مجله مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد اول، شماره دوم، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

ارزیابی تاثیر قارچ میکوریزا و منابع مختلف فسفر بر رشد و جذب فسفر در سویا (*Glycine max* (L.) Merr.)

*محمد رضوانی[۱]، بنژامین افشنگ[۱]، عبداللطیف قلی‌زاده[۲] و فائزه زعفریان[۳]

[۱]استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائمشهر، [۲]استادیار گروه تولیدات گیاهی، مجتمع آموزش عالی گنبد، [۳]استادیار گروه زراعت و اصلاح‌نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۲٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۱۵

چکیده

افزایش قیمت کودهای فسفاته شیمیایی در سطح جهان و وجود منابع عظیم سنگ فسفات بومی لزوم استفاده از این منابع را آشکار می‌سازد. اطلاعات اندکی در زمینه تاثیر توام قارچ میکوریزا و انواع سنگ فسفات‌های داخلی در جذب فسفات وجود دارد، بنابراین، این پژوهش گلدانی در سال ۱۳۸۹ با هدف بررسی تاثیر قارچ‌های میکوریزا در افزایش جذب فسفات از منابع سنگ فسفات بومی اجرا شد. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٤ تکرار انجام شد. فاکتورها شامل فاکتور تلقیح میکوریزا با دو سطح (بدون استفاده از قارچ (M_0) و استفاده از قارچ (M_1) و فاکتور منبع فسفات با ۵ سطح B_1 تیمار شاهد (بدون اضافه کردن کود فسفر)، B_2 کود استاندارد فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل، B_3 کود فسفر از منبع سنگ فسفات یزد، B_4 کود فسفر از منبع سنگ فسفات یاسوج و B_5 کود فسفر از منبع سنگ فسفات گافسای تونس بود. نتایج نشان داد در بین منابع مختلف سنگ فسفات، سنگ فسفات گافسا دارای بیشترین غلظت فسفر ریشه و اندام هوایی، نیتروژن اندام هوایی و وزن خشک بود. جذب فسفر گیاه در سنگ فسفات گافسا تلقیح شده با میکوریزا بیشتر از منابع دیگر سنگ فسفات بود. تیمار گافسا با میکوریزا دارای بیشترین میزان اثربخشی زراعی بر اساس وزن خشک اندام هوایی (۳۹/٦۵ درصد) و جذب فسفر کل سویا (٦۰/۵٤ درصد) بود. شاخص کلونی‌زایی میکوریزایی در سنگ فسفات گافسا بیش از سایر منابع فسفر بود. میکوریزا جذب فسفر از سنگ فسفات گافسا را بیش از سنگ فسفات‌های داخلی افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: میکوریزا، اثربخشی زراعی، جذب فسفر، سنگ فسفات

*مسئول مکاتبه: m_rezvani52@yahoo.com

مقدمه

فسفر عنصری ضروری در تغذیه گیاهان محسوب می‌شود که می‌تواند به‌صورت فسفات محلول جذب گیاه شود. اما در شرایط طبیعی حلالیت فسفر محدود می‌باشد (دوپونویس و همکاران، ۲۰۰۵). بخش زیادی از کود فسفره‌ای که به خاک داده می‌شود به‌سرعت تثبیت و از دسترس گیاه خارج می‌شود (سینگ و کاپور، ۱۹۹٤). از طرفی دیگر، استفاده از کودهای شیمیایی فسفره به‌دلیل قیمت بالا (سانچز، ۲۰۰۲) و اثرات سوء زیست‌محیطی آنها کاهش یافته است (تونی و همکاران، ۱۹۹۷) بنابراین، استفاده از منابع سنگ فسفات می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد (قلی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹). سنگ فسفات معمولاً دارای منشاء آذرین یا رسوبی هستند که امروزه به‌طور گسترده‌ای در دنیا جهت تولید فسفات مورد استفاده قرار می‌گیرند (وان استارتن، ۲۰۰۲). سنگ فسفات پس از واکنش با اسیدسولفوریک یا اسیدفسفریک به کود فسفات محلول تبدیل می‌شود که این فرآیند تولید کودهای شیمیایی فسفره بسیار پرهزینه می‌باشد و با مصرف فراوان انرژی همراه است. با توجه به موارد بالا، روش‌هایی جهت جایگزینی با این فرآیند پیشنهاد شده است، یکی از این روش‌ها استفاده از میکروارگانیزم‌هایی است که قادر به حل کردن سنگ فسفات می‌باشند. در دهۀ گذشته، جهت تولید محصولات کشاورزی استفاده از حل‌کننده‌های زیستی[۲] سنگ فسفات، مورد توجه قرار گرفته است. گزارش‌های زیادی نشان داده است که بعضی از این میکروارگانیزم‌ها قادر به حل نمودن سنگ فسفات و آزاد کردن فسفر محلول هستند (چن و همکاران، ۲۰۰٦؛ آچالا و همکاران، ۲۰۰۷؛ چی و همکاران، ۲۰۰۵؛ سان و همکاران، ۲۰۰٦) که از جمله آنها می‌توان از قارچ‌های میکوریزا یاد کرد.

قارچ‌های میکوریزا از عوامل ضروری در سیستم پایدار خاک گیاه محسوب می‌شوند (اشنایدر و همکاران، ۲۰۰۳؛ اسمیت و رید، ۲۰۰۸) که با ریشۀ بیش از ۹۷ درصد گیاهان همزیستی دارند (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). قدمت قارچ‌های میکوریزا در اکوسیستم خشکی به بیش از ٤٦۰ میلیون سال می‌رسد (ریلیگ، ۲۰۰٤). اهمیت میکوریزا در کشاورزی بر پایۀ نقش ویژۀ آن به‌عنوان حلقۀ ارتباطی بین خاک و گیاه استوار است. قارچ‌های میکوریزا به‌دلیل افزایش موثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌وسیلۀ گیاهان می‌شوند. تخمین زده می‌شود که حدود ۸۰ درصد جذب فسفر توسط گیاه به‌وسیله قارچ‌های میکوریزا صورت می‌گیرد (مارشنر و دل، ۱۹۹٤).

1- Biosolubilization

همچنین، این قارچ سبب بهبود جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، مس و روی در خاک‌های فقیر می‌شود (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). مزیت قارچ میکوریزا افزایش منطقهٔ تخلیه عناصر غذایی به وسیله ریشه‌های میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی می‌باشد (اسمیت و رید، ۲۰۰۸).

نتایج بررسی گیانشوار و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که قارچ‌های میکوریزا راهکاری ارزان و کم انرژی جهت کمک به افزایش اثربخشی زراعی سنگ فسفات می‌باشند. شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد که ریشه‌های گیاهان میکوریزایی قادر به استفاده از منابع نامحلول فسفر در خاک که قابل دسترس ریشه گیاه نیستند می‌باشند (کابلو و همکاران، ۲۰۰۵؛ دوپونویس و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین، منابع مختلف سنگ فسفات دارای اثر بخشی زراعی متفاوتی هستند (سیل و موکونی، ۱۹۹۳).

معادن سنگ فسفات زیادی در ایران وجود دارند از جمله معدن کان‌سنگ یاسوج، که حاوی فسفات‌هایی از نوع رسوبی می‌باشد (شرکت مشاور کانساران، ۱۹۹۲). معدن سنگ فسفات یزد حاوی آهن و از نوع آذرین با قابلیت انحلال کمتر نسبت به سنگ فسفات‌های رسوبی می‌باشد. سنگ فسفات گافسای تونس از نوع رسوبی و دارای قابلیت حل شوندگی بالا می‌باشد. این نوع سنگ فسفات برای کاربرد مستقیم و همچنین به‌عنوان معیاری برای تعیین میزان حل شوندگی سایر انواع سنگ فسفات‌ها در سایر نقاط جهان استفاده می‌شود (قلی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹).

وجود میلیون‌ها تن کنتسانتره سنگ فسفات (سنگ فسفات خالص شده) غیر قابل استفاده در صنعت در مجتمع فسفات اسفوردی یزد، کشف منابع عظیم سنگ فسفات رسوبی در کوه لار استان کهکیلویه و بویر احمد (یاسوج) ضرورت انجام پژوهش‌های در این زمینه را بیش از پیش آشکار می‌سازد (قلی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹). در این مطالعه تاثیر قارچ میکوریزای *G. intraradices* نیز روی حلالیت‌پذیری سنگ فسفات و رشد سویا بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تاثیر قارچ میکوریزا بر جذب فسفر از منابع مختلف سنگ فسفات در سویا رقم ساری، آزمایش گلدانی در سال زراعی ۱۳۸۹ در دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ٤٦ دقیقه شرقی و عرض ۳٦ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ١٤/٧ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٤ تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل فاکتور تلقیح میکوریزا با دو سطح (بدون تلقیح با قارچ میکوریزا (M_0)

و تلقیح با قارچ میکوریزا (M_1) سویه*Glomus intraradices*) و فاکتور منبع فسفات با ۵ سطح شامل B_0: تیمار شاهد (بدون کود فسفر)، B_1: فسفر از کود استاندارد سوپر فسفات تریپل، B_2: فسفر از منبع سنگ فسفات یزد، B_3: فسفر از منبع سنگ فسفات یاسوج و B_4: فسفر از منبع سنگ فسفات گافسای تونس بود. مقادیر سنگ‌های فسفات و کود استاندارد سوپر فسفات تریپل که باید به خاک اضافه می‌شد، براساس درصد فسفر موجود در منابع فسغات و ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک هوا خشک تعیین شد. با توجه به اینکه میزان فسفر در سنگ فسفات یاسوج، ۷/۵ درصد P_2O_5، در سنگ فسفات یزد ۳۰ درصد P_2O_5، در سنگ فسفات گافسا ۲۷ درصد P_2O_5 و در سوپر فسفات تریپل ٤۵ درصد P_2O_5 بود، مقادیر محاسبه و به هر گلدان اضافه شد.

خاک مورد آزمایش، خاک زراعی با فسفر کم (۵/۷ $mg\ kg^{-1}$) بود که از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد. خاک هوا خشک و از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

ویژگی‌های شیمیایی مانند pH، شوری و کلسیم عصاره ۱:۱، فسفر قابل جذب به روش اولسن (اولسن و همکاران، ۱۹۵۳)، کربن آلی به روش والکلی بلاک (نلسن و سامرز، ۱۹۸۲) ظرفیت نگهداری فسفر به روش ساندرز (ساندرز، ۱۹٦۵)، اکسیدآهن آزاد به‌روش هولمگرن (هولمگرن، ۱۹٦۷)، کربنات‌کلسیم معادل (CCE) (لوپرت و دونالد، ۱۹۹٦)، کربنات کلسیم معادل فعال (ACCE) (دل کامپیلو و همکاران، ۱۹۹۲) و بافت خاک به روش هیدرومتری در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

اکسید آهن آزاد (درصد)	pH (۱:۱)	شوری عصاره(۱:۱)	کلسیم عصاره(۱:۱) $mg\ L^{-1}$	فسفر اولسن $mg\ kg^{-1}$	کربن آلی (درصد)	نگهداری فسفر ساندرز (درصد)	CCE (درصد)	ACCE (درصد)	رس (درصد)	شن(درصد)	سیلت (درصد)	CEC ($Cmol.kg^{-1}$)	SP (درصد)
۰/٤٤	۷/۹	۰/٤۹	٤/۳	۵/۱۷	۲/۰	۵۸/٦	۱۵/۵	۱۰/۳	۳٤	۱۲	۵٤	۲۲/۸	۵۹/٤

جهت کاشت، ٤ کیلوگرم خاک به گلدان‌های ضدعفونی شده به وسیله الکل اضافه شد. میزان قارچ میکوریزا اضافه شده از سویه *G. intraradices* (تهیه شده از بخش بیولوژی موسسه تحقیقات خاک و آب تهران تهیه شد) ۵۰ گرم در هر گلدان بود. تعداد پروپاگول‌های مایه تلقیح مورد استفاده، $۱۰^{۸}$ عدد در هر گرم ماده حامل بود.

سنگ‌های فسفات برای هر تیمار به‌ترتیب شامل سنگ فسفات یزد ۱/۹۷ گرم، سنگ فسفات گافسا ۲/٦ گرم، سنگ فسفات یاسوج ۹/۲ گرم، کود استاندارد (سوپر فسفات تریپل) ۱/۵۳ گرم بود. جهت اعمال تیمارها، مایه تلقیح میکوریزایی، سنگ فسفات و کود سوپر فسفات تریپل به خاک اضافه و مخلوط شد. بذرها در عمق ۳ سانتی‌متری خاک در گلدان کاشته شدند. آبیاری پس از کاشت از طریق زیرگلدانی انجام شد. پس از استقرار گیاهچه تعداد بوته‌ها به ۳ بوته در گلدان کاهش داده شد. رطوبت در تمامی فصل کشت در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و از طریق آبیاری با استفاده از زیرگلدانی نگهداشته شد.

جهت جلوگیری از بروز هر گونه کمبود عناصر غذایی و بر اساس آزمون خاک، مقادیر کودی عناصر ماکرو و میکرو شامل نیتروژن (از منبع سولفات آمونیوم) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) و آهن (از منبع سکوسترین آهن)، منگنز (از منبع سولفات منگنز)، روی (از منبع سولفات روی) و مس (از منبع سولفات مس) به میزان ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک توزین و سه هفته پس از کاشت به خاک اضافه شد. در مرحله گلدهی سویا، از هر تیمار ۳ بوته از ارتفاع یک سانتی‌متری سطح خاک برداشت شد. قطر ساقه و ارتفاع بوته‌ها اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از کاغذ میلی‌متری تعیین شد. برای تعیین وزن خشک ساقه و برگ نمونه‌ها به‌مدت ٤۸ ساعت در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و سپس به‌وسیله ترازوی دیجیتال توزین شد. نمونه‌های برگ و ساقه جهت اندازه‌گیری درصد نیتروژن و فسفر آسیاب شدند.

برای تعیین عملکرد بوته‌های باقیمانده پس از رسیدگی برداشت و تعداد غلاف در هر بوته و عملکرد دانه در هر بوته محاسبه شد. گلدان‌ها پس از برداشت آبیاری و شستشو شدند. جهت تعیین کلونی‌زایی ریشه از ریشه نمونه‌گیری و در الکل اتیلیک ۵۰ درصد قرار داده شد. همچنین تعداد گره روی ریشه نیز شمارش شد. ریشه به‌مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و سپس به وسیله ترازوی دیجیتالی توزین شد. نمونه‌های ریشه جهت اندازه‌گیری درصد نیتروژن و فسفر آسیاب شدند. درصد نیتروژن کل به‌روش کجلدال و غلظت فسفر نمونه‌ها به‌روش هضم خشک در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (بارتلز و بیگام، ۱۹۹٦).

میزان اثر بخشی زراعی[3] تیمارهای مختلف از لحاظ عملکرد وزن خشک و میزان جذب فسفر کل در گلدان‌ها طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$RAE = \left[(P_{ext} - P_{ex0})/(P_{extsp} - P_{ex0})\right] \times 100$$

RAE: درصد اثر بخشی زراعی نسبی

P_{ext}: مقدار وزن خشک گیاه یا فسفر جذب شده از تیمارهای مختلف

P_{ex0}: مقدار وزن خشک گیاه یا فسفر جذب شده از تیمار شاهد

P_{extsp}: مقدار وزن خشک گیاه یا فسفر جذب شده از تیمار سوپر فسفات تریپل (کود استاندارد) (فائو، ۲۰۰۶).

جهت تعیین کلونی‌زایی، رنگ‌آمیزی ریشه‌ها به روش هیمن (فیلیپس و هیمن، ۱۹۷۰) انجام شد. جهت تعیین درصد کلونی‌زایی میکوریزایی، از هر نمونه ۳۰ برش یک سانتی‌متری تهیه و در زیر میکروسکوپ، درصد کلونی‌زایی میکوریزایی با روش Grid Line Intersect Method تعیین شد (گیوونتی و موس، ۱۹۸۰).

برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD از نرم‌افزار MSTATC و SAS و جهت رسم شکل‌ها از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

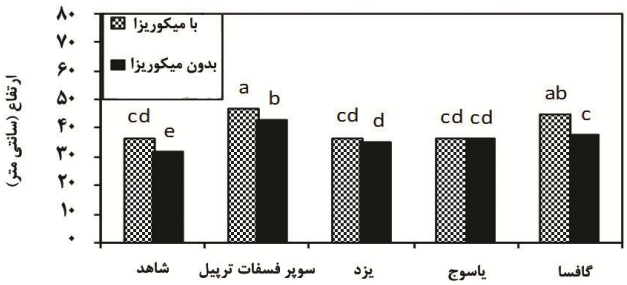
نتایج و بحث

ارتفاع و سطح برگ: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که میکوریزا و منابع مختلف فسفات روی ارتفاع گیاه تاثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۲) (P<۰/۰۵). همچنین اثر متقابل میکوریزا و منابع مختلف فسفر روی ارتفاع گیاه نیز معنی‌دار شد (جدول ۲) (P<۰/۰۵). بیشترین ارتفاع در تیمار میکوریزایی همراه با کود سوپر فسفات تریپل وجود داشت. در بین سنگ فسفات‌ها بوته‌های تیمار شده با *G. intraradices* به همراه سنگ فسفات گافسا دارای ارتفاع بیشتری بودند. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل میکوریزا و منابع فسفر می‌توان گفت که کوتاه‌ترین گیاهان ناشی از تیمار بدون اعمال کود و میکوریزا مشاهده شد (شکل ۱).

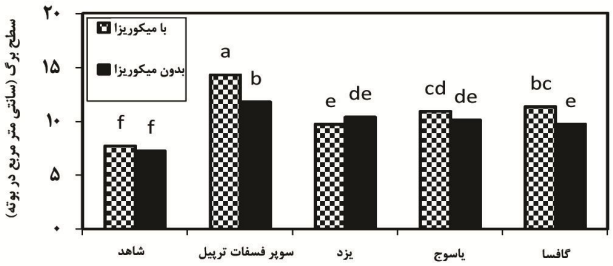
همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده اثر قارچ میکوریزا و منابع فسفات و همچنین اثر متقابل آنها روی سطح برگ سویا تاثیر معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان سطح برگ در تیمار کود سوپر فسفات تریپل به همراه قارچ دیده می‌شود (شکل ۲).

3- Relative Agricultural Effectiveness

گیاهان میکوریزایی دارای ارتفاع بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی بودند. نتایج دوپونویس و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان داد که گیاه آکاسیا (*Acacia holosericea* L.) تلقیح شده با میکوریزا و تیمار شده با سنگ فسفات ارتفاع بیشتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند. اما آنتونس و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که تلقیح سنگ فسفات‌ها با *G. interadices* تاثیری روی ارتفاع هویج (*Daucus carrota* L.) نداشت. قارچ‌های میکوریزا به‌دلیل افزایش سطح جذب ریشه از طریق تشکیل هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌وسیله گیاهان می‌شوند. تخمین زده می‌شود که حدود ۸۰ درصد جذب فسفر گیاه به‌وسیله این قارچ‌ها صورت می‌گیرد (مارشنر و دل، ۱۹۹٤).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل منابع فسفات و قارچ میکوریزا بر ارتفاع سویا. در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



شکل۲. مقایسه میانگین اثر متقابل منابع فسفات و قارچ میکوریزا بر سطح برگ (سانتی‌متر مربع‌در بوته) سویا. در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

وزن خشک برگ، ساقه و ریشه: عکس‌العمل وزن خشک برگ، در اثر اعمال منابع مختلف فسفات، بیانگر تاثیر این تیمار روی این صفت می‌باشد (P<۰/۰۵) (جدول۲). بیشترین میزان وزن خشک برگ (۲۵/۸۰ گرم در بوته) در تیمار کود سوپر فسفات تریپل دیده شد و پس از آن در تیمار سنگ فسفات گافسا (۱٦/۵۹ گرم در بوته) مشاهده شد. کمترین میزان (۱۱/۷۱ گرم در بوته) نیز در تیمار شاهد وجود داشت (جدول ٤).

نتایج آنالیز واریانس وزن خشک ساقه سویا نشان داد که این صفت تحت‌تاثیر فاکتور میکوریزا قرار نگرفت. اما منابع فسفات تاثیر معنی‌داری روی این صفت سویا داشتند (P<۰/۰۵). به‌طوری‌که بیشترین (۱۳/۲۹ گرم در بوته) و کمترین میزان (٦/۹۰ گرم در بوته) این صفت به‌ترتیب در تیمار کود سوپر فسفات تریپل و سنگ فسفات یزد دیده شد. در بین سنگ فسفات‌ها، تیمار سنگ فسفات گافسا بیشترین میزان وزن خشک ساقه را به‌خود اختصاص داد (جدول ٤). اثر متقابل میکوریزا و منابع کودی نیز روی وزن خشک ساقه تغییرات معنی‌داری را موجب نشد (جدول ۲).

وزن خشک ریشه گیاهان مورد بررسی تحت تاثیر فاکتورهای میکوریزا و کود فسفات قرار گرفت و تغییرات معنی‌داری را نشان داد. اما در این بررسی اثر متقابل میکوریزا و منابع فسفات روی وزن خشک ریشه تغییرات معنی‌داری را ایجاد نکرد (جدول ۲). جدول ٤ نشان می‌دهد که وزن خشک ریشهٔ سویا تحت تیمار کود سوپر فسفات تریپل حداکثر (۱۷/٤۷ گرم در بوته) بود و وزن خشک ریشه در تیمار گافسا در میان سنگ فسفات‌ها بیشترین میزان این صفت (۱۳/۹۹ گرم در بوته) را به‌خود اختصاص داد. کمترین میزان (۱۱/۹۲ گرم در بوته) وزن خشک ریشه هم در تیمار شاهد مشاهده شد. وزن خشک ریشه در گیاهان میکوریزایی بیش از گیاهان غیرمیکوریزایی بود (جدول ۳).

استفاده از میکوریزا سبب افزایش ماده خشک گیاه به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی می‌شود. نتیجهٔ این نقش میکوریزا افزایش فعالیت فتوسنتزی و تثبیت CO_2 و تولید سطح برگ بیشتر می‌باشد، که در نهایت سبب افزایش تثبیت CO_2 و افزایش بیوماس اندام هوایی می‌شود (اسمیت و رید، ۲۰۰۸).

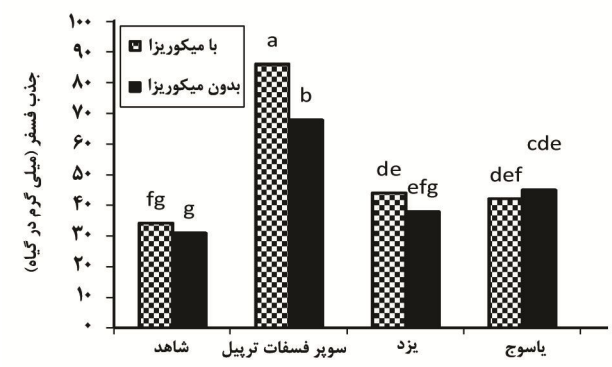
تلقیح با *G. interadices* سبب افزایش ماده خشک اندام هوایی و ریشه گیاه آکاسیا شد (دوپونویس و همکاران، ۲۰۰۵). اما نتایج آنتونس و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که در گیاهان تیمار شده با منابع مختلف فسفات بدون تلقیح با میکوریزا، وزن خشک و طول ریشه و وزن خشک اندام هوایی بیش از گیاهانی بود که با منابع مختلف سنگ فسفات همرا با تلقیح *G. interadices* تیمار

شده بودند. این کاهش رشد در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا توسط جونز و اسمیت (۲۰۰٤) نیز مشاهده شد. آنها همچنین اشاره کردند که این یک پدیده عمومی می‌باشد که مکانیزم آن مشخص نیست. اما آنتونس و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که عدم تاثیر تلقیح با *G. interadices* روی وزن خشک گیاه می‌تواند ناشی از عدم توانایی این سویه در همزیستی با سویا و رهاسازی H^+ یا اسیدهای آلی باشد. اما برخلاف آنتونس و همکاران (۲۰۰۷)، پژوهشگران دیگر مانند باگو و همکاران (۱۹۹٦) و ویلگاس و همکاران (۱۹۹٦) گزارش کردند که تلقیح با میکوریزا سبب افزایش فعالیت میکوریزا آربسکولار در محیط ریشه می‌شود.

جذب فسفر گیاه: جدول ۲ نشان داد که عکس‌العمل این صفت در گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی به منابع مختلف فسفر متفاوت بود، که بیانگر از وجود اثر متقابل بین این دو فاکتور می‌باشد (P<۰/۰۵) (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل قارچ و منابع فسفات نشان داد که بیشترین میزان جذب فسفر (۸۵/۸۲ میلی‌گرم) در تیمار کود سوپر فسفات تریپل در اثر تلقیح با قارچ میکوریزا وجود داشت و عدم اعمال کود فسفر باعث کاهش میزان جذب فسفر گیاه شد و این کاهش در تیمار عدم تلقیح در کمترین حد ممکن بود (شکل ۳).

نتایج عمر (۱۹۹۸) نشان داد که در آزمایش گلدانی تیمار تلقیح با میکوریزا و سنگ فسفات تاثیری روی جذب فسفر گندم (*Triticum aestivum* L.) نداشتند. اما در شرایط مزرعه جذب فسفر گندم به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین، این نتایج که قابلیت حل کنندگی ۳٦ گونه قارچ را روی سنگ فسفات بررسی کرده بود نشان داد که اکثر قارچ‌های مورد بررسی قابلیت حل‌کنندگی سنگ فسفات را نداشتند.

عدم توانایی سویه *G. interadices* در کاهش pH خاک و تولید اسیدهای آلی دلیل کاهش جذب فسفر گیاه می‌باشد (آنتونس و همکاران، ۲۰۰۷). اما اسمیت و همکاران (۲۰۰٤) دریافتند که عدم توانایی سویه میکوریزا در ایجاد همزیستی به این معنی نیست که میکوریزا سهمی در جذب فسفر به وسیلهٔ گیاه ندارد. آنها همچنین بیان کردند، قارچ برای رشد خود به فسفر نیاز دارد و ممکن است فسفر جذب شده را جهت مصرف خود اختصاص داده و به گیاه منتقل نکند. نتایج آنتونس و همکاران (۲۰۰۷) که روی سه منبع مختلف سنگ فسفات به همراه تلقیح با *G. interadices* مطالعه کردند، نیز نشان داد که تلقیح با *G. interadices* نتوانست سبب افزایش جذب فسفر از سنگ فسفات‌های مختلف شود.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرمتقابل منابع فسفات و قارچ میکوریزا بر جذب فسفرسویا. در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

غلظت نیتروژن اندام هوایی و ریشه: منابع فسفات باعث تاثیر معنی‌داری روی میزان نیتروژن اندام هوایی شدند، درحالیکه قارچ میکوریزا و اثر متقابل قارچ و سنگ فسفات تاثیر معنی‌داری روی این صفت نداشتند (P<۰/۰۵) (جدول ۲). غلظت نیتروژن اندام هوایی گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی یکسان بود (جدول ۳). غلظت نیتروژن اندام هوایی در اثر تیمار کود سوپر فسفات تریپل بیشترین میزان بود، همچنین غلظت نیتروژن اندام هوایی در گیاهانی که در سنگ فسفات گافسا رشد کردند، بیش از سایر سنگ فسفات‌ها بود (P<۰/۰۵) (جدول ٤).

نتایج نشان داد که اثر میکوریزا، منابع مختلف فسفر و همچنین اثر متقابل قارچ و منابع فسفات روی نیتروژن ریشه سویا معنی‌دار شد (P<۰/۰۵) (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل قارچ و منابع فسفات نشان داد که کمترین میزان نیتروژن ریشه در تیمار شاهد و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا وجود داشت (شکل ٤) (P<۰/۰۵).

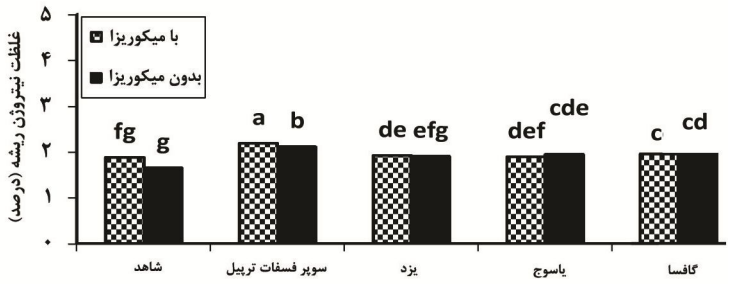
قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش تولید گره، کلونی‌زایی ریشه، تجمع ماده خشک در اندام هوایی و جذب عناصر غذایی در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) شد (سینگ و سینگ، ۱۹۹۳). ترفدار و رائو (۲۰۰۱) نیز اثرات متقابل مثبت بین باکتری ریزوبیوم و تلقیح با میکوریزا را روی گره‌زایی و جذب عناصر غذایی نوعی لوبیا (Cluster bean) گزارش نمودند. نتایج بهات و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد که تلقیح همزمان گیاه ماش سبز (*Vigna radiate* L. Wilczek) با باکتری ریزوبیوم و قارچ‌های

جدول ۲. جدول تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	MS							
		ارتفاع گیاه	سطح برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	جذب فسفر گیاه	نیتروژن اندام‌هوایی	نیتروژن ریشه
قارچ میکوریزا	۱	۱٤۸/۲۳*	۸/۵۲*	٤/۹۸ns	۱/۹۵ns	٦/۰۹*	۳۳۸/۰۳*	۰/۰۰۱ns	۰/۰٤*
منابع فسفات	٤	۱۵۳/۵۷*	۳۱/۳۱*	۲۹۵/۲۹*	۵۵/۰۲*	۳۹/٦۲*	۲۲۹۵/۹۵*	۱/۵۳*	۰/۱۵*
قارچ × منابع فسفات	٤	۱۳/۹۳*	۲/۹۰*	۱/٦۵ns	۰/٤۲ns	۱/۰۷ns	۱۱٦/۳۲*	۰/۰۱	۰/۰۲*
خطا	۳۰	۳/۲۲	۰/۳۵	۱/٤۱	۰/۵٦	۰/٦٦	۳/۳۸	۰/۰۲	۰/۰۱
ضریب تغییرات (درصد)		٤/٦۷	۵/۷۱	۷/٦۳	۸/۰٤	۵/۹۱	۱۱/٤٦	٦/٦۱	۳/۷٦

ns و * : غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

میکوریزا سبب افزایش وزن خشک ریشه و تعداد گره در ریشه شد. این موضوع می‌تواند به‌دلیل اثرات هم‌افزایی[4] باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا روی رشد ریشه باشد. این نتایج به‌وسیله کوموتا و همکاران (۲۰۰٤) و همچنین داد و رائوت (۲۰۰۵) نیز تائید شد. اثر هم‌افزایی می‌تواند به‌دلیل نقش فسفر در تشکیل گره و تثبیت نیتروژن گیاهان تیره لگوم باشد که بدین‌ترتیب قارچ میکوریزا با افزایش جذب فسفر گیاه نقش مهمی را در تامین نیاز فسفری باکتری جهت رشد و تثبیت بیولوژیک نیتروژن ایفا می‌کند (بات و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ٤. مقایسه میانگین اثرمتقابل منابع فسفات و قارچ میکوریزا بر غلظت نیتروژن ریشه سویا. در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۳. مقایسه میانگین تاثیر قارچ میکوریزا روی برخی صفات.

تلقیح	وزن خشک برگ (گرم در بوته)	وزن خشک ساقه (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته	غلظت نیتروژن اندام هوایی (درصد)
با میکوریزا	۱۵/۹۳[a]	۹/٤۱[a]	۱٤/۱٤[a]	۲/۳۳[a]
بدون میکوریزا	۱۵/۲۲[a]	۸/۹۷[a]	۱۳/۳٦[b]	۲/۳۲[a]

تیمارهای دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

1- Synergistic

جدول ٤. مقایسه میانگین تاثیر منابع مختلف فسفات روی برخی صفات.

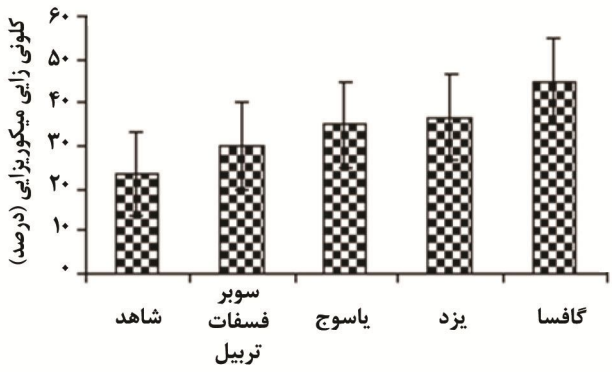
منابع فسفات	وزن خشک برگ (گرم در بوته)	وزن خشک ساقه (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته	غلظت نیتروژن اندام هوایی (درصد)
شاهد	۱۱/۷۱[c]	۷/۲۳[d]	۱۱/۹۲[d]	۲/۱۸[b]
سوپرفسفات‌تریپل	۲۵/۸۰[a]	۱۳/۲۹[a]	۱۷/٤۷[a]	۳/۱۱[a]
سنگ‌فسفات‌یزد	۱۲/۰۰[c]	٦/۹۰[d]	۱۲/۳٤[cd]	۲/۱۳[b]
سنگ‌فسفات‌یاسوج	۱۱/۷۷[c]	۸/۳٦[c]	۱۳/۰۰[c]	۲/۰۷[b]
سنگ‌فسفات‌گافسا	۱٦/۵۹[b]	۱۰/۱۷[b]	۱۳/۹۹[b]	۲/۱٦[b]

تیمارهای دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شاخص کلونی‌زایی میکوریزایی: شکل ۵ نشان داد که بیشترین کلونی‌زایی میکوریزایی در تیمار سنگ فسفات گافسا وجود داشت. تیمار سنگ فسفات یزد و سنگ فسفات یاسوج نیز به‌ترتیب بیشترین درصد کلونیزایی را بعد از سنگ فسفات به خود اختصاص دادند درضمن همانطور که از شکل ۵ مشخص است کمترین میزان در عدم اعمال کود دیده شد.

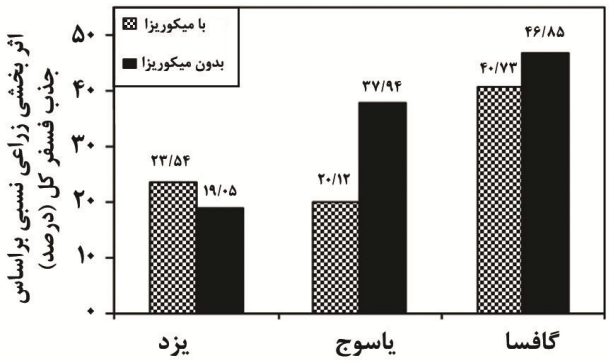
فسفر یکی از مهمترین عناصر محدودکننده تولید گیاهان زراعی در اکوسیستم‌های زراعی محسوب می‌شود، اما استفاده از مقادیر زیاد کود فسفر سبب کاهش جمعیت و فعالیت فیزیولوژیک قارچ میکوریزا می‌شود (باگیارای، ۱۹۹۰؛ گویلمین و همکاران، ۱۹۹۵). میلر و مک‌گوئیگل (۱۹۹۲) گزارش کردند که کاهش کلونی‌زایی میکوریزایی منجر به کاهش جذب فسفر در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا می‌شود. اما نتایج رابیو و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که کلونی‌زایی میکوریزایی ریشه، در سطوح بالای فسفر محلول خاک کاهش نیافت.

کلونی‌زایی میکوریزایی علاوه بر نوع گیاه و سیستم ریشه‌ای به غلظت فسفر خاک نیز بستگی دارد. سطوح بسیار بالا و بسیار پایین فسفر خاک ممکن است سبب کاهش کلونی‌زایی میکوریزایی شود (کوید، ۱۹۹۱). سطوح بیش از مقدار مورد نیاز فسفر خاک جهت رشد گیاه، سبب حذف آربسکول‌ها در همزیستی قارچ‌های میکوریزا آربسکولار شد (آبوت و رابسون، ۱۹۷۹؛ اسمیت و رید، ۲۰۰۸).



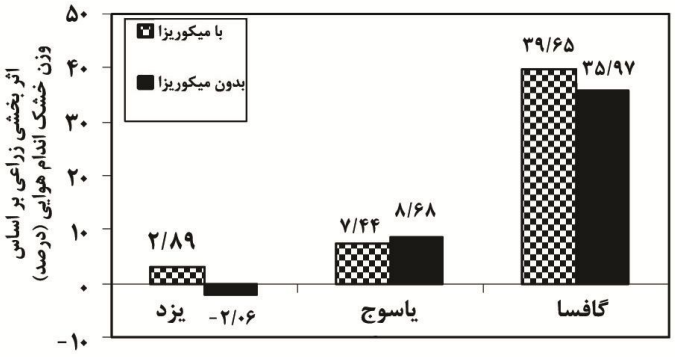
شکل ۵. مقایسه میانگین اثر منابع فسفات روی کلونی‌زایی میکوریزایی ریشه سویا.

اثر بخشی زراعی براساس جذب فسفر کل و وزن خشک اندام هوایی: سنگ فسفات گافسای تلقیح شده با میکوریزا دارای بیشترین اثربخشی زراعی بود و بعد از آن تیمار سنگ فسفات گافسا بدون تلقیح با میکوریزا دارای بیشترین اثربخشی زراعی بر اساس جذب فسفر کل بود. میکوریزایی شدن تاثیری روی جذب فسفر از منبع سنگ فسفات یاسوج نداشت (شکل ٦).



شکل ٦. نتایج مقادیر اثر بخشی زراعی نسبی محاسبه شده بر اساس جذب فسفر کل سویا در تیمارهای با میکوریزا و بدون میکوریزا.

تیمار سنگ فسفات گافسا به همراه میکوریزا و بدون میکوریزا دارای بیشترین اثر بخشی زراعی بر اساس وزن خشک اندام هوایی بود (P<۰/۰۵) (شکل ۷).



شکل ۷. نتایج مقادیر اثر بخشی زراعی نسبی محاسبه شده بر اساس وزن خشک اندام هوایی سویا در تیمارهای با میکوریزا و بدون میکوریزا.

نتایج آزمایش‌های انجام شده در مورد اثربخشی زراعی سنگ فسفات‌ها نشان داد که گیاهان مختلف نسبت به مصرف سنگ فسفات واکنش مثبت نشان می‌دهند. پاسخ گیاه به سنگ فسفات با اندازه‌گیری میزان جذب فسفر، میزان تولید ماده خشک و عملکرد گیاه اندازه‌گیری می‌شود (چین و همکاران، ۲۰۰۳؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۲؛ من‌کنی و همکاران، ۲۰۰۰). اجتماع گیاه و قارچ می‌تواند از طریق تولید یون‌های H^+ و اسیدهای آلی در قابلیت حل سنگ فسفات موثر باشد، که این موضوع می‌تواند منجر به افزایش اثربخشی زراعی سنگ فسفات‌ها شود (ملیسا و اشنایدر، ۲۰۰۶).

بررسی که در دانشگاه گلف (کانادا) روی اثربخشی زراعی منابع مختلف سنگ فسفات انجام شد، نشان داد که سنگ فسفات کالفوس (Calphos) با منشا رسوبی، دارای اثربخشی زراعی معادل مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل بود (ملیسا و اشنایدر، ۲۰۰۶).

اندرسون و همکاران (۱۹۸۵) با آزمایش در ۱۸ خاک مختلف به این نتیجه رسیدند که ۷۵ درصد از تغییرات در حلالیت فسفر در منابع مختلف سنگ فسفات به دلیل ویژگی‌های خاک شامل pH، Ca^{2+}، غلظت H^+، ظرفیت بافری و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک می‌باشد.

قابلیت انحلال سنگ فسفات‌های مورد بررسی با یکدیگر متفاوت بود. سنگ فسفات گافسا حلالیت بیشتری نسبت به سنگ فسفات‌های داخلی داشت. سنگ فسفات گافسا از نوع رسوبی می‌باشد که دارای حلالیت بالایی دارد و از آن به عنوان مرجع برای کاربرد و مصرف مستقیم سنگ

فسفات‌های دیگر استفاده می‌شود (لوپز، ۱۹۹۸؛ چین و هاموند، ۱۹۷۸). میزان حلالیت سنگ فسفات‌های داخلی در مقایسه با سنگ فسفات گافسا پایین و ناچیز است. سنگ فسفات یاسوج از نوع رسوبی اما سنگ فسفات یزد از نوع آذرین می‌باشد که دارای حلالیت کمتری نسبت به سنگ فسفات‌های رسوبی بود. سنگ فسفات یزد دارای مواد معدنی منیزیم و آهن است که برای تولید کود مطلوب نمی‌باشد (قلی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹). میزان بازدهی زراعی نسبی نه تنها به ویژگی‌های ذاتی سنگ فسفات‌ها، بلکه به خصوصیات خاک، گونه و رقم گیاه نیز بستگی دارد (خاسانه و دال، ۱۹۷۸). همچنین سویه قارچ میکوریزا نیز در این امر دخالت دارد (آنتونس وهمکاران، ۲۰۰۷).

مطلوب نمودن شرایط رشد میکروارگانیزم‌ها در خاک ممکن است سبب افزایش تولید اسیدهای آلی به وسیله میکروارگانیزم‌ها شود و در نتیجه حلالیت سنگ فسفات را افزایش دهد (ملیسا و اشنایدر، ۲۰۰۶).

نتیجه‌گیری

با توجه به درجه حلالیت متفاوت سنگ فسفات‌های مورد استفاده، توانایی سویه *G. interadices* در افزایش جذب فسفر از منابع مختلف متفاوت بود. این سویه کارایی جذب فسفر و اثربخشی زراعی سنگ فسفات‌های گافسا و یزد را نسبت به تیمارهای عدم تلقیح افزایش داد. اما مقدار افزایش جذب فسفر و اثربخشی زراعی به وسیله این سویه اندک بود. عدم کارایی زیاد در قابلیت حل فسفات را شاید بتوان به عدم توانایی این سویه در کاهش pH خاک و تولید اسیدهای آلی ارتباط داد. پژوهشات آینده می‌تواند با استفاده از سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا انجام شود، تا بتوان از سویه‌هایی استفاده نمود که بیشترین کارایی را در انحلال سنگ فسفات و انتقال فسفر به گیاه را دارند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر فرهاد رجالی عضو هیئت علمی موسسه خاک و آب تهران جهت تهیه مایه تلقیح میکوریزایی و جناب آقای علی زمانی که در کلیه مراحل این پژوهش ما را یاری نمودند، نهایت قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

1.Abbott, L.K., and Robson, A.D. 1979. A quantitative study on the spores and anatomy of mycorrhizas formed by a species of *Glomus*, with special reference to its taxonomy. Austral. J. Botany. 27:363-375.

2.Achala, V., Savantb, V.V. and Reddya, M.S. 2007. Phosphate solubilization by a wild type strain and UV-induced mutants of *Aspergillus tubingensis*. Soil Biol. Biochem. 39:695-699.

3.Anderson, D.L., Krussow, W.R. and Corey, R.B. 1985. Phosphate rock dissolution in soil: Indications from plant growth studies. Soil Sci Soc Am J. 49:918-925.

4.Antunes, P.M., Schneider, K., Hillis, D. and Klironomos, J.N. 2007. Can the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus intraradices actively mobilize P from rock phosphates? Pedobiologia. 51:281-286.

5.Bago, B., Vierheilig, H., Piche´, Y. and Azco´n-Aguilar, C. 1996. Nitrate depletion and pH changes induced by the extraradical mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus intraradices grown in monoxenic culture. New Phytol. 133:2-273.

6.Bartels, J.M. and Bigham, J.M. 1996. Method of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA. Medison, WI. USA. Pp: 1-1390.

7.Bagyaraj, D.J. 1990. Ecology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. Pp: 3-34. In: Arora, D.K., Rai, B., Mukerjii, K.G., Knudsen, G.R. (eds.), Handbook of Applied Mycology. Soil and Plants. Marcel Dekker, NewYork.

8.Bhat, M.I., Bangroo, S.A., Tahir, A., Yadav, S.R.S. and Aziz, M.A. 2011. Combined effects of rhizobium and vesicular arbuscular fungi on green gram (*Vigna radiata* L. Wilczek) under temperate conditions. Res. J. Agri. Sci. 2(1):17-20.

9.Cabello, M., Irrazabal, G., Bucsinszky, A.M., Saparrat, M. and Schalamuk, S. 2005. Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*, and a rock-phosphatesolubilizing fungus, *Penicillium thomii*, on *Mentha piperita* growth in a soilless medium. J. Basic Microbiol. 45:182-189.

10.Chen, Y.P., Rekha, P.D., Arun, A.B., Shen, F.T., Lai, W.A. and Young, C.C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Appl. Soil Ecol. 34:33-41.

11.Chi, R.A., Xiao, C.Q., Gao, H., Wu, Y., Li, X.S. and Wang, R.C.W. 2005. Biodecomposition of low-grade rock phosphate with some bacteria and fungi. Chin. J. Process Eng. 6(5):636-639.

12.Chien, S.H. and Hamond, L.L. 1978. Acomparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rock for direct application. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:1758-1760.

13.Chien, S.H., Carmona, G., Henao, J. and Prochnow, L.I. 2003. Evaluation of rape response to different sources of phosphate rock in an alkaline soil. Comm Soil Sci Plant. 34:1825-1835.
14.Del Campillo, M.C., Torrent, J. and Loeppert, R.H. 1992. The reactivity of carbonates in selected soils of Southern Spain. Geoderma. 52:149-160.
15.Dudde, K.B. and Raut, R.S. 2005. Combined effects of rhizobium and VA-mycorrhiza inoculation on groundnut. J. Soils and Crops. 15(2): 315-318.
16.Duponnois, R., Colombet, A., Hien, V. and Thioulouse, J. 2005. The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. Soil Biol. Biochem. 37:1460-1468.
17.FAO, 2006. Use of phosphate rock for sustainable agriculture. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin NO. B. Rome.
18.Gholizadeh, A.L., Ardalan, M., Tehrani., M.M., Mirseyed Hosseini, H. and Karimian, N. 2009. Solubility test in phosphate rocks and their potential for direct application in soil. World Applied Sci. J. 6 (2):182-190.
19.Giovannetti, M. and Mosse, B. 1980. An evaluation of technique to measure vesicular - arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84:489-500.
20.Guillemin, J.P., Orozco, M.O., Gianinazzi-Pearson, V. and Gianinazzi, S. 1995. Influence of phosphate fertilization on fungal alkaline phosphatase and succinate dehydrogenase activities in arbuscular mycorrhiza of soybean and pineapple. Agric. Ecosys. Environ. 53:63-69.
21.Gyaneshwar, P., Kumar, G.N., Parekh, L.J. and Poole, P.S. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. Plant Soil. 245:83-93.
22.Holmgren, G.G.S. 1967. A rapid citrate- dithionate extractable iron procedure. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31:210-211.
23.Jones, M.D. and Smith, S.E. 2004. Exploring functional definitions of mycorrhizas: are mycorrhizas always mutualisms? Can. J. Bot. 82:1089-1109.
24.Kansran Counselor Corporation, 1992. Beneficiation and using Possibility stady of Zagross and Lar Mountain phosphate rock,. Mine and Metal ministry. Geology Organization Library. No. 80277.
25.Khasawneh, F.E. and Doll, E.C. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. Advanced Agrnomy. 30:159-206.
26.Koide, R.T. 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. New Phytologist. 117:365-386.
27.Kumutha, K., Sempavalan, J. and Santhonakrishnan, P. 2004. Effect of insoluble phosphate and dual inoculation on soybean. In: Biofertilizer technology Eds. Kannaiyan, S., K. Kumar, and K. Govindaraj, an scientific Publishers (India) Jodhpur, Pp: 354-358.

28.Loeppert, R.H. and Donald, L.S. 1996. Carbonate and Gypsum. P. 437-575. In: A.L. Page (ed.) Methods of Soil Analysis. 3rd edition. American Society of Agronomy, Madison, WI.
29.Lopez, A. 1998. The use of phosphate rocks to built up soil P and increase food production in acid soils: The Brazilian experience. pp: 121-132. In Johnston, A.E and J.K. Syers, (Eds.). Nutrient management for sustainble food production in Asia. Porc. IMPHOS-AARD/CSAR. Wallingford, UK, CAB international,
30.Marschner, H. and Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant Soil 159:89-102.
31.Melissa, M.A. and Schneider, K.D. 2006. Plant and microbial based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 78(4):791-807.
32.Mnkeni, P.N.S., Chien, S.H. and Carmona, G. 2000. Effectiveness of Panda Hills phosphate rock compacted with triple superphosphate as source of phosphorus for rape wheat maize and soybean. Commun Soil Sci Plant Anal. 31:3163-3175.
33.Miller, M.H. and Mc Gouigle, T.P. 1992. Soil disturbance and the effectiveness of arbuscular mycorrhizas in an agricultural ecosystem. In: Read, D.J., Lewis, D.H., Fitter, A.H., Alexander, I.J. (Eds.), Mycorrhizas in Ecosystems. CAB International, UK. Pp: 156-163.
34.Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P. 539-579. In A.L. Page (ed.) Methods of Soil Analysis. 2nd edition. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison,WI.
35.Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1953. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. Pp: 939.
36.Omar, S.A. 1998. The role of rock-phosphate-solubilizing fungi and vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) in growth of wheat plants fertilized with rock phosphate. World J. Microb Biot. 14: 211- 218.
37.Phillips, J.M., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc. 55:158-161.
38.Rillig, M.C. 2004. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes, university of Montana, U.S.A.
39.Rubio, R., Borie, F., Schalchli, C., Castillo, C. and Azcón, R. 2003. Occurrence and effect of arbuscular mycorrhizal propagules in wheat as affected by the source and amount of phosphorus fertilizer and fungal inoculation. Applied Soil Eco. 23 245-255.
40.Sale, P.W.G., and Mokwunye, A.U. 1993. Use of phosphate rocks in the tropics. Fert. Res. 35:33-45.

41. Sanchez, P.A. 2002. Ecology – soil fertility and hunger in Africa. Sci. 295:2019-2020.
42. Saunders, W.M.H. 1965. Phosphate retention by New Zeland soils and its relationship to free sesquioxides, organic matter, and other soil properties. New Zeland J. Agri. Res. 8:30-57.
43. Schreiner, R.P., Mihara, K.L., Mc Daniel, K.L. and Benthlenfalvay, G.J. 2003. Mycorrhizal fungi influence plant and soil functions and interactions. Plant and Soil 188:199-209.
44. Singh, H.P. and Singh, T.A. 1993. Effect of VA mycorrhizae in chick pea. Mycorrhizae. 3:37-39.
45. Singh, S., and Kapoor, K.K. 1994. Solubilization of insoluble phosphates by bacteria isolated from different sources. Environ. Ecol. 12:51-55.
46. Smith, S.E., and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, third ed. Academic Press, London, UK.
47. Smith, S.E., Smith, F.A. and Jakobsen, I. 2004. Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses: the contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake. New Phytol. 162: 511-52.
48. Son, H.J., Park, G.T., Cha, M.S. and Heo, M.S. 2006. Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel salt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere. Bioresour. Technol. 97:204-210.
49. Tarafdar, J.C. and Rao, A.V. 2001. Response of cluster bean to *Glomus mosseae* and Rhizobium in an arid soil fertilized with nitrogen, phosphorus and farm yard manure. J. Indian Soc. Soil Sci. 49:751-755.
50. Tunney, H., Breeuwsma, A., Withers, P.J.A. and Ehlert, P.A.I. 1997. Phosphorus fertilizer strategies: present and future. In: Tunney, H., Carton, O.T., Brookes, P.C., Johnston, A.E. (Eds.), Phosphorus Loss from Soil to Water. CAB Int., Wellingford, Pp: 177-203.
51. Van Straaten, P. 2002. Rocks for crops: agro-minerals of sub-Saharan Africa. ICRAF, Nairobi.
52. Villegas, J., Williams, R.D., Nantais, L., Archambault, J. and Fortin, J.A. 1996. Effects of N source on pH and nutrient exchange of extramatrical mycelium in a mycorrhizal Ri T-DNA transformed root system. Mycorrhiza. 6: 247-251.
53. Zhu, Y.Q., He, Y.G., Smith, S.E. and Smith, F.A. 2002. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) has high capacity to take up phosphorus (P) from calcium (Ca)-bound sources. Plant Soil. 239:1-8.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 1(2), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Evaluation of mycorrhizal fungus and phosphate rock effectiveness on growth and uptake of phosphorous in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.)

[*]M. Rezvani[1], B. Afshang[1], A. Gholizadeh[2] and F. Zaefarian[3]
[1]Assistant Prof., Dept. of AgronomyIslamic Azad University, Qaemshahr Branch, Qaemshahr, Iran, [2]Assistant Prof., Dept. of Plant production, Gonbad University, Gonbad, Iran, [3]Assistant Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Mazandaran, Iran
Received: 2011-6-14; Accepted: 2012-1-5

Abstract

It is necessary to use the phosphate rock (PR) because of the globally increasing chemical phosphate fertilizers price and huge resources of domestic PRs. There is a negligible knowledge on mycorrhizal fungi and native PRs sources influence on phosphorous uptake. Therefore a pot experiment was carried out to investigate the effect of mycorrizal fungi on enhancement of phosphate uptake from native PRs sources in soybean in 2010. Experiment was factorial with four replicates. Factors were included none-inoculation (M_0) and inoculation (M_1) to mycorrhizae plus five sources of phosphate (B_1: control without phosphate amendment, B_2: standard phosphate fertilizer from triple superphosphate, B_3: Yazd rock phosphate, B_4: Yasouj rock phosphate and B_5: Gafsa rock phosphate from Tunisia). Results showed Gafsa PR produced the highest phosphorous concentration of root and shoot, shoot nitrogen and dry matter among the applied PRs. In the Gafsa rock phosphate inoculated by mycorrhiza phosphorous uptake was higher than other PRs. Gafsa inoculated to mycorrhiza, had the maximum relative agronomic effectiveness based on phosphorus uptake (60.54%) and relative agronomic effectiveness based on shoot dry matter (39.65%). Mycorrizal colonization index in Gafsa was higher than other PRs. Generally, mycorrhiza markedly increased phosphorus uptake from Gafsa PR more than the domestic PRs.

***Keywords*:** Mycorrhiza; Agronomic effectiveness; Phosphorus uptake; Phosphate rock

[*] Corresponding Authors; Email: m_rezvani52@yahoo.com