8	1/18	0/828	0/596
70-90	59/4	18/2	8/60	48/0	2/00		4/15	3/37	0/570	0/534
90-150	85/9	28/8	15/6	68/0	1/84		2/12	0/120	4/45	0/322

OM: Organic matter; CCE: Calcium Carbonate Equivalent

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر قارچ *تریکودرما* بر غلظت عناصر میکرو برگ درختان پسته

نتایج تجزیه واریانس در سال 1397 نشان داد، که کاربرد قارچ‌های *تریکودرمای* با صفات محرک رشد گیاهی در باغ پسته تأثیر معنی‌داری بر غلظت عناصر آهن، مس و منگنز در برگ درختان نداشته است. کاربرد این قارچ‌ها در سال 1397 بر غلظت عنصر روی در برگ درختان پسته در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول 3). اندازه‌گیری غلظت آهن و روی برگ درختان در سال 1398 نشان داد که کاربرد قارچ‌های تریکودرما تأثیر معنی‌داری در سطح 5 درصد بر غلظت این دو عنصر داشتند و تأثیر این قارچ‌ها بر عنصر مس و منگنز معنی‌دار نبود. کاربرد تیمارهای T1، T2 و T3 به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار 55/3، 73/1، 53/8 درصدی غلظت روی برگ درختان پسته گردید (جدول 4). غلظت آهن، منگنز و مس برگ در سال 97 به ترتیب بین 46/0 تا 40/8، 28/3 تا 21/3 و 12/6 تا 11/0 میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک برگ متغییر بود. کاربرد تیمار T1 در مقایسه با شاهد باعث افزایش 28/0 درصدی و معنی‌دار غلظت آهن برگ در سال 1398 گردید اما دو تیمار قارچی دیگر اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند. غلظت روی برگ در سال 1398 در هر سه تیمار قارچی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول 4).

جدول 3- تجزیه واریانس اثر قارچ‌های مختلف *تریکودرما* بر غلظت عناصر میکرو و ماکرو در درختان پسته

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (سال 1397)								
		آهن	منگنز	روی	مس	فسفر	نیتروژن	پتاسیم	کلسیم	منزیم
بلوک	2	17/9^{ns}	103^{ns}	139*	9/97^{ns}	0/0002^{ns}	0/010^{ns}	0/127*	0/006^{ns}	0/012^{ns}
قارچ	3	16/2^{ns}	34/5^{ns}	50/6*	1/91^{ns}	0/0001*	0/041^{ns}	0/157*	0/014^{ns}	0/025*
خطا	6	8/57	26/0	7/23	1/49	0/0001	0/041	0/020	0/008	0/004
CV		6/63	20/6	14/2	10/3	2/95	10/2	5/04	6/63	7/87
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (سال 1398)								
		آهن	منگنز	روی	مس	فسفر	نیتروژن	پتاسیم	کلسیم	منزیم
بلوک	2	5/52^{ns}	80/8 ^{ns}	30/0*	3/71^{ns}	0/0001^{ns}	0/007^{ns}	0/197*	0/040^{ns}	0/009^{ns}
قارچ	3	44/9*	111 ^{ns}	5/38*	3/09^{ns}	0/0001*	0/038^{ns}	0/039*	0/096*	0/008*
خطا	6	15/4	44/8	0/632	2/12	0/0002	0/120	0/029	0/024	0/002
CV		10/8	12/4	3/26	41/9	5/51	16/5	6/77	12/1	8/40

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار بودن است

جدول 4- بررسی تأثیر تلقیح قارچ‌های *تریکودرمای* محرک رشد گیاه بر غلظت عناصر میکرو برگ درختان پسته

تیمار قارچی	Fe	Mn	Zn	Cu
	mg kg^{-1} (سال 1397)			
T1	44/7a	27/0a	20/2a	12/5a
T2	45/2a	22/6a	22/5a	11/4a
T3	46/0a	28/3a	20/0a	12/6a
C	40/8a	21/3a	13/0b	11/0a
تیمار قارچی	Fe	Mn	Zn	Cu
	mg kg^{-1} (سال 1398)			
T1	41/1a	58/8a	24/3a	3/20a
T2	34/5ab	50/0a	25/8a	4/33a
T3	37/2ab	59/5a	24/7a	4/23a
C	32/1b	47/5a	22/6b	2/16a

در هر ستون مربوط به هر سال میانگین‌های دارای حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد

T1: *T.harzianum* T77-3; T2: *T. viride* T48-2; T3 (Mix of T1+T2) and C: Control (No inoculation)

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر قارچ *تریکودرما* روی غلظت عناصر ماکرو برگ درختان پسته

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به غلظت عناصر ماکرو در سال1397، تأثیر قارچ *تریکودرما* بر غلظت عناصر نیتروژن و کلسیم معنی‌دار نشده است. تأثیر این قارچ روی غلظت عناصر پتاسیم، فسفر و منزیم برگ درختان پسته در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول 3). غلظت عناصر کلسیم و نیتروژن در برگ درختان پسته در سال اول به‌ترتیب بین 1/33 تا 1/48 و 1/92 تا 2/17 درصد متغیر بود. کاربرد هر سه تیمار قارچی باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در مقایسه با شاهد گردید. گیاهان تیمار شده با T1 و T3 به ترتیب افزایش معنی‌دار و 21/4 و 26/3 درصدی غلظت منیزیم را نشان دادند. در عنصر فسفر تیمار T2 با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد و این تیمار غلظت فسفر برگ را نسبت به شاهد 11/8 درصد افزایش داد و در بین دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نشد (جدول 5).

نتایج تجزیه واریانس عناصر ماکرو درسال 1398 نشان داد، تأثیر قارچ *تریکودرما* روی عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول 3). تیمارهای قارچی تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن در سال دوم نداشتند و غلظت نیتروژن برگ بین 1/99 تا 2/25 درصد متغیر بود. نتایج مقایسه میانگین جدول 5 نشان داد که غلظت فسفر و کلسیم برگ در تیمار T2 با شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و میزان فسفر و کلسیم به ترتیب در تیمار T2 نسبت به شاهد 14/0 و 37/5 درصد افزایش نشان داد. تنها کاربرد تیمار T3 باعث افزایش معنی‌دار و 23/0 درصدی غلظت منیزیم برگ در سال دوم در مقایسه با شاهد بدون تلقیح گردید (جدول 5).

جدول 5- بررسی تأثیر تلقیح قارچ‌های *تریکودرمای* محرک رشد گیاه بر غلظت عناصر ماکرو در برگ درختان پسته

تیمار قارچی	K	N	Ca	Mg	P
	(سال 1397) %				
T1	3/04a	1/98a	1/48a	0/923a	0/095b
T2	2/94a	2/17a	1/44a	0/823ab	0/104a
T3	2/81a	1/93a	1/36a	0/960a	0/099ab
C	2/51b	1/92a	1/33a	0/760b	0/093b
تیمار قارچی	K	N	Ca	Mg	P
	(سال 1398) %				
T1	2/64a	2/13a	1/25ab	0/600ab	0/120ab
T2	2/57a	2/25a	1/54a	0/600ab	0/122a
T3	2/48a	2/03a	1/26ab	0/616a	0/119ab
C	2/18b	1/99a	1/12b	0/499b	0/107b

در هر ستون مربوط به هر سال میانگین‌های دارای حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد

T1: *T. harzianum* T77-3; T2: *T. viride* T48-2; T3 (Mix of T1+T2) and C: Control (No inoculation)

تأثیر قارچ *تریکودرما* بر میزان رنگدانه‌های برگ درختان پسته

نتایج تجزیه واریانس داده‌های در سال 1397 نشان داد، که کاربرد قارچ‌های محرک رشد گیاه در باغ، بر مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح پنج درصد و روی مقدار کاروتنویید در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول 6). کاربرد قارچ *تریکودرما* باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل a، کلرفیل b، کلروفیل کل و کاروتنویید در برگ درختان پسته در سال 1397 گردید. استفاده از تیمارهای T1، T2 و T3 به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار 54/2، 48/4 و 39/5 درصدی کلروفیل a و 124، 122 و 115 درصدی کلروفیل b و 73/2، 171 و 59/2 درصدی کلروفیل کل و 77/6، 80/3 و 64/8 درصدی کاروتنویید برگ درختان پسته نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول 7).

اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنویید در سال 1398 نشان داد، که استفاده از قارچ‌های *تریکودرما* تأثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد روی مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل و تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد روی مقدار کاروتنویید

www.SID.ir

Archive of SID

داشتند (جدول 6). نتایج مقایسه میانگین جدول 8 نشان داد، که کاربرد هر سه تیمار قارچی باعث افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنویید در برگ درختان پسته در سال 1398 گردید. تنها کاربرد تیمار T1 باعث افزایش معنی‌دار و 106 درصدی کروفیل b در مقایسه با شاهد بدون تلقیح گردید (جدول 7).

جدول 6- تجزیه واریانس اثر قارچ‌های مختلف *تریکودرما* بر میزان رنگدانه‌های برگ، صفات رویشی و زایشی در درختان پسته

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (سال 1397)								
		کلروفیلa	کلروفیلb	کلروفیل کل	کاروتنویید	طول شاخه	قطر وسط شاخه	تعداد جوانه رویشی	تعداد جوانه زایشی	سطح هر برگ
بلوک	2	0/039^{ns}	0/016^{ns}	0/103^{ns}	0/007^{ns}	1/73*	0/214^{ns}	0/115^{ns}	6/58*	1/82*
قارچ	3	0/047*	0/040*	0/175*	0/056**	2/54*	0/088^{ns}	0/740*	0/706*	1/52*
خطا	6	0/009	0/006	0/024	0/001	0/293	0/524	0/085	0/282	0/118
CV		14/2	21/5	14/6	7/69	16/7	10/4	9/61	16/2	2/54
		میانگین مربعات (سال 1398)								
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیلa	کلروفیلb	کلروفیل کل	کاروتنویید	طول شاخه	قطر وسط شاخه	تعداد جوانه رویشی	تعداد جوانه زایشی	سطح هر برگ
بلوک	2	0/033^{ns}	0/020^{ns}	0/091^{ns}	0/016*	1/06*	1/10^{ns}	0/141^{ns}	4/28*	4/07^{ns}
قارچ	3	0/053*	0/043^{ns}	0/217*	0/071**	1/23*	0/288^{ns}	0/207*	0/429*	6/69*
خطا	6	0/008	0/012	0/035	0/001	0/149	0/451	0/089	0/055	3/05
CV		12/0	26/7	15/9	6/11	10/9	9/52	10/7	7/52	10/6

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار بودن است

جدول 7- بررسی تأثیر تلقیح قارچ‌های *تریکودرمای* محرک رشد گیاه بر میزان رنگدانه‌های برگ درختان پسته

تیمار قارچی	کلروفیلa	کلروفیلb	کلروفیل کل	کاروتنویید
	(سال 1397) mg g^{-1}			
T1	0/766a	0/430a	1/23a	0/650a
T2	0/796a	0/433a	1/93a	0/660a
T3	0/720a	0/416a	1/13a	0/603a
C	0/516b	0/193b	0/710b	0/366b
تیمار قارچی	کلروفیلa	کلروفیلb	کلروفیل کل	کاروتنویید
	(سال 1398) mg g^{-1}			
T1	0/840a	0/516a	1/35a	0/753a
T2	0/863a	0/483ab	1/34a	0/716a
T3	0/800a	0/460ab	1/26a	0/696a
C	0/573b	0/250b	0/790b	0/416b

در هر ستون مربوط به هر سال میانگین‌های دارای حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد

T1: *Trichoderma harzianum* T77-3; T2: *Trichoderma viride* T48-2; T3 (Mix of T1+T2) and C: Control (No inoculation)

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر قارچ *تریکودرما* روی صفات رویشی و زایشی درختان پسته

تجزیه واریانس داده‌های صفات رویشی و زایشی برگ درختان پسته در سال 1397 و 1398 بیانگر عدم معنی‌داری تأثیر قارچ‌های *تریکودرما* بر قطر وسط شاخه بود. تأثیر این قارچ‌های محرک رشد گیاه بر اندازه طول شاخه، تعداد جوانه رویشی، تعداد جوانه زایشی و سطح برگ درختان پسته برای هر دو سال در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول 6). نتایج مقایسه میانگین تأثیر قارچ *تریکودرما* بر اندازه طول شاخه، تعداد جوانه رویشی و سطح برگ در سال 1397 نشان داد که استفاده از هر سه تیمار قارچ *تریکودرما* باعث افزایش معنی‌دار این سه ویژگی نسبت به شاهد در درختان پسته گردید. کاربرد تیمارهای T1، T2 و T3 به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار 55/9، 42/3 و 39/2 درصدی در اندازه طول شاخه و 37/4، 45/7 و 44/8 درصدی تعداد جوانه رویشی و 14/7، 12/7 و 10/3 درصدی میزان سطح برگ، نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول 8). اندازه قطر وسط شاخه در درختان پسته در سال 97 به‌ترتیب بین 6/73 تا 7/13 میلی‌متر متغیر بود. تعداد جوانه زایشی در تیمار T2 با شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و این تیمار تعداد جوانه زایشی را نسبت به شاهد 42/8 درصد افزایش داد و در بین دیگر تیمارهای قارچی اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نشد.

نتایج مقایسه میانگین داده‌های سال 1398 (جدول 8) نشان داد، کاربرد هر سه تیمار قارچی در سال دوم در مقایسه با شاهد باعث افزایش معنی‌دار اندازه طول شاخه و سطح برگ درختان پسته گردید. تنها کاربرد تیمار T2 باعث افزایش معنی‌دار و 26/0 درصدی تعداد جوانه رویشی و 30/9 درصدی تعداد جوانه زایشی درختان پسته در مقایسه با شاهد در سال 1398 گردید.

جدول 8- بررسی تأثیر تلقیح قارچ‌های *تریکودرمای* محرک رشد گیاه بر پارامترهای رویشی و زایشی درختان پسته

تیمار قارچی	طول شاخه	قطر وسط شاخه	تعداد جوانه رویشی	تعداد جوانه زایشی	سطح هر برگ
	cm	mm			cm^2
			(سال 1397)		
T1	3/46a	7/00a	3/16a	3/49ab	13/5b
T2	3/16a	6/87a	3/35a	3/77a	14/2a
T3	3/09a	7/13a	3/33a	3/22ab	13/9ab
C	2/22b	6/73a	2/30b	2/64b	12/6c
تیمار قارچی	طول شاخه	قطر وسط شاخه	تعداد جوانه رویشی	تعداد جوانه زایشی	سطح هر برگ
	cm	mm			cm^2
			(سال 1398)		
T1	4/29a	7/36a	2/83ab	3/14b	16/1a
T2	3/75ab	7/07a	3/05a	3/64a	17/0a
T3	3/32b	7/14a	2/83ab	2/90b	18/1a
C	2/78c	6/62a	2/42b	2/78b	14/6b

در هر ستون مربوط به هر سال میانگین‌های دارای حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد

T1: *Trichoderma harzianum* T77-3; T2: *Trichoderma viride* T48-2; T3 (Mix of T1+T2) and C: Control (No inoculation)

بحث

نتایج آنالیز خاک در این پژوهش نشان داد که غلظت پتاسیم خاک در تمامی افق‌ها در حد کفایت گیاه (300-400 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بوده اما مقادیر فسفر در افق‌های دوم و سوم که ریشه‌ها متمرکز هستند کمتر از حد بحرانی (10 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (حسینی‌فرد و همکاران، 1396)) می‌باشد. غلظت آهن موجود در افق‌های اول و دوم بالاتر از حد بحرانی (هفت میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) قرار داشت. مقادیر مس و منگنز در تمامی افق‌ها، پایین‌تر از حد بحرانی بود. غلظت روی خاک نیز در هر دو افق متمرکز یافته ریشه (دوم و سوم) کمتر از حد بحرانی (دو میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (ملکوتی و همکاران، 1379)) بود.

www.SID.ir

Archive of SID

در پژوهش حاضر سویه‌های مورد استفاده قارچی توانایی نسبتاً بالایی در تولید اکسین، انحلال ترکیبات نامحلول فسفر و روی داشتند. حل‌کنندگی فسفات و روی (دونی و همکاران، 2014) و اکسین (کانتراس-کورنجو و همکاران، 2009) از مهمترین ویژگی‌های قارچ‌های محرک رشد گیاه می‌باشد. توانایی انحلال فسفات معدنی نامحلول و کم محلول قارچ‌های *ترکودرما* توسط سرواناکومار و همکاران (2013)، لی و همکاران (2015) گزارش شده است. واید و همکاران (2014) گزارش کردند که *تریکودرما* با تولید برخی از اسیدهای آلی مانند اسید گلوکونیک، سیتریک اسید و فوماریک اسید را در ریزوسفر تولید و کاهش pH خاک، باعث افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول مانند Zn، فسفر و جذب آن توسط گیاه می‌شود. سینگ و همکاران (2010) بیان کردند که گونه‌های *تریکودرما* با انحلال ترکیبات فسفر و روی سبب افزایش رشد گیاهان می‌شوند.

گونه‌های *تریکودرما* به‌عنوان کود زیستی نقش مؤثری در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی دارد (هارمن، 2011). گونه‌های مختلف این قارچ با استفاده از سازوکارهایی مانند افزایش جذب عناصر غذایی به‌دلیل افزایش حلالیت عناصر و تغییر در pH فراریشه و ترشح هورمون‌های رشد، سبب افزایش رشد و بهبود تغذیه گیاهان می‌شوند (کانتراس-کورنجو و همکاران، 2013). کاربرد قارچ‌های *تریکودرما* در این پژوهش باعث افزایش عناصر غذایی در گیاه گردید. ژائو و همکاران (2014) طی پژوهشی بیان کردند که نقش گونه‌های *تریکودرما* در بهبود باروری خاک و رشد گیاه از طریق تبدیل منابع آلی به فرم معدنی از جمله فسفر، نیتروژن و آهن است. در این تحقیق تلقیح درختان پسته با قارچ‌های *تریکودرمای* محرک رشد گیاه نقش موثری در افزایش فسفر برگ داشت و کاربرد این قارچ‌ها باعث افزایش معنی‌دار و 11/8 تا 14/0 درصدی غلظت فسفر برگ در مقایسه با شاهد گردیدند. یادیدیا و همکاران (2001) نشان دادند، هنگامی که خاک با سویه‌های *T. harzianum* تیمار شد، غلظت فسفر در گیاه خیار 90 درصد افزایش یافت. محمدی و همکاران (2010) طی پژوهشی نشان دادند که کاربرد قارچ *T.harzianum* به‌طور معنی‌داری باعث افزایش غلظت فسفر و پتاسیم دانه نخود شده است. در پژوهش انجام‌شده مقدار فسفر خاک پایین‌تر از حد بحرانی (15 میلی‌گرم در کیلوگرم) بود و کاربرد قارچ‌ها نقش مؤثری در افزایش غلظت فسفر برگ داشتند که بیانگر نقش مؤثر این قارچ‌ها در افزایش فراهمی فسفر در خاک و درنتیجه جذب آن توسط گیاه بوده است. قارچ‌ها با ایجاد هیف و همچنین تولید و ترشح اسیدهای آلی نقش مهمی در حل کردن فسفر نامحلول در خاک دارند. تولید مواد کلات کننده فلزات و اسیدهای معدنی از جمله سولفوریک اسید، نیتریک اسید و کربنیک اسید توسط این قارچ‌ها بر حل شدن فسفر نامحلول مؤثر هستند (شارما و همکاران، 2014). کاربرد قارچ‌های *تریکودرما* تأثیر چشمگیری بر غلظت پتاسیم برگ در سال اول و دوم داشت و غلظت پتاسیم برگ تقریباً تا 20 درصد در مقایسه با گیاهان تیمار نشده با قارچ افزایش داد. با توجه به اینکه مقدار پتاسیم در خاک مورد مطالعه در حد کفایت گیاه بود افزایش غلظت پتاسیم برگ در تیمارهای قارچی را می‌توان به نقش این قارچ‌ها در کلونیزه کردن ریشه و افزایش طول، سطح و توسعه ریشه با تولید اکسین نسبت داد. همچنین این قارچ‌ها با کاهش پی‌اچ، تولید اسیدهای آلی و پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی می‌توانند باعث افزایش رهاسازی پتاسیم تثبیت شده در کانی‌ها شوند (سریخانی و همکاران، 2018). سویه‌های *تریکودرما*، فاکتورهای رشدی مانند اکسین، سیتوکنین، اتیلن و مولکول‌های شبه سیتوکنین مانند جیبرلین تولید می‌کند که باعث افزایش رشد ریشه و توسعه گیاه می‌شوند (اوسیوچ، 2002).

گونه‌های *تریکودرما* با تغییر در متابولسیم گیاه منجر به افزایش توسعه و حجم ریشه گیاه می‌شوند (وینال و همکاران، 2008). برخی محققین بر این باورند که گونه‌های قارچی *تریکودرما* به‌دلیل افزایش جذب مواد مغذی از قبیل پتاسیم و فسفر سبب افزایش رشد گیاهان می‌شوند (سینگ و همکاران، 2010). یافته‌های رودرش و همکارانش (2005) ثابت کرد که به‌کارگیری گونه‌های مختلف *تریکودرما* باعث افزایش جذب عناصر پتاسیم و فسفر گیاه شده است که با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش در رابطه با افزایش فسفر و پتاسیم برگ درختان پسته مطابقت دارد. هرچند تیمارهای قارچی تأثیر معنی‌داری بر غلظت مس و منگنز برگ درختان در هر دو سال نداشتند، اما غلظت روی برگ درختان را تا 73 درصد افزایش دادند. نتایج لی و همکاران (2015) نشان داد که گیاهان گوجه فرنگی تیمار شده با *T.harzianu* 15-40 درصد جذب آهن و روی بیشتری نسبت به تیمارهای شاهد داشته‌اند. غلظت مس برگ درختان در سال دوم در مقایسه با سال اول 200 تا 300 درصد کاهش داشته است. با توجه به اینکه تیمار قارچی همراه با کود گاوی به چاله‌کود اضافه شده بود، کاهش مس را می‌توان به تجزیه ماده آلی در طی سال اول و تشکیل کمپلکس پایدار مس با ماده آلی نسبت داد.

www.SID.ir

Archive of SID

کمپلکس مس با مواد آلی معمولا پایدار بوده و گیاهان توان استفاده از مس کمپلکس شده با مواد آلی را ندارند (بارکر و پیلبم، 2006).

در این پژوهش کاربرد تیمارهای قارچی بیشترین تأثیر را در بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بر رنگدانه‌های برگی داشته‌اند. در این پژوهش مقدار کلروفیل برگ درختان پسته تلقیح شده با قارچ *تریکودرما* در مقایسه با تیمار شاهد بدون تلقیح تا 171 درصد افزایش معنی‌دار نشان داد. افزایش در مقدار رنگدانه‌های برگ درختان پسته را در این پژوهش می‌توان به نقش این قارچ‌ها در بهبود تغذیه درختان پسته به‌خصوص در عناصر پتاسیم، فسفر و روی نسبت داد. منیزیم هسته مرکزی سازنده کلروفیل می‌باشد و از نقش‌های عمده آن سنتز کلروفیل است (شول و همکاران، 1986). در این پژوهش کاربرد قارچ‌های *تریکودرما* باعث افزایش معنی‌دار غلظت منیزیم برگ درختان پسته گردید. محمدی و همکاران (1390) دلیل افزایش کلروفیل برگ را پس از کاربرد قارچ *تریکودرما*، افزایش جذب عناصر نیتروژن و فسفر دانستند. همزیستی قارچی از طریق جذب بهتر فسفر که به‌عنوان حامل انرژی در طی فتوسنتز است، اثر مثبتی بر مقدار کلروفیل برگ و رشد رویشی گیاه دارد (دمیر، 2004). طبق تحقیقات قاسم نژاد و بابایی (2011) بالا بودن میزان کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ *تریکودرما* به‌علت وجود رابطه مثبت بین غلظت فسفر و مقدار کلروفیل در گیاهان تلقیح شده می‌باشد. در این پژوهش نیز تیمار T2 در هر دو سال باغی باعث افزایش معنی‌دار غلظت فسفر برگ در مقایسه با شاهد گردید. نتایج مربوط به کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید نیز بیانگر نقش موثرتر تیمار T2 در افزایش این رنگدانه‌ها می‌باشد. در پژوهشی، محققین بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل) لوبیای هندی تلقیح شده با قارچ *تریکودرما* را گزارش کردند (بدر و قریشی، 2012). همچنین، محمدی کشکا و همکاران (2015) در پژوهش خود روی گیاهچه فلفل (*Capsicum annuum* L.) افزایش 10 درصدی محتوای کاروتنویید، تلقیح شده با قارچ *تریکودرما T.virens* گزارش کردند که با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش در رابطه با افزایش کلروفیل برگ درختان پسته مطابقت دارد.

استفاده از این سویه‌های قارچی در این پژوهش موجب افزایش پارامترهای مختلف رویشی از قبیل طول شاخه، سطح برگ و تعداد جوانه رویشی در درختان پسته شد. یادیدیا و همکاران (2001) نشان دادند، هنگامی که خاک با سویه‌های *T. harzianum* تیمار شد، جوانه‌زنی بذرهای خیار 30 درصد، طول ساقه 40 درصد و سطح برگ 80 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در این پژوهش مقدار طول شاخه، سطح برگ درختان پسته تلقیح شده با قارچ *تریکودرما* در مقایسه با تیمار شاهد بدون تلقیح به‌ترتیب تا 60 درصد و 50 درصد افزایش معنی‌دار نشان داد. همچنین تنها کاربرد قارچ T2 باعث افزایش درصد جوانه رویشی و زایشی تا 30 درصد در درختان پسته گردید. انیس و همکاران (2011) طی پژوهش خود روی گیاه فلفل‌سیاه به این نتیجه رسیدند، که تلقیح قارچ *تریکودرما* باعث افزایش معنی‌داری در ارتفاع بوته و سطح برگ گیاه گردید. کاربرد پتاسیم از طریق بهبود روابط آبی گیاه و جذب بیشتر عناصر غذایی باعث بهبود شاخص‌های رشدی می‌گردد (کایا و همکاران، 2002). همچنین نتایج یک آزمایش نشان داد که افزایش پتاسیم سبب افزایش ارتفاع بوته، سطح برگ و میزان محصول در توت فرنگی شد (توحیدلو و همکاران، 2018). در این پژوهش نیز تلقیح قارچ *تریکودرما* به باغ در هر دو سال باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم برگ در مقایسه با شاهد گردید که می‌تواند نقش موثری در بهبود پارامترهای رویشی به‌خصوص سطح برگ داشته باشد. گزارشات خلیلی و همکاران (1380) نشان داد که عنصر روی باعث افزایش سطح برگ گیاه شده است که دلیل آن را می‌توان اثر عنصر روی بر تقسیم سلولی از طریق افزایش اکسین دانست که باعث افزایش سطح برگ می‌شود. کاربرد قارچ *تریکودرما* به باغ در این پژوهش نیز در هر دو سال باعث افزایش معنی‌دار غلظت روی برگ و افزایش معنی‌دار غلظت آهن در سال دوم در مقایسه با شاهد گردید.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد قارچ‌های *تریکودرما* نقش مؤثری در افزایش معنی‌دار پارامترهای رویشی مانند طول شاخه، جوانه رویشی، سطح برگ و همچنین شاخص کلروفیل داشتند. این قارچ‌ها جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، روی و آهن را در درختان پسته بهبود بخشیدند. نتایج این پژوهش بیانگر نقش قارچ‌های *تریکودرمای* محرک رشد بر افزایش پارامترهای رویشی و بهبود تغذیه درختان پسته در شرایط نسبتا شور با دور آبیاری بالا بود. با توجه به افزایش روزافزون شوری آب و کاهش کیفیت آب و خاک، استفاده از ریزموجودات مفید خاکزی مانند این قارچ‌ها به‌عنوان کودهای زیستی می‌تواند راهکار مناسبی جهت کاهش تنش‌های محیطی، بهبود رشد، تغذیه و عملکرد گیاهانی مانند پسته در اقلیم گرم و خشک باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست **منابع:**

۱. پناهی، ب.، ع. اسماعیل پور، ف. فربود، م. موذن پور کرمانی و ح. فریور میهن. 1380. پسته جلد دوم: اصول داشت و برداشت. نشر آموزش کشاورزی. کرج. 54ص.

۲. حسینی‌فرد، س.ج.، بصیرت، م.، صداقتی، ن. و اخیانی، ا. 1396. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه درختان پسته. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. 101 صفحه.

۳. خلیلی، ج.، تاجبخش، م.، فیاض مقدم ا. و سیادت، ع. 1380. بررسی اثرات محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی بر عملکرد و کیفی سورگوم علوفه‌ای. مجله علمی تخصصی گیاه و زیست‌بوم، جلد31. صفحات 35 تا 44

٤. سالاری، ا .روحانی، ح .مهدیخانی مقدم، ع .صابری ریسه، ر .و مهرابی کوشکی، م .1392 . کارائی دو روش بذرمال و خاک - مصرف تریکودرما روی شاخصهای رشدی گیاه گوجه‌فرنگی .نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد بیست و هشتم، شماره چهارم، زمستان1393

۵. محمدی، خ.، پاساری، ب.، خزادی، ا.ر.، قلاوند، ا.، آقاعلیخانی، م. و اسکندری، م. 1390. واکنش عملکرد و کیفیت دانه کلزا به منابع مختلف کود دامی، کمپوست و بیولوژیک در منطقه کردستان. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. 4 (2): 81-101

۶. ملکوتی، م.ج.، درودی، م.س.، بلالی، م.ر.، افخمی، م.، منوچهری، س.، شهبازی، ک.، شهابیان، م.، مجیدی، ع.، کیانی، ش. و داوودی، م.ح. 1379. توصیه بهینه کودی برای محصولات زراعی و باغی استان کرمان. نشریه فنی شماره 199، نشر آموزش کشاورزی.

۷. میرخانی، ف.، علایی، ح.، محمدی، ا.ح. و حقدل، م. 1395. شناسایی گونه‌های غالب تریکودرما در باغات پسته‌ی استان کرمان. نشریه حفاظت گیاهان. 30(1): 82-92.

8. Anith, K.N., Faseela, K.M., Archana, P.A. and Prathapan, K.D. 2011. Compatibility of *Piriformospora indica* and *Trichoderma harzianum* as dual inoculants in blackpepper (*Piper nigrum* L.). *Symbiosis* 55: 11-17.
9. Arrudaa, L., Beneduzi, A., Martins, A., Lisboa, B., Lopes, C., Bertolo, F., Passaglia Maria, L.M.P. and Vargas, KL. 2013. Screening of Rhizobacteria isolated from maize (*Zea mays* L.) in Rio Grande do Sul State (South Brazil) and analysis of their potential to improve plant growth. Applied Soil Ecology 63: 15- 22.
10. Badar, R. and Qureshi, S.A. 2012. Comparative effect of *Trichoderma hamatum* and host-specific *Rhizobium* species on growth of *Vigna mungo*. Journal of Applied Pharmaceutical Science 2(04): 128-132.
11. Bal, U. and Altintas, S. 2006. A positive side effect from *Trichoderma harzianum*, the biological control agent increased yield in vegetable crops. Journal of Environment Protection and Ecology 7(2): 383–387.
12. Barker, A.V. and Pilbem, D.J. 2006. *Handbook of Plant Nutrition*. CRC press, New York.
13. Bremner, J.M. and Keeney, D.R. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium nitrate and nitrate. Analytica Chimica Acta 32: 465-495.
14. Chapman, H.D. and Pratt, F.P. 1961. Ammonium vandate-molybdate method for determination of phosphorus. Methods of analysis for soils, plants and water Pp. 83-94.
15. Contreras-Cornejo, H.A., Macias-Rodriguez, L., CortesPenagos, C. and Lopez-Bucio, J. 2009. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin dependent mechanism in Arabidopsis. Plant Physiology 149: 1579–1592.
16. Contreras-Cornejo, H.A., Ortiz-Castro, R. and Lopez-Bucio, J. 2013. Promotion of plant growth and the induction of systemic defence by *Trichoderma*: Physiology, genetics and gene expression. *Trichoderma* biology and applications, eds P. K. Mukherjee, B. A. Horwitz, U. S. Singh, M. Mukherjee, and M. Schmoll (Walingford: CABI), 173–194.

www.SID.ir

Archive of SID

17. Cottenie, A. 1980. Methods of plant analysis. In soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations. FAO Soils Bulletin, Rome, Italy 64-100.
18. Cuevas, C. 2006. Soil Inoculation with *Trichoderma pseudokoningii* rifai enhances yield of rice. *Philippine Science* 135(1): 31-37.
19. Demir, S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. Turkish Journal of Biology 28: 85–90.
20. Doni, F., Isahak, A., Zain, C.R.C.M. and Yusoff, W.M.W. 2014. Physiological and growth response of rice plants (*Oryza sativa* L.) to *Trichoderma spp*. inoculants. AMB Express 4: 2-7.
21. Ebhin Masto, R., Chhonkar, P.K., Singh, D. and Patra, A.K. 2006. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical incept soil. *Soil Biology and Biochemistry 38*: 1577–1582.
22. Esmaeilpour, A., Van Labeke, M.C., Samson, R., Boeckx, P. and Van Damme, P. 2016. Variation in biochemical characteristics, water status, stomata features, leaf carbon isotope composition and its relationship to water use efficiency in pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars under drought stress condition. Scientia Horticulturae 211: 158-166.
23. Estefan, G., Sommer, R. and Ryan, J. 2013. Methods of Soil, Plant and Water Analysis: A Manual for the West Asia and North Africa Region. Beirut, Lebanon, ICARDA.
24. Ghasemnezhad, A. and Babaeizad, V. 2011. The influence of piri fungus (*Priformospora indica)* on vegetative growth and the content of caffeic acid of leaves of artichoke (*Cynara scolymus* L.) plant. Journal of Plant Production Research 18(1): 133-140.
25. Harman, G.E. 2011. *Trichoderma*-not just for biocontrol anymore. Phytoparasitica 39:103-108.
26. Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I. and Lorito, M. 2004. *Trichoderma* species opportunistic, a virulent plant symbionts. Natural Review Microbiology 2: 43-56.
27. HojjatNooghi, F. and Mozafari, V. 2012. Effects of calcium on eliminating the negative effects of salinity in pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings. Australian Journal of Crop Science 4: 711-716.
28. Kalhapure, A., Shete, B. and Dhonde, M. 2013. International Journal of Agriculture and Food Science Technology. Volume 4, Number 3, pp. 195-206.
29. Kaya, C., Higgs, D., Saltali, K. and Gezerel, O. 2002. Response of strawberry grown at highsalinity and alkalinity to supplementarypotassium. Journal of Plant Nutrition 5(27): 1415-1427.
30. Li, R.X., Cai, F., Pang, G., Shen, Q.R., Li, R. and Chen, W. 2015. Solubilisation of phosphate and micronutrients by *Trichoderma harzianum* and its relationship with the promotion of tomato plant growth. PLoS One 10(6): e013008.
31. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carote-noids: pigments of photosynthetic biomembra-nes. Methods in Enzymology 148: 350-382.
32. Mohammadi Kashka, F., Pirdashti, H., Yaghoubian, Y. and Bahari Saravi, S.H. 2015. Effect of *Trichoderma virens* and *Piriformospora indica* coexistence with *Enterobacter* sp. on the photosynthetic pigments of pepper (*Capsicum annuum* L.) plant. The 4th National Congress on Organic and Convetional farming 28-29 August, Ardebil, Iran, pp: 4.
33. Mohammadi, K.H., Ghalavand, A., Aghahalkhani, M., Sohrabi, Y. and Heidari, G.R. 2010. Influents of chickpea seeds quality of increasing soil fertility different systems. Journal of Crop Production 3: 103-119.
34. Mozaffari, V. and Malakouti, M.J. 2006. An investigation of some cause of Dieback disorder of pistachio tree and its control throuth balance fertilization in Iran, Acta Horticulture 22: 301-305.
35. Osiewacz, H.D. and Scheckhuber, C.Q. 2002. Senescence in Podospora anserina. In Molecular biology of fungal development. H. D. Osiewacz, ed. Marcel Dekker, New York. p. 87-108.

www.SID.ir

Archive of SID

36. Pich, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. 1992. Method of Soil Analysis. Part II: Chemical and Mineralogical Properties (2nded.). Madison, Wisconsin.
37. Rayan, J.R., Estefan, G. and Rashid, A. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual (2nded.). ICADRA. Syria.
38. Razavi, S. 2005. Pistachio production: Iran vs. the World. Acta Horticulture. 726: 225-230.
39. Rubio, M. B. Quijada, N. M. Pérez, E. Dominguez, S. Monte, E. and Hermosa, R. 2014. Identifying beneficial qualities of *Trichoderma parareesei* for plants. Applied and Environmental Microbiology 80: 1864-1873.
40. Rubio, M.B., Hermosa, R., Vicente, R., Gomez Acosta, F.A., Morcuende, R., Monte, E. and Bettiol, W. 2017. The combination of *Trichoderma harzianum* and chemical fertilization leads to the deregulation of phytohormone networking, preventing the adaptive responses of tomato plants to salt stress. Frontiers Plant Science 8: 1-14.
41. Rudresh, D.L., Shivaprakash, M.K. and Prasad, R.D. 2005. Effect of combined application of Rhizobium, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). Applied Soil Ecology 28: 139-146.
42. Salehi, A., Seifollah, F., Iranpour, R. and Souraki, A. 2014. The effect of fertilizer use in combination with cow manure on growth, yield and yield components of Black-caraway (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology. 6(3): 495-507.
43. Saravanakumar, K., Shanmuga, V. and Kathiresan, K. 2013. Effect of *Trichoderma* on soil phosphate solubilization and growth improvement of Avicennia marina. Aquatic Botany 104: 101–105.
44. Sarikhani, M.R., Oustan, S., Ebrahimi, M. and Aliasgharzad, N. 2018. Isolation and identification of potassium-releasing *Trichoderma harzianum*, in soil and assessment of their ability to release potassium for plants. European Journal of Soil Scienc 69: 1078-1086.
45. Shaul, P. and Bacaration, F. 1986. In: CRC Hand book of Fruit set and Development, CRC Press In Boca Roton Florida P: 389-399.
46. Shoresh, M.G., Harman, E. and Mastouri, F. 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. Annual Review of Phytopathology 48: 21–43.
47. Singh, V., Singh, P., Yadav, R., Awasthi, S., Joshi, B., Singh, R., Lal, R. and Duttamajumder, S. 2010. Increasing the efficacy of *Trichoderma harzianum* for nutrient uptake and control of red rot in sugarcane. Journal of Horticulture and Forestry 2: 66–71.
48. Soliemanzadeh, A., Mozafari, V., Tajabadipour, A. and Akhgar, A. 2013. Effect of Zn, Cu and Fe foliar application on fruit set and some quality and quantity characteristics of pistachio trees. Southwestern Journal of Horticulture Biology and Environment 4(1): 19-34.
49. Tohidloo, G., Souri, M.K. and Eskandarpour, S. 2018. Growth and Fruit Biochemical Characteristics of Three Strawberry Genotypes under Different Potassium Concentrations of Nutrient Solution. Open Agriculture 3: 356-362.
50. Vaid, S.K., Kumar, B., Sharma, A., Shukla, A.K. and Srivastava P.C. 2014. Effect of zinc solubilizing bacteria on growth promotion and zinc nutrition of rice. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 14(4): 889-910.
51. Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E.L., Marra, R., Woo, S.L. and Lorito, M. 2008. *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. Soil Biology and Biochemistry 40: 1-10.
52. Yadidia, I., Srivastva, A.K., Kapulnik, Y. and Chet, I. 2001. Effect of *Trichoderma harizanum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. Plant and Soil 235: 235-242.
53. Zhao, L., Wang, F., Zhang, Y. and Zhang, J. 2014. Involvement of *Trichoderma asperellum* strain T6 in regulating iron acquisition in plants. Journal Basic Microbiology 54: 115-124.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of *Trichoderma* on growth and nutrition of pistachio trees under common garden condition

A. Hosseinzeynali, P. Abbaszadeh-Dahaji[1], H. Alaei, J. Hosseinifard and A. Akhgar

M.Sc. Graduate student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran; E-mail: shamim4061@chmail.ir

Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran; E-mail: p.abbaszadeh@vru.ac.ir

Associate Professor, Department of Plant Pathology, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran; E-mail: hossein.alaei@vru.ac.ir

Assistant Professor of soil science, Pistachio Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran; E-mail: hosseinifard@pri.ir

Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran; E-mail: akhgar@vru.ac.ir

Received: September, 2020 & Accepted: May, 2020

Abstract

One of the best ways to reduce the adverse effects of chemical fertilizers on soil physicochemical properties and plant growth is to use biological fertilizers such as plant growth-promoting fungi. Biological fertilizers could be used as a supplement or alternative to the chemical fertilizers in sustainable agriculture. Accordingly, to investigate the effect of *Trichoderma* fungi on the nutrition and growth of pistachio trees, an experiment was conducted in a randomized complete block design, in which each block contains four treatments, control (T0) (no inoculation), *Trichoderma harzianum* (T1), *Trichoderma viride* (T2) and treatment of an equal mixture of T1 and T2 (T3) in three replications under common garden conditions. The results showed that all three fungal treatments significantly increased growth parameters including branch length (up to 60%), the number of vegetative buds (up to 30%), leaf area (up to 50%), and chlorophyll index (up to 171%) in pistachio trees in comparison with control. The use of fungal treatments significantly increased the concentration of potassium and zinc in pistachio leaves up to 20 and 70%, respectively, compared to the control. T2 treatment significantly increased the phosphorus concentration by 14% and the calcium by 40% in pistachio leaves. The application of T1 and T3 treatments significantly increased the magnesium concentration up to 25%, in pistachio leaves compared to the control. T1 treatment significantly increased the leaf iron concentration by 28% compared to the control. The application of T1, T2, and T3 treatments significantly increased the content of total chlorophyll up to 73.2, 171, and 59.2% of and carotenoids up to 77.6, 3.80, and 64.8% in pistachio leaves respectively, compared to the control. According to the results of this study and after further field experiments, it can be expected that the studied fungi can be used as biofertilizers (alone or in combination) to reduce the utilization of chemical fertilizers in the future.

Keywords: Auxin, Phosphate solubilization, *Trichoderma viride*, *Trichoderma harzianum*, phosphorous

[1]. Corresponding author: Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran

www.SID.ir