

برهم کنش تلقیح مایکوریزایی و فسفر بر شاخص‌های رشدی، تولید ریزغده و جذب عناصر غذایی سیب‌زمینی

مصطفی قبادی^۱، محسن موحدی دهنوی^{۲*}، خسرو پرویزی^۳، دوستمیرا ظفری^۴، علیرضا یدوی^۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۴

- ۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
 - ۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
 - ۳- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات گیاهان زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، همدان
 - ۴- دانشیار گروه بیماری شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
 - ۵- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
- *مسئول مکاتبه: E-mail: movahhedi1354@yu.ac.ir

چکیده

مایکوریزای می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در جهت افزایش بهره‌وری مصرف عناصر غذایی در راستای کشاورزی پایدار استفاده شود. این آزمایش با هدف بررسی برهم‌کنش سطوح فسفر و قارچ مایکوریزای بر شاخص‌های رشدی و تولید ریزغده و جذب عناصر غذایی گیاهچه‌های سیب‌زمینی در گلخانه، به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان اجرا گردید. عامل اول شامل تلقیح با مایکوریزای گونه *Rhizophagus irregularis* (تلقیح و عدم تلقیح) و عامل دوم میزان فسفر (۰/۹۶۵، ۰/۴۸۲، ۰/۲۴۱ و ۰/۱۲ میلی‌مولار در محلول هوگلند براساس H₂PO₄) به ترتیب معادل ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد میزان فسفر در محلول هوگلند بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان استقرار گیاهچه (۹۸/۳٪)، تعداد برگ (۱۳/۳)، تعداد ریزغده (۸/۹)، وزن کل ریزغده در هر بوته (۵۳/۲ گرم)، ارتفاع اندام‌های هوایی (۵۴/۶ سانتی‌متر)، میزان فسفر در ماده خشک ریزغده (۰/۳۸٪) و برگ (۰/۳۶۳٪) در تیمار تلقیح و ۷۵ درصد فسفر بود که با تیمار تلقیح و ۱۰۰ درصد فسفر اختلاف معنی‌دار نداشت. تلقیح با قارچ مایکوریزای باعث افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن ریزغده و برگ، درصد ماده خشک و وزن ریزغده نسبت به تیمار عدم تلقیح شد. با توجه به اینکه بین تیمار تلقیح در سطح ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد فسفر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، بنابراین استفاده از قارچ مایکوریزای می‌تواند مصرف نهاده‌های کشاورزی را بدون کاهش معنی‌دار عملکرد، کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: استقرار گیاهچه، ریزغده، فسفر، مایکوریزای، همزیستی، هوگلند

Interaction of Mycorrhizal Inoculation and Phosphorus on Growth Characteristics, Production of Mini-tuber and Nutrients Uptake of Potato

Mostafa Ghobadi¹, Mohsen Movahhedi Dehnavi^{2*}, Khosro Parvizi³, Dust Morad Zafari⁴,
Ali Reza Yadavi⁵

Received: March 4, 2017 Accepted: March 5, 2018

1-PhD. Student of Agronomy, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran.

2-Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran.

3- Assist. Prof., of Agricultural and Horticultural Research, Agricultural Research and Education Center, Hamedan, Agricultural Research and Education Organization, Hamedan, Iran.

4-Assoc. Prof., Dept. of Plant Protection, University of Bu ali Sina, Hamedan, Iran.

5-Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran.

*Corresponding Author: Email: movahhedi1354@yu.ac.ir

Abstract

Mycorrhiza can be used as an efficient tool to increase nutrients productivity to achieve sustainable agriculture. This experiment conducted to investigate the interaction of phosphorus and mycorrhiza on growth characteristics and production of mini-tuber and nutrients uptake of seedlings under greenhouse condition. The experiment was arranged as factorial in completely randomized design with three replications in agricultural and natural resource research center of Hamadan in 2015. First factor included of inoculation with mycorrhizal fungi, *Rhizophagus irregularis*, (inoculated and non-inoculated) and the second factor was the amount of phosphorus (0.965, 0.482, 0.241 and 0.12 mM phosphorus according to H₂PO₄ in Hoagland solution (100, 75, 50 and 25 percent of Hoagland complete phosphorus concentration (HCPC), respectively). The results showed that the maximum values of seedling establishment (98.3%), number of leaves (13.3), the number of mini-tubers (8.9), the total weight of mini-tubers per plant (53.2 g), shoot height (54.6 cm), phosphorus in mini-tubers dry matter (%0.38) and leaves (%0.363) observed in phosphorus 75% HCPC and inoculation treatment and no significant differences was seen relative to phosphorus 100% HCPC and inoculation treatment. Inoculation with mycorrhizal fungi significantly increased the mini-tubers and leaves nitrogen, dry matter and weight of mini-tuber relative to non-inoculated treatments. Generally, respect to that there was no significant difference between 75% and 100% phosphorus in inoculation treatment, the applying of mycorrhizal fungi can reduce agricultural inputs consumption without any significant decrease in yield.

Keywords: Hoagland, Mini-tuber, Ph Mycorrhiza, Phosphorus, Seedling Establishment, Symbiosis

مقدمه

سیبزمینی (*Solanum tuberosum*) گیاهی علفی و

یکساله است که پنجمین محصول غذایی مهم دنیا

باشد.

همزیستی قارچ‌های میکوریزا به عنوان یکی از قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین راهبردهای گیاهان برای افزایش جذب عناصر غذایی و تطابق گیاهان در محیط‌های تنش‌زا شناخته می‌شود (براچمن و پاریسک، ۲۰۰۶). قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار یکی از فراوان‌ترین گونه‌های قارچ‌های میکوریزا می‌باشد، که با حدود دو سوم گیاهان خشکی‌زی رابطه همزیستی برقرار می‌کنند. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار از شاخه گلومرومایکوتا^۳ هستند، که ایجاد رابطه دو طرفه با ریشه گیاهان خشک‌زی برای بقاء آنها اجباری می‌باشد. قارچ میکوریزا آربوسکولار فراهم کننده مواد معدنی (P, N, K, Cu, Zn)، افزایش جذب آب و موجب بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده، در ازای دریافت کربوهیدرات از گیاه، می‌باشد (اسمیت و رید ۲۰۰۸). در یک مطالعه که جهت بررسی میزان مشارکت ریشه‌های قارچ AM (Arbuscular Mycorrhiza) در جذب عناصر غذایی انجام گرفت، نتایج نشان داد، قارچ‌های AM نقش بسزایی در جذب عناصر غذایی میزبان خود دارند. در این آزمایش در محیط ریشه از بخش‌های محصور شده که فقط ریشه‌های AM قادر به نفوذ در آن بودند، که ناشی از قطر خیلی نازک‌تر آنها نسبت به ریشه گیاه است، استفاده کردند و عناصر غذایی نشان‌دار انحصاراً در این بخش تامین شد. وجود عناصر نشان‌دار در بافت گیاهی تاییدکننده مشارکت قارچ‌های AM در جذب عناصر غذایی میزبان بود (نیومان و ایخارد ۲۰۱۰). ساریخانی و علی‌اصغرزاد (۲۰۱۲) با بررسی سطوح پتاسیم و دو رقم سیب‌زمینی و تلقیح میکوریزایی با دو گونه در شرایط گلخانه‌ای گزارش کردند، تلقیح میکوریزایی باعث افزایش معنی‌دار درصد ماده خشک، وزن مخصوص و میزان پتاسیم غده در مقایسه با شرایط عدم تلقیح می‌شود. سیب‌زمینی برای رشد و تولید عملکرد مطلوب به

محسوب می‌شود (فائو^۱ ۲۰۱۵). به گزارش فائو (۲۰۱۵) تولید سالیانه سیب‌زمینی ایران ۴/۷ میلیون تن در سال است. پس از انجام نیم قرن کشاورزی به صورت فشرده به منظور تأمین نیازهای غذایی روبه رشد بشر، فشار زیادی بر منابع تحمیل شده و پایداری منابع و سلامت محیط زیست با مخاطرات جدی مواجه شده است. بنابراین امروزه مدیریت پایدار منابع مورد توجه قرار گرفته است. افزایش تولید سیب‌زمینی همراه با حمایت از مصرف‌کننده و تولیدکننده ضمن حفاظت از محیط‌زیست، نیازمند یک رویکرد جامع حفاظتی گیاهان زراعی است که استفاده از ریزجاندارن مفید خاک‌زی را شامل می‌شود. قارچ میکوریزا به جهت ظرفیت مطلوبی که در مدیریت پایدار منابع کشاورزی دارد برای این منظور ابزار مناسبی به نظر می‌رسد.

محیط کشت موراشیگ و اسکوگ (MS)^۲ برای ریزازدیادی سیب‌زمینی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. گیاهچه‌های حاصل از این روش تکثیر، بسیار حساس بوده و تلفات زیادی در مرحله انتقال به محیط گلخانه دارند. تلقیح گیاهچه‌های سیب‌زمینی با قارچ میکوریزا باعث تقویت شاخص‌های رشدی شده و می‌تواند سبب بهبود سازگاری آن‌ها با محیط جدید شود (گالوا و همکاران ۲۰۱۱). ریشه‌های سیب‌زمینی ذاتاً دارای تراکم کمی هستند و این ویژگی موجب محدود شدن توان جذب عناصر غذایی بخصوص فسفر برای گیاه می‌شود (مونز و همکاران ۲۰۰۵، علی‌اصغرزاد، ساریخانی ۲۰۱۲). این امر در حالی است که بطور کلی کمبود فسفر عامل محدودکننده رشد و عملکرد تجاری سیب‌زمینی می‌باشد. تغذیه سیب‌زمینی در محیط‌های کشت گلخانه‌ای با محلول‌های غذایی انجام می‌پذیرد، که این امر هزینه بالایی را به تولیدکنندگان تحمیل می‌کند. استفاده از قارچ‌های میکوریزا با بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی از جمله فسفر، می‌تواند هزینه‌های تولید را کاهش داده و اثر سازنده‌ای را بر عملکرد این گیاه داشته

³ Glomeromycota

1-Food and agriculture organization

2 Murashige and Skoog

MS (در مرحله ۴ هفتگی) از درون شیشه به محیط گلخانه منتقل شدند. در حین انتقال نشاء، برای تیمارهای تلقیح، مقدار ۵ گرم زادمایه قارچ (تهیه شده از کلنیک گیاهپزشکی ارگانیک همدان) که حاوی حداقل ۱۰۰ اسپور در هر گرم بود، در محل کاشت هر گیاهچه در مجاورت ریشه قرار داده شد. هر واحد آزمایشی شامل جعبه‌هایی به ابعاد ۶۰×۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با استفاده از ماسه نرم، که از قبل به دقت الک و چندین بار شسته شده و سپس با استفاده از دستگاه ضدعفونی (بوسیله بخار آب) ضدعفونی شده بود، همه جعبه‌ها تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری پر شد و در هر جعبه (کرت) ۲۰ گیاهچه نشاکاری شد و سپس جعبه‌ها با محلول هوگلند که میزان فسفر محلول آن بر اساس میزان تعیین شده در تیمارها، بصورت ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد میزان کامل آن (به ترتیب ۰/۹۶۵، ۰/۴۸۲، ۰/۲۴۱ و ۰/۱۲ میلی‌مولار فسفر در محلول هوگلند بر اساس H₂PO-4) تهیه شده بود، هر ۲ روز یک بار تا آخر دوره رشد گیاهچه‌ها آبیاری گردید. سپس کلیه گلدان‌ها در محلی از گلخانه با شرایط یکسان دما (۲۲±۲) درجه سانتیگراد) و نور (در ۴۵ روز اول و قبل از غده‌زایی طول روز ۱۵ ساعت و ۴۵ روز دوم طول روز معمولی ۱۲ ساعت بود و نیاز نوری بیش از حالت معمولی با روشن نمودن لامپ‌های سدیمی با فشار بالا به صورت خودکار با زمان‌سنج مرکزی تامین شد) که به صورت خودکار تنظیم می‌گردید، قرار داده شدند. در طول مدت سه ماهه رشد گیاهچه‌ها، خصوصیات رشد شامل ارتفاع اندام هوایی و تعداد برگ در هر بوته، غلظت عناصر غذایی فسفر و نیتروژن در ماده خشک برگ در مرحله گلدهی که مصادف با شروع غده‌بندی است، بررسی شد. پس از تکمیل دوره رشد گیاه، نمونه‌برداری تخریبی جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد شامل تعداد ریزغده، وزن کل ریزغده در بوته و وزن ریزغده و غلظت عناصر غذایی فسفر و نیتروژن ریزغده انجام گرفت. اندازه‌گیری میزان فسفر گیاه، به روش هضم با خشک سوزانی و ترکیب با اسیدکلریدریک و اسید نیتریک، رنگ‌سنجی با دستگاه

میزان فسفر بالایی نیاز دارد (دیچاسا و همکاران ۲۰۰۳). فسفر یکی از محدود کننده‌ترین عناصر غذایی گیاهان است که به دلیل حلالیت پایین آن در خاک به خصوص مناطق خشک و نیمه خشک، که ناشی از اسیدیته بالای خاک در این مناطق می‌باشد، در خاک تثبیت شده و قابل جذب برای گیاهان به ویژه سیب‌زمینی نیست. تاثیر مثبت کاربرد فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی توسط قبادی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده است. همچنین اولین ژن ناقل فسفر ویژه قارچ میکوریزا (StPt3) در سیب‌زمینی نیز توسط راوش و همکاران (۲۰۰۱) شناسایی شده است، که نشان‌دهنده وجود رابطه همزیستی و کارآمد بین قارچ‌های میکوریزایی و سیب‌زمینی می‌باشد. بنابراین قارچ میکوریزا با توانایی ویژه‌ای که در جذب و انتقال فسفر در شرایط مختلف محیطی دارد، می‌تواند به عنوان یکی از موثرترین ابزارهای مدیریتی جهت رفع نیاز سیب‌زمینی به فسفر مطرح باشد. بنابراین با این فرض که رشد گیاه سیب‌زمینی به میزان قابل توجهی تحت تاثیر تلقیح با قارچ میکوریزای آربوسکولار قرار می‌گیرد، در این پژوهش، اثر تلقیح سیب‌زمینی با قارچ میکوریزا همراه با کاربرد سطوح مختلف فسفر بر شاخص‌های رشدی و تولید ریزغده و جذب عناصر غذایی گیاه سیب‌زمینی در محیط کشت گلخانه‌ای بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۳ در محل گلخانه تحقیقاتی ایستگاه اکباتان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل، در قالب کاملاً تصادفی، با دو عامل تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *Rhizophagus irregularis* (در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح) و میزان فسفر (در چهار سطح به ترتیب ۰/۹۶۵، ۰/۴۸۲، ۰/۲۴۱ و ۰/۱۲ میلی‌مولار فسفر، براساس H₂PO-4، در محلول هوگلند) با سه تکرار در محیط گلدانی اجرا گردید. در ابتدا ۴۸۰ گیاهچه تولید شده در محیط استاندارد

فسفر مورد نیاز را جبران نموده و سبب افزایش معنی‌دار استقرار گیاهچه‌های انتقال یافته از محیط درون شیشه به محیط گلدان شد. هر یک سانتی‌متر ریشه کلنیزه شده با قارچ مایکوریزا تقریباً، مرتبط با ۱۵ تا ۵۰ سانتی‌متر ریشه خارجی قارچ مایکوریزا می‌باشد که این شبکه گسترده ریشه می‌تواند نقش مهمی در بهبود رشد گیاه داشته باشد (هارلی ۱۹۸۹). بعد از انتقال گیاهچه‌ها به محیط گلدان، بافت ریشه‌ها آسیب دیده و جذب آب و عناصر غذایی به کندی صورت می‌گیرد و در پی آن احتمال از بین رفتن گیاهچه‌ها وجود دارد. با این وجود، تلقیح گیاهچه‌ها با قارچ مایکوریزا باعث تسریع در ترمیم گیاهچه‌ها و افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود. تنظیم-کننده‌های رشد گیاهی از عوامل ضروری در رشد و نمو گیاهان می‌باشند. آنها نقش مهمی در برهم‌کنش بین گیاه و ریزجاندان دارند. شناخت نقش‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا در ابتدای راه است. اما در معدود مطالعات مشخص شده، قارچ *Rhizophagus irregularis* تولید اکسین می‌کند. از اثرات اکسین می‌توان افزایش ریشه‌زایی و رشد ریشه را نام برد. این سازوکار نیز می‌تواند در استقرار گیاهچه‌های انتقال یافته از محیط درون شیشه، سهمیم باشد. این نتایج با نتایج برخی از پژوهشگران همخوانی دارد که گزارش کردند، تلقیح قارچ AM در دوره تولید ریزغده بر روی مقاومت نظام‌مند در برابر تنش‌های غیرزیستی سیب‌زمینی تاثیر مثبتی دارد (گالوا و همکاران ۲۰۱۱).

میزان فسفر در ریزغده و برگ: بیشترین میزان فسفر برگ و ریزغده در تیمار ۱۰۰ درصد فسفر محلول هوگلند و تلقیح بود که با تیمار تلقیح در سطح ۷۵ درصد فسفر محلول هوگلند تفاوت معنی‌داری نداشت؛ اما در تیمارهای عدم تلقیح بین سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد اختلاف معنی-داری وجود داشت. بین تیمار تلقیح در سطح ۵۰ درصد فسفر با تیمار عدم تلقیح در سطح ۱۰۰ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به این نتایج می‌توان

اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر (امامی ۱۹۹۶) انجام شد و برای تعیین میزان نیتروژن نیز از روش کجلدال (امامی ۱۹۹۶) استفاده شد. تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS انجام و از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال خطای پنج درصد برای مقایسه میانگین‌ها بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

برهم‌کنش فسفر و تلقیح با مایکوریزا بر درصد استقرار گیاهچه‌ها، میزان فسفر برگ، تعداد و وزن ریزغده در بوته در سطح ۵ درصد و میزان فسفر ریزغده و ارتفاع اندام‌های هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر اصلی تلقیح و فسفر بر میزان نیتروژن ریزغده و برگ و درصد ماده خشک ریزغده در سطح یک درصد و اثر اصلی تلقیح بر وزن ریزغده در سطح یک درصد معنی‌دار شد (داده‌ها نشان داده نشده است).

درصد استقرار گیاهچه در گلخانه: بین سطوح مختلف فسفر در تیمارهای تلقیح تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به طور کلی درصد استقرار گیاهچه در تمامی سطوح فسفر در تیمار تلقیح نسبت به سطوح مشابه فسفر در تیمارهای عدم تلقیح، تفاوت معنی‌داری داشت. به طور مثال درصد استقرار گیاهچه در تیمار مصرف ۲۵ درصد فسفر محلول غذایی هوگلند در شرایط تلقیح مایکوریزی نسبت به تیمار مصرف ۲۵ درصد فسفر محلول غذایی هوگلند در شرایط عدم تلقیح ۴۲ درصد افزایش یافت. در سه سطح دیگر فسفر نیز تفاوت معنی‌داری در شرایط تلقیح با شرایط عدم تلقیح وجود داشت. در تیمارهای عدم تلقیح، کاهش فسفر از سطح مطلوب خود، تاثیر منفی بر درصد استقرار گیاهچه‌های انتقالی داشت، به طوری که کمترین میزان استقرار گیاهچه‌ها در کمترین سطح فسفر به دست آمد و افزایش کاربرد فسفر از سطح ۲۵ تا ۱۰۰ درصد فسفر محلول غذایی هوگلند باعث افزایش ۳۰ درصدی استقرار گیاهچه در شرایط عدم تلقیح شد (جدول ۱). در این تحقیق تلقیح گیاهچه‌های سیب‌زمینی با قارچ مایکوریزا از طریق سازوکارهای مختلف، کاهش

فسفر محلول هوگلند و عدم تلقیح تفاوت معنی‌داری نداشت. که نشان‌دهنده رابطه هم‌افزایی بین قارچ میکوریزا و فسفر است. در این پژوهش تعداد ریزغده در تیمار ۱۰۰ درصد فسفر و تلقیح نسبت به تیمار ۲۵ درصد فسفر و عدم تلقیح، تقریباً افزایش ۳ برابری داشت (جدول ۱)، که این تاییدکننده نقش فسفر و قارچ میکوریزا در بهبود اجزای عملکرد سیب‌زمینی به خصوص تعداد غده در بوته است. این نتایج با نتایج قبادی و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد که گزارش کردند کاربرد فسفر باعث افزایش تعداد غده در بوته سیب‌زمینی می‌شود. وساتکا و گریندلر (۱۹۹۹) گزارش کردند که تلقیح سیب زمینی با *G. fistulosum* با تحریک غده‌زایی و تجمع زیست‌توده در غده همراه بوده و سبب افزایش عملکرد غده گردید. افزایش سنتز سیتوکینین در گیاهان میکوریزایی گزارش شده است (لودویگ-مولر ۲۰۱۰)، همچنین نقش سیتوکینین در تحریک غده‌زایی نیز توسط اوینگ (۱۹۹۷) اثبات شده است که می‌تواند نشان‌دهنده نقش قارچ میکوریزا در تحریک غده‌زایی از طریق تاثیر احتمالی بر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی باشد.

وزن ریزغده در بوته: در تیمارهای تلقیح بین سطوح ۷۵ و ۱۰۰ و ۲۵ با ۵۰ درصد فسفر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد؛ اما بین سطوح ۷۵ و ۱۰۰ و ۲۵ با ۵۰ درصد فسفر در تیمار عدم تلقیح، تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در این تحقیق عدم تامین فسفر مورد نیاز گیاه، احتمالاً باعث تحریک کلونیزاسیون ریشه و برقراری رابطه همزیستی شده که در پی آن گیاه از فواید این رابطه همزیستی بهره‌مند شده است. به همین دلیل افزایش وزن غده ناشی از تلقیح در سطوح پایین فسفر نسبت به سطوح بالا مشهودتر می‌باشد. به طور مثال در سطح فسفر ۱۰۰ درصد، تلقیح باعث افزایش ۷۰ درصد وزن غده نسبت به تیمار عدم تلقیح شده، اما در سطح ۲۵ درصد تلقیح باعث افزایش حدود دو برابری وزن ریزغده در بوته نسبت به تیمار عدم تلقیح شده است (جدول ۱). گیاهان به میزان زیادی فسفر نیاز دارند اما سطح فسفر در ریزوسفر پایین‌تر از $10 \mu\text{M}$ است (ریچاردسون ۲۰۰۹). علاوه بر

اظهار نمود که استفاده از قارچ میکوریزا می‌تواند کاهش ۵۰ درصدی مصرف فسفر را جبران نماید (جدول ۱). در همین رابطه ساریخانی و علی‌اصغرزاد (۲۰۱۲) با انجام یک پژوهش گلخانه‌ای گزارش کردند که تلقیح میکوریزایی می‌تواند حداقل ۲۰ درصد از نیاز پتاسیم سیب‌زمینی را تامین و مصرف کود را کاهش دهد. مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین نقش قارچ میکوریزا جذب فسفر به خصوص در شرایط کمبود فسفر می‌باشد. در این پژوهش نیز تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا جذب فسفر را در تمامی سطوح فسفر نسبت به سطوح مشابه بدون تلقیح به خصوص در سطوح پایین، به طور معنی‌داری افزایش داد. به طور مثال میزان فسفر برگ در تیمار تلقیح در سطح ۵۰ درصد فسفر محلول هوگلند نسبت به تیمار ۵۰ درصد فسفر محلول هوگلند و عدم تلقیح، ۵۶ درصد افزایش داشته، که نشان‌دهنده نقش هم‌افزایی قارچ میکوریزا در جذب فسفر گیاه می‌باشد (جدول ۱). گزارش شده است که در شرایط کمبود عناصر غذایی، تیمار تلقیح با قارچ AM، باعث افزایش جذب عناصر غذایی (مانند فسفر، منیزیم و نیتروژن) و در پی آن افزایش غلظت عناصر در بافت‌های گیاه نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) می‌شود (مک‌آرتور و ناولز ۲۰۰۳). رشد گیاهان میکوریزایی و مقدار جذب فسفر در آنها در مقایسه با شاهد غیرمیکوریزایی بهبود می‌یابد. این یک مشاهده عمومی است که در مطالعات گلخانه‌ای، به خصوص زمانی که گیاهان در محیط با قابلیت دسترسی پایین عناصر غذایی رشد می‌کنند، دیده می‌شود. نتایج زیادی توسط پژوهشگران دیگ گزارش شده است که تاییدکننده نقش قارچ‌های AM در جذب عناصر غذایی برای میزبان است (گالوا و همکاران ۲۰۱۱، غلامحسینی و همکاران ۲۰۱۳، حیدری و کرمی ۲۰۱۴).

تعداد ریز غده در بوته: بیشترین تعداد ریزغده در تیمار تلقیح، در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد فسفر مشاهده شد. در تیمارهای عدم تلقیح کاهش فسفر باعث کاهش معنی‌دار تعداد ریزغده شد. تعداد ریزغده در سطح ۵۰ درصد فسفر محلول هوگلند در تیمار تلقیح با سطح ۱۰۰ درصد

می‌شود و تفاوت آن با تیمار عدم تلقیح معنی‌دار می‌باشد (اورتاس ۲۰۱۱). در همین تحقیق مشخص شد گیاهان به تامین فسفر از طریق قارچ وابسته هستند. پژوهشگران گزارش کردند گیاهانی که تحت تنش کمبود فسفر قرار می‌گیرند، استریگولاکتون^۱ را ترشح می‌کنند، که باعث شکستن خواب اسپوره‌های قارچ مایکوریزا، جوانه‌زنی آن و طویل شدن ریشه‌های قارچ شده و ریشه به سمت محل ترشح مواد (ریشه) رشد کرده و به داخل ریشه نفوذ می‌کند و جریان عناصر غذایی به سمت گیاه و کربوهیدرات به سمت قارچ برقرار می‌شود (روچانگ ۲۰۱۰). بررسی‌ها نشان داده است که تلقیح قارچ AM در یک کشت گلخانه‌ای، سبب افزایش معنی‌دار وزن تک غده و وزن کل غده نسبت به تیمار عدم تلقیح می‌گردد، که این افزایش در نتیجه افزایش تخصیص شیره‌پرورده به غده (وساتکاند و گیرندلر ۱۹۹۹) می‌باشد. کاربرد روش‌های تامین تلفیقی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به صورت شیمیایی (محلول هوگلند) و زیستی (قارچ مایکوریزا) باعث توازن بین مخزن (تعداد و وزن ریزغده) و منبع (فتوسنتز) می‌شود. بدین ترتیب که فسفر باعث افزایش ظرفیت مخزن گردیده و تامین سایر عناصر غذایی از طریق مدیریت تلفیقی تغذیه، باعث افزایش قدرت منبع (افزایش آسیمیلاسیون) می‌شود (فرزانا و رادیزاه ۲۰۰۵).

این، انتشار فسفر در محیط ریشه سرعت کمی دارد و نهایتاً، منطقه تهی شده فسفر اطراف ریشه سریعاً گسترش می‌یابد. در همزیستی AM، حجم زیادی از محیط اطراف ریشه، توسط ریشه‌های خارجی قارچ مورد کاوش قرار می‌گیرد، و مزایای غذایی ذکر شده از طریق انتقال فسفر به شیوه همزیستی می‌تواند، قابل ملاحظه باشد (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۳). اثرات مثبت قارچ AM در گیاه سیب‌زمینی در نتایج مطالعات متعددی گزارش شده است (یائو و همکاران ۲۰۰۳، رایان و همکاران ۲۰۰۳، ساریخانی و علی‌اصغرزاد ۲۰۱۲). تعدادی از مطالعات نشان می‌دهد که تلقیح قارچ AM در مزرعه باعث افزایش رشد و غده‌دهی سیب‌زمینی می‌شود (مک آرتور و ناولز ۲۰۰۳، دودس و همکاران ۲۰۰۷، لارکین ۲۰۰۸). تلقیح گیاهان زراعی با قارچ مایکوریزا به سطح حاصلخیزی و به ویژه میزان فسفر خاک، که نقش مهمی در کلونیزاسیون و کارایی همزیستی دارد، وابسته می‌باشد. در خاک‌های دارای کمبود فسفر، گیاهان زراعی و باغی وابستگی بالایی به برقراری رابطه همزیستی برای تامین عناصر غذایی در شرایط گلخانه و مزرعه دارند. همچنین تلقیح گیاهان سیر، باقلای علوفه‌ای، سویا، نخود، خربزه، هندوانه، خیار، نرت، پنبه، فلفل، بادمجان، گوجه فرنگی و خربزه با AM، باعث افزایش رشد و عملکرد

جدول ۱- مقایسه میانگین برهم‌کنش تلقیح مایکوریزایی و فسفر برای درصد استقرار گیاهچه، غلظت

فسفر برگ و ریزغده، ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد ریزغده و وزن ریزغده در بوته

تیمارها	استقرار گیاهچه (%)	میزان فسفر ریزغده (%)	میزان فسفر برگ (%)	تعداد ریزغده در بوته	وزن ریزغده در بوته (گرم)
۲۵ درصد فسفر	۶۶/۶c	۰/۱۹d	۰/۱۶d	۳d	۱۶/۱d
۵۰ درصد فسفر	۷۰c	۰/۲۱d	۰/۲d	۴/۲cd	۲۳/۵c
۷۵ درصد فسفر	۸۰b	۰/۲۴۱c	۰/۲۵۱c	۴/۹c	۲۵/۷c
۱۰۰ درصد فسفر	۸۶/۶b	۰/۳۱b	۰/۳۳۱ab	۷/۶b	۳۲/۹b
۲۵ درصد فسفر	۹۵a	۰/۲۴۶c	۰/۲۶۳c	۵/۱c	۳۱/۹b
۵۰ درصد فسفر	۹۵a	۰/۳۱۵b	۰/۳۱۲b	۷/۴bc	۳۶/۸b
۷۵ درصد فسفر	۹۸/۳a	۰/۳۸a	۰/۳۶۳a	۸/۹a	۵۲/۶a
۱۰۰ درصد فسفر	۹۸/۳a	۰/۳۹۳a	۰/۳۶۱a	۸/۹a	۵۶/۱a

^۱- Strigolactones

اعداد با حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

میزان نیتروژن برگ و ریزغده: بیشترین میزان

نیتروژن برگ و ریزغده در تیمار ۱۰۰ درصد فسفر محلول هوگلند به دست آمد، که با تیمار تلقیح در سطح ۷۵ درصد فسفر محلول هوگلند تفاوت معنی‌داری نداشت. تلقیح مایکوریزا نیز باعث افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن برگ (۲۷ درصد) و ریزغده (۱۰ درصد) نسبت به تیمار عدم تلقیح شد (جدول ۲). از طریق روش‌های آزمایشی مختلف، جذب، انتقال و تحویل فسفر و نیتروژن به گیاه میزبان در ترکیب‌های گوناگون قارچ AM-گیاه، تحت شرایط مختلف اثبات شده است (وانگ و همکاران ۲۰۰۲). نیتروژن توسط ریشه‌های خارجی AM می‌تواند به صورت NH_4 یا NO_3 جذب شود (سوبرامانیان و چاریست ۱۹۹۹)، اما به شکل اسید آمینه نیز جذب می‌شود (هاوکینس و همکاران ۲۰۰۰). بنابراین، احتمالاً قارچ‌های AM با اسیدی کردن فیزیولوژیکی ریزوسفر در واکنش به جذب NH_4 در متحرک ساختن P حتی تحت شرایطی که NH_4 شکل غالب N در ریزوسفر نیست، سهمیم هستند (نیومان و ایخارد ۲۰۱۰). به نظر می‌رسد آرژینین تشکیل‌دهنده شکل اصلی N است که از طریق ریشه به گیاه منتقل می‌شود، ریشه خارجی AM افزایش قابل توجه ساخت این اسید آمینه را زمانی که با نیتروژن معدنی تغذیه می‌شود، نشان می‌دهد. در میسیلیوم داخلی آرژیناز و اوره به آرژینین شکسته می‌شود و یون NH_4 به گیاه منتقل می‌شود (گوینداراجولو و همکاران ۲۰۰۵). معمولاً عناصر غذایی در خاک توزیع یکنواختی ندارد و امکان دارد قابلیت دسترسی عناصر غذایی به صورت قابل توجهی در ناحیه ریشه‌دهی گیاه متفاوت باشند (هودگ ۲۰۰۹). قارچ‌های همزیست AM ممکن است به گیاه میزبان خود در بهره‌برداری از توزیع غیریکنواخت منابع غذایی هم از طریق بهره‌برداری از تکه‌های غنی از عناصر غذایی، یا از طریق جبران کاهش تکثیر ریشه و هم چنین ظرفیت جذب عناصر غذایی خارج

از تکه‌های تخلیه شده، کمک کنند (نیومان و ایخارد ۲۰۱۰). فسفر از طریق افزایش فتوسنتز باعث افزایش میزان رشد و تجمع زیست‌توده در گیاه شده که در پی آن رشد ریشه نیز افزایش پیدا می‌کند که باعث افزایش جذب نیتروژن می‌شود.

درصد ماده خشک ریزغده: تلقیح مایکوریزایی باعث افزایش معنی‌دار درصد ماده خشک ریزغده شد. تلقیح مایکوریزایی باعث افزایش ۱۰ درصد ماده خشک نسبت به عدم تلقیح مایکوریزایی شد و کاربرد فسفر نیز باعث افزایش درصد ماده خشک ریزغده شد. بطوری‌که افزایش از سطح ۲۵ تا ۱۰۰ درصد فسفر محلول غذایی هوگلند باعث افزایش ۲۲ درصدی ماده خشک ریزغده شد (جدول ۲). ساریخانی و علی‌اصغرزاد (۲۰۱۲) گزارش کردند تلقیح مایکوریزایی باعث افزایش درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی از طریق بهبود جذب پتاسیم و انتقال کربوهیدرات از اندام هوایی به غده می‌شود. با توجه به اینکه فسفر عنصر ضروری برای متابولیسم گیاهی به ویژه متابولیسم کربوهیدرات است، تامین فسفر مورد نیاز باعث افزایش ذخیره کربوهیدرات ریزغده می‌شود. چون در غده و ریزغده سیب‌زمینی کربوهیدرات غالباً به صورت نشاسته است، این امر باعث افزایش ماده خشک ریزغده می‌شود. در تحقیق صورت گرفته توسط اکیلوف (۲۰۰۷) و قبادی و همکاران (۲۰۱۲) همبستگی مثبت بالایی بین غلظت فسفر و ماده خشک غده سیب‌زمینی تایید شده است.

متوسط وزن ریزغده: بیشترین متوسط وزن ریزغده در تیمار تلقیح با قارچ مایکوریزا و کمترین میزان آن نیز در تیمار بدون تلقیح بود و سطوح مختلف فسفر بر وزن ریزغده اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). افزایش جذب عناصری هم‌چون روی (جانسا و همکاران ۲۰۰۳)، گوگرد (آلن و شاچار-هیل ۲۰۰۹)، آهن (کارپس و همکاران

مواد فتوسنتزی بیشتری به ریزغده منتقل و وزن آنها را افزایش می‌دهد. می‌توان بیان نمود که اثر فسفر به تنهایی عمدتاً بر تعداد ریزغده موثر بوده، بنابراین باعث افزایش وزن ریزغده‌ها نشده است.

(۱۹۹۸) و مس (لی و جورج ۲۰۰۵) از طریق مسیر AM تایید شده است. بنابراین به نظر می‌رسد قارچ مایکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی و در پی آن افزایش فتوسنتز و تجمع بیشتر زیست‌توده در برگ‌ها، نهایتاً

جدول ۲- مقایسه میانگین غلظت نیتروژن برگ و ریزغده، درصد ماده خشک و متوسط وزن ریزغده تحت تأثیر تلقیح با قارچ مایکوریزا و سطوح مختلف فسفر

تیمارها	میزان نیتروژن غده (%)	میزان نیتروژن برگ (%)	درصد ماده خشک ریزغده	متوسط وزن ریزغده (گرم)
تلقیح				
عدم تلقیح	۱/۴۳ ^b	۳/۶ ^b	۱۹ ^b	۴/۸ ^b
تلقیح مایکوریزایی	۱/۵۸ ^a	۴/۷ ^a	۲۱ ^a	۶ ^a
سطوح مختلف فسفر				
۲۵ درصد	۱/۳۱ ^b	۳/۵ ^b	۱۸ ^c	۴/۹ ^a
۵۰ درصد	۱/۴۴ ^b	۴ ^b	۱۹ ^{bc}	۵/۵ ^a
۷۵ درصد	۱/۶۱ ^a	۴/۳۸ ^a	۲۱ ^{ab}	۵/۶ ^a
۱۰۰ درصد	۱/۶۷ ^a	۴/۸۶ ^a	۲۲ ^a	۵/۷ ^a

اعداد با حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

سیب‌زمینی با قارچ مایکوریزا می‌تواند کمبود فسفر را تا حدی جبران نماید. استفاده از کودهای زیستی از جمله قارچ‌های مایکوریزا به عنوان مکمل روش‌های تامین معدنی و آلی عناصر غذایی می‌تواند یک راهبرد عملی و کاربردی در افزایش بهره‌وری در تولید محصولات زراعی از جمله سیب‌زمینی در تولید ریزغده در شرایط گلخانه باشد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج پژوهش حاضر، در تمامی صفات مورد بررسی تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش معنی‌دار صفات شد و بین تلقیح در سطوح ۱۰۰ و ۷۵ درصد محلول هوگلند تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما هر دو تیمار با تیمار ۱۰۰ درصد فسفر محلول هوگلند و عدم تلقیح در تمامی صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری داشت. می‌توان اظهار نمود که تلقیح گیاهچه

منابع مورد استفاده

- Allen JW and Shachar-Hill Y, 2009. Sulfur transfer through and arbuscular mycorrhiza. *Plant Physiology*, 149:549–560.
- Bharadwaj DP, Lundquist PO and Alstrom S, 2008. Arbuscular mycorrhizal fungal spore-associated bacteria affect mycorrhizal colonization, plant growth and potato pathogens. *Soil Biology & Biochemistry*, 40: 2494–2501.
- Brachmann A and Parniske M, 2006. The most important symbiosis on earth. *Public Library of Science Biology*, 4: 19–31.
- Caris C, Hordt W, Hawkins HJ, Romheld V and George E, 1998. Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. *Mycorrhiza*, 8:35–39.

- Dechassa N, Schenk MK, Claassen N and Steingrobe B, 2003. Phosphorus efficiency of cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. Capitata), carrot (*Daucus carota* L.) and potato (*Solanum tuberosum* L.) plant and soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 250: 215-224.
- Douds DD, Nagahashi G, Reider C and Drinkwater LE, 2007. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potato in a high P soil. *Biological Agriculture and Horticulture*, 25: 67-78.
- Ekelof J, 2007. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. Master project in the Horticultural Science Program, 2- 20. (30 ECTS).
- Emami, A. 1996. Methods of Plant Analysis (Vol. I). Publication No. 982, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization, Ministry of Agriculture, Tehran, Iran. (In Persian).
- Ewing, E.E. 1997. Potato. Pp. 295-340. In Wien, H.C (ed). The physiology of vegetable crop. CABI publishing.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. FAO Statistical Yearbook. Available in: <http://www.fao.org/statistics/en/>
- Farzana Y and Radizah O, 2005. Influence of Rhizobacterial inoculation on growth of the sweet potato cultivar. *On line Journal of Biological Sciences*, 1(3): 176-179.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. Statistical pocketbook. World food and Agriculture. p 28.
- Galloua A, Mosquerab HPL, Cranenbroucke S, Suarezb JP and Declerck S, 2011. Mycorrhiza induced resistance in potato plantlets challenged by *Phytophthora infestans*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 76: 20-26.
- Ghobadi M, jahanbin S, Oliaii H, Motalebifard H and Parvizi K, 2014. Effect of Phosphorus Biofertilizers on yield and yield components of potato. *Sustainable Agriculture and Production Science*, 23(2): 125-138. (In Persian).
- Ghobadi M, jahanbin S, Oliaii H, Motalebifard H and Parvizi K, 2012. Effect of Phosphorus Biofertilizers on yield and Phosphorus Uptake in potato. *Water and Soil Science*, 21(2): 117-130.
- Gholamhosini M, Ghalavand A, Dolatabadian A, Jamshidi E and Khodaei-Joghnd A, 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management*, 117: 106– 114.
- Govindarajulu M, Pfeffer P, Jin H, Abubaker J, Douds DD, Allen JW, Bucking H, Lammers PJ and Shacharhill Y, 2005. Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Nature*, 435:819–823.
- Harley JL, 1989. The significance of mycorrhiza. *Mycological Research*, 92, 129–139.
- Hawkins JH, Johansen A and George E, 2000. Uptake and transport of organic and inorganic nitrogen by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil*, 226:275–285.
- Heidari M and Karami V, 2014. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress *Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13:9-13.
- Hodge A, 2009. Root decisions. *Plant Cell Environ*, 32:628–640.
- Jansa J, Mozafar A and Frossard E, 2003. Long-distance transport of P and Zn through the hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus in symbiosis with maize. *Agronomic*, 23:481–488.
- Larkin RP, 2008. Relative effects of biological amendments and crop rotations on soil microbial communities and soilborne diseases of potato. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 1341-1351.
- Lee YJ and George E, 2005. Contribution of mycorrhizal hyphae to the uptake of metal cations by cucumber plants at two levels of phosphorus supply. *Plant Soil*, 278:361–370.
- Ludwig-Muller J, 2010. Hormonal responses in host plants triggered by arbuscular mycorrhizal fungi. Pp.169-190. In: koltai H and kampilink Y (eds). *Arbuscular mycorrhizas physiology and function*.

- McArthur DA and Knowles NR, 2003. Influence of species of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus nutrition on growth, development, and mineral nutrition of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Physiology*, 102:771-782.
- Munoz F, Mylavarapu RS and Hutchinson CM, 2005. Environmentally responsible potato production systems: a review. *Journal Plant Nutrition*. 28(8): 1287–1309
- Neumann E and Eckhard G, 2010. Nutrient Uptake: The Arbuscular Mycorrhiza Fungal symbiosis as a Plant Nutrient Acquisition Strategy. Pp. 137-167. In: koltai H and kampulink Y (eds) *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*.
- Ortas I and Akpinar C, 2011. Response of maize genotypes to several mycorrhizal inoculums in terms of plant growth, nutrient uptake and spore production. *Journal of Plant Nutrition*, 34: 970–987.
- Rausch C, Daram P, Brunner S, Jansa J, Laloi M, Leggewie G, Amrhein N and Bucher M, 2001. A phosphate transporter expressed in arbuscule-containing cells in potato. *Nature*, 414: 462-466.
- Richardson AE, 2009. Regulating the phosphorus nutrition of plants: molecular biology meeting agronomic needs. *Plant Soil*, 322:17–24.
- Rochange S, 2010. Strigolactones and Their Role in Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. pp. 73-90. In: koltai H and kampulink Y (eds) *Arbuscular mycorrhizas physiology and function*.
- Ryan NA, Deliopoulos T, Jones P and Haydock PPJ, 2003. Effects of a mixed-isolate mycorrhizal inoculum on the potato- potato cyst nematode interaction. *Annals of Applied Biology*, 143: 111-119.
- Sarikhani MR and Aliasgharzad N, 2012. Comparative effects of two arbuscular mycorrhizal fungi and K fertilizer on tuber starch and potassium uptake by potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 2(3):125-134.
- Smith SE, Smith FA and Jakobsen I, 2003. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. *Plant Physiology*, 133:16–20.
- Smith SE and Read DJ, 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, Cambridge, UK.
- Subramanian KS and Charest C, 1999. Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought-stressed and well-watered conditions. *Mycorrhiza*, 9:69–75.
- Vosatka M and Gryndler M, 1999. Treatment with culture fractions from *Pseudomonas putida* modifies the development of *Glomus fistulosum* mycorrhiza and the response of potato and maize plants to inoculation. *Applied Soil Ecology*, 11: 245-251.
- Wang B, Funakoshi DM, Dalpe Y and Hamel C, 2002. Phosphorus-32 absorption and translocation to host plants by arbuscular mycorrhizal fungi at low root-zone temperature. *Mycorrhiza*, 12:93–96.
- Yao MK, Desilets H, Charles MT, Boulangerand R and Tweddell RJ, 2003. Effect of mycorrhization on the accumulation of rishitin and solavetivone in potato plantlets challenged with *Rhizoctonia solani*. *Mycorrhiza*, 13: 333-336.