نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳، ص. ۵۲۳-۵۱۷
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 28, No. 4, Winter 2015, P. 517-523
ISSN: 2008 - 4730

تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر عملکرد دو رقم سیب‌زمینی در شرایط کنترل شده

سعید خانی نژاد[1*]- حمیدرضا خزاعی[2]- جعفر نباتی[3]- محمد کافی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰

چکیده

سیب زمینی یکی از پر تولیدترین محصولات کشاورزی و از منابع غذایی با ارزش در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. قارچ‌های میکوریزا نیز همزیست با ریشه اغلب گیاهان زراعی بوده و سبب بهبود در رشد و عملکرد آن‌ها می‌شوند. در این راستا مطالعه‌ای به منظور بررسی تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر عملکرد ارقام سیب‌زمینی انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار (هفت گونه قارچ میکوریزا (*G. mosseae*، *G. intraradices*، *G. fasciculatum*، *G. versiform*، *G. claroideum*، *G. caledonium*، *A. longula*) و تیمار شاهد) و دو رقم سیب‌زمینی آگریا و فونتانه در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد از نظر تعداد غده و مقدار فسفر اندام هوایی بین دو رقم آگریا و فونتانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و وزن کل غده‌ها در رقم فونتانه بیش‌تر از آگریا بود. تیمار شاهد و قارچ‌های *A. longula* به ترتیب کم‌ترین (۲۲ و ۲۱ گرم) و گونه‌های *G.intraradices*، *G. mosseae* و *G. versiform* به ترتیب بیش‌ترین (۶۰، ۵۴ و ۵۱ گرم) وزن غده را داشتند. قارچ *G. mosseae* در هر دو رقم آگریا و فونتانه تولید غده بالاتری (سه غده) داشت. متوسط وزن غده نیز در سیب‌زمینی‌های تیمار شده با گونه *G. versiform* بیش‌تر از سایر تیمارها بود. گیاه میکوریزا توانایی جذب فسفر بالاتری را نسبت به گیاه غیر میکوریزا نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آگریا، فونتانه، میکوریزا

مقدمه

در مقیاس جهانی، سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) یکی از مواد غذایی با ارزش محسوب شده و از جمله مهم‌ترین محصولاتی است که قسمت عمده‌ای از نیازهای غذایی بشر را تأمین می‌کند (۱۰). این محصول دارای مقادیر فراوانی از انرژی و ویتامین‌های C، B_3 و B_6 بوده و مقدار قابل توجهی از این ماده گیاهی برای تولید طیف گسترده‌ای از مواد مورد نیاز مصرف‌کنندگان مانند سیب‌زمینی سرخ شده و چیپس فرآوری می‌گردد (۱۵).

در طول ۵۰ سال گذشته تولید و مصرف سیب زمینی نسبت به گذشته دارای ثبات و یکنواختی بیش‌تری بوده است و پیش‌بینی شده است که تقاضا برای مصرف این گیاه تا سال ۲۰۲۰ در مقایسه با گیاهانی مانند برنج، گندم و یا ذرت افزایش یابد (۱۱). هم‌چنین این محصول در رژیم غذایی مردم کشورهای توسعه یافته دارای جایگاه ثابت‌تری نسبت به کشورهای در حال توسعه است (۱۱). در حال حاضر این گیاه در بیش از ۱۵۰ کشور و در مساحتی در حدود ۱۸/۶ میلیون هکتار کشت می‌گردد و تولید سالانه این محصول به بیش از ۳۲۴ میلیون تن رسیده است (۱۱). ایران سومین تولیدکننده این محصول در آسیا بوده و متوسط میزان عملکرد آن در کشور ۲۷۷۱۲ کیلوگرم در هکتار است (۱۱). کیفیت خاک علاوه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، ارتباط بسیار نزدیکی نیز با خصوصیات بیولوژیکی آن دارد (۹). یک سیستم ریشه‌ای فعال، ترکیبات آلی را به طور منظم به محیط ریشه گیاه آزاد کرده و این ترکیبات سبب رشد و افزایش جامعه میکروبی خاک می‌شود. اهمیت جوامع میکروبی به دلیل نقش مهم آن‌ها در فرآیندهای خاک است (۳۲). قارچ‌های میکوریز جزء اصلی فلور محیط ریشه گیاهان می‌باشند که رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی و بیش‌تر نهاندانگان دارند (۲۹). روابط همزیستی میکوریزایی نقش اصلی در تجزیه مواد آلی خاک، معدنی شدن عناصر غذایی گیاهان و چرخه عناصر غذایی ایفا می‌کند. اسیدیته خاک، میزان عناصر غذایی و اثر متقابل با سایر ریزموجودات، الگوی کلونیزاسیون این قارچ را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۴). قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش جذب آب، افزایش تحمل گیاه به خشکی، دمای زیاد، افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا و حتی اسیدیته بالای خاک می‌شود (۶). دافی و کاسل (۸) با بررسی چند سرده مختلف قارچ میکوریزا

۱، ۲ و ۴- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی و استادان گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: Skhaninejad@yahoo.com
۳- دکتری زراعت شرکت فناوران بذر یکتا

روی مینی تیوب‌های سیب زمینی اعلام کردند که قارچ *G. intraradices* گلدهی را به تأخیر انداخت و میزان گلدهی را نیز ۱۴ درصد کاهش داد هم‌چنین آن‌ها اظهار داشتند که میانگین تعداد مینی‌تیوبرهای تولید شده به وسیله این قارچ ۳/۸ بود. هم‌چنین در آزمایش دیگری دو گونه قارچ *G. intraradices* و *G.etunicatum* بر روی سیب زمینی مطالعه شدند و نتایج نشان داد که *G. etunicatum* سبب افزایش وزن تر ساقه، وزن خشک ریشه و تعداد غده‌های تولیدی شد در حالی‌که *G. intraradices* تنها تعداد غده‌ها را افزایش داد. *G. etunicatum* و *G. intraradices* به ترتیب سبب افزایش ۱۴۰ و ۷۶ درصدی وزن ریشه در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزا شدند (۳۵).

قارچ‌های میکوریزا از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان در سیستم‌های کشاورزی می‌شوند (۲۶). از مهم‌ترین عناصری که توسط قارچ‌های میکوریز به طور فعال و در سطح وسیع جذب می‌شود، فسفر است (۱۳). افزایش جذب فسفر به وسیله افزایش سطح جذب ریشه‌ها (۲۸)، افزایش جذب رطوبت در خاک به وسیله هیف‌های قارچی (۷) تسهیل انتقال فسفر از خاک به ریشه گیاهان (۱۲) و محلول ساختن فسفر به وسیله فسفاتاز (۳۱) صورت می‌گیرد. یافته‌های گوپتا و همکاران (۱۴) مشخص کرد که همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه نعناع از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی موجب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیش‌تر و بهبود عملکرد بیولوژیک گردید. بنابراین، قارچ‌های میکوریزا دارای کارکردهای چند منظوره‌ای هستند به طوری‌که بالقوه سبب بهبود کیفیت فیزیکی خاک از طریق گسترش ریسه‌های قارچ، کیفیت شیمیایی خاک از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و کیفیت بیولوژیکی خاک از طریق شبکه غذایی خاک می‌گردند (۴).

با توجه به اهمیت محصول سیب زمینی در کشور و تأثیرات مثبت قارچ‌های میکوریزا بر خصوصیات خاک و تأثیر متقابل آن بر رشد گیاهان و افزایش تولید و بیوماس و همچنین صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی و تولید محصول سالم‌تر سیب‌زمینی و از طرفی تنوع در گونهٔ این جنس، این آزمایش با هدف مطالعه گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزا بر میزان تولید و عملکرد دو رقم سیب‌زمینی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۳۹۱ به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل دو رقم سیب‌زمینی آگریا و فونتانه و هفت گونه قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*، *Glomus intraradices*، *Glomus fasciculatum*، *Glomus versiform*، *Glomus claroideum*، *Glomus caledonium*، *Acaulospora longula*) و تیمار شاهد (بدون مصرف قارچ‌های میکوریزا) بودند. قارچ‌ها از مجاورت ریشه گیاه ذرت طی دوره رویشی چهار ماهه تهیه شدند. گیاهچه‌های استفاده شده حاصل کشت مریستم بوده که در محیط MS (۱۹) کشت شده و عاری از ویروس بودند. کاشت سیب‌زمینی در گلدان‌های ۱۰ لیتری و در بستر پرلیت-کوکوپیت- شن به نسبت وزنی (۱-۱-۱) انجام شد. در هر گلدان دو گیاهچه کشت شد بعد از استقرار کامل گیاه در خاک فقط یک گیاهچه در گلدان حفظ گردید. تیمار قارچ به همراه کاشت و به میزان ۱۰۰ گرم مخلوطی از ماده تلقیح شامل قطعات ریشه میکوریزی ذرت، خاک و اندام فعال قارچی (اسپور و هیف) که به صورت تجاری تهیه شده بود در نزدیکی محیط ریشه اعمال شد. در طی مراحل رشد، آبیاری به صورت منظم انجام گرفت و هر دو هفته یکبار گیاهان با محلول هوگلند یک دوم غلظت فسفر تغذیه شدند. شرایط محیطی رشد در گلخانه با طول دوره ۱۳ ساعت روشنایی و ۱۱ ساعت تاریکی و دمای روز ۲±۳۰ و شب ۲±۲۶ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰ درصد بود. به منظور استقرار بهتر گیاهان خاکدهی در دو نوبت انجام شد و برای مبارزه با آفات و بیماری‌ها از سم کنفیدور (به نسبت ۰/۵ در هزار) و دیازینون (به نسبت ۱/۵ درهزار) و مبارزه با شته و مگس سفید از متاسیستوکس (به نسبت یک در هزار) و بیماری‌های قارچی از قارچکش مانکوزب استفاده شد. پس از ۷۰ روز گیاهان از سطح خاک برداشت شده و سطح برگ آن‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدلLI-COR) تعیین شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. برای تهیه عصاره گیاهی، اندام هوایی پس از قرار گرفتن در آون، با آسیاب برقی پودر گردید و ۳۰۰ میلی‌گرم از آن در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شده و ده میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک نرمال به آن افزوده شد. سپس نمونه‌ها در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه جوشانده و از کاغذ صافی عبور داده شدند و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسیدند. تعیین فسفر با استفاده از اسپکتروفوتومتر و به روش مورفی و رایلی (۲۰) انجام شد. ده روز پس از سربرداری، غده‌های داخل هر گلدان شمارش و جداگانه وزن شدند. با استفاده از کولیس طول و ضخامت هر غده اندازه‌گیری و تمامی داده‌ها توسط نرم افزار Minitab 16 آنالیز شد. مقایسه کلیه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

سطح برگ

نتایج نشان داد که رقم فونتانه با ۳۸ درصد افزایش نسبت به رقم آگریا، سطح برگی معادل ۶۱۷ سانتی‌متر مربع در بوته داشت که این

اختلاف معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بود. تیمار شاهد و گونه‌های *A. longula*، *G. mosseae* و *G.intraradice* نسبت به چهار گونه دیگر به طور معنی‌داری سطح برگ کم‌تری داشتند (جدول۱).

رقم فونتانه نسبت به آگریا پر برگ‌تر بوده ارتفاع کم‌تری داشت و شاخص سطح برگ بیش‌تری نیز تولید کرد (۲۲). قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی و افزایش محصول می‌شوند. این قارچ‌ها با برقراری همزیستی با ریشهٔ گیاهان، قادرند مواد غذایی و آب را از بافت خاک جذب نموده و آن را در اختیار گیاه قرار دهند (۱۸).

اثر متقابل قارچ و رقم بر سطح برگ سیب‌زمینی نشان داد که سطح برگ رقم فونتانه در تمامی تیمارهای قارچ از آگریا بیش‌تر بود (جدول ۱). بیش‌ترین سطح برگ رقم آگریا در قارچ *G. versiform* و رقم فونتانه در گونه *G. claroideum* به دست آمد. تیمار شاهد نیز در هر دو رقم کم‌ترین میزان سطح برگ را داشت (جدول ۲). بایرامی و همکاران، (۲) با بررسی دو گونه قارچ *G. mosseae* و *G.intraradices* روی سیب‌زمینی گزارش کردند که در مقایسه با تیمار بدون قارچ همزیست، گیاهانی که با قارچ *G. mosseae* تیمار شده بودند با ۵۵ درصد و تیمارهای *G. intraradices* با ۱۰۵ درصد افزایش به ترتیب به شاخص سطح برگ پنج و سه و نیم رسیدند. مک آرتور و نولس (۱۷) نتایج مشابهی را از تأثیر قارچ میکوریزا بر افزایش سطح برگ سیب‌زمینی گزارش کردند آن‌ها اظهار کردند که گونه *G. fasciculatum* سبب افزایش ۶۰ درصدی سطح برگ در سیب‌زمینی شد.

وزن خشک اندام هوایی

تغییرات وزن خشک اندام هوایی بوته‌های سیب‌زمینی مشابه سطح برگ بود. وزن خشک رقم فونتانه نسبت به آگریا ۳۸ درصد بیش‌تر بود که اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) با هم داشتند.

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده دو رقم سیب‌زمینی تحت تأثیر قارچ‌های مختلف میکوریزا

صفت‌ها	ارقام سیب‌زمینی		شاهد	قارچ‌های میکوریزا					
	آگریا	فونتانه		*G. mosseae*	*G. Intraradices*	*G. fasciculatum*	*G. versiform*	*G. claroideum*	*G. Caledonium*	*A. longula*
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	۴۴۱b	۶۱۷a	۴۱۱d	۴۵۱cd	۴۶۹bcd	۵۲۴ab	۵۰۶abc	۵۴۶a	۵۳۶a	۴۳۹d
وزن خشک اندام هوایی (میلی گرم)	۲۳۰۰b	۳۲۰۰a	۲۱۰۰d	۲۶۰۰bc	۲۷۰۰bc	۳۲۰۰a	۲۸۰۰ab	۲۹۰۰ab	۲۵۰۰bcd	۲۳۰۰cd
میانگین تعداد غده	۲/۱a	۲/۲a	۱/۸bcd	۳/۰a	۲/۸ab	۲/۲abcd	۱/۷cd	۲/۰abcd	۲/۷abc	۱/۵d
عملکرد تک بوته (گرم)	۳۷b	۴۶a	۲۲e	۵۴ab	۶۰a	۴۸bc	۵۱ab	۳۶cd	۲۹de	۲۱e
متوسط وزن تک غده (گرم)	۱۷/۶b	۲۰/۹a	۱۲/۲cd	۱۸/۰bc	۲۱/۴b	۲۱/۸b	۳۰/۰a	۱۸/۰bc	۱۰/۷d	۱۴/۰cd
طول غده (میلی‌متر)	۳۶a	۳۹a	۲۸e	۳۷bc	۳۵cd	۴۵a	۴۰b	۳۹bc	۳۳d	۲۲f
ضخامت غده (میلی‌متر)	۲۷a	۳۰a	۲۷b	۲۹ab	۲۹ab	۳۲a	۳۱ab	۳۰ab	۲۷b	۱۹c
محتوای فسفر (میلی‌گرم فسفر در گرم وزن خشک)	۲/۱۰a	۱/۹۸a	۱/۹۱c	۲/۰۶ab	۲/۰۲abc	۲/۰۹a	۱/۹۵bc	۱/۹۷abc	۲/۰۰abc	۱/۹۱c

در هر ردیف میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و قارچ بر سطح برگ (cm^2) دو رقم سیب‌زمینی

ارقام سیب‌زمینی	گونه‌های مختلف قارچ‌های مایکوریزا							
	شاهد	*G. mosseae*	*G. intraradices*	*G. fasciculatum*	*G. versiform*	*G. claroideum*	*G. caledonium*	*A. longula*
آگریا	۳۲۷h	۳۵۵gh	۳۶۹gh	۳۹۲efg	۴۴۷e	۴۳۴ef	۴۱۵efg	۳۸۱fgh
فونتانه	۵۹۱d	۶۴۸cd	۶۵۹bc	۷۲۵a	۶۶۴bc	۷۲۸a	۷۱۹ab	۶۱۲cd

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و قارچ بر وزن خشک اندام هوایی (گرم) دو رقم سیب زمینی

ارقام سیب‌زمینی	گونه‌های مختلف قارچ‌های مایکوریزایی							
تیمارها	شاهد	*G. mosseae*	*G. intraradices*	*G. fasciculatum*	*G. versiform*	*G. claroideum*	*G. caledonium*	*A. longula*
آگریا	۱/۸e	۱/۹e	۲/۰de	۲/۱cde	۱/۹e	۲/۳cde	۲/۲cde	۱/۸e
فونتانه	۲/۶cd	۳/۶b	۳/۶b	۴/۳a	۳/۶b	۳/۶b	۲/۸c	۲/۸c

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

در بین گونه‌های قارچ، تیمار شاهد و *A. longula* به ترتیب با ۲/۱ و۲/۳ گرم کم‌ترین و *G. fasciculatum* با ۳/۲ گرم بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی را دارا بودند (جدول ۳). ارتوس وهریس (۲۳) اظهار داشتند که استفاده از قارچ میکوریزی سرعت رشد گیاه سورگوم را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر داشته، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها، وزن خشک اندام‌های هوایی افزایش یافت.

اثر متقابل قارچ و رقم بر وزن خشک اندام هوایی دو رقم سیب زمینی نشان داد که همانند سطح برگ رقم فونتانه در تمامی تیمارها دارای وزن خشک بالاتری نسبت به رقم آگریا بود (جدول ۳). در رقم آگریا بین تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) وجود نداشت. گونه *G. fasciculatum* در رقم فونتانه و *G. claroideum* در رقم آگریا بالاترین وزن خشک اندام هوایی را داشتند (جدول۳). احتمالاً دلیل افزایش ماده خشک در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا، مکانیزم عمل این قارچ در جذب فسفر می‌باشد. ریسه‌های قارچ میکوریزا به دو دسته تقسیم می‌شوند، تعدادی ازآن‌ها وارد سیستم گیاه شده و سبب کاهش غلظت ABA و افزایش میزان سیتوکنین می‌شوند (۱۶). این عمل سبب افزایش جذب آب و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌گردد. دسته دوم از ریسه‌ها خارج از سیستم ریشه بوده، این ریسه‌ها از خود اسیدهای آلی محلول کننده فسفر نظیر اسید مالیک ترشح کرده که جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهند و باعث افزایش ماده خشک می‌گردند (۱۶). مک آرتور و نولس (۱۷) نیز با مطالعه قارچ *G. fasciculatum* روی سیب زمینی اظهار داشتند که این قارچ سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه و اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد قارچ می‌شود. افزایش وزن خشک اندام هوایی در سیب زمینی در اثر تیمار با قارچ میکوریزا گونه *G. intraradices* در مقایسه با تیمار شاهد در آزمایش یاو و همکاران (۳۵) نیز گزارش شده است.

تعداد غده در بوته

نتایج نشان داد که از نظر تعداد غده‌های تولید شده دو رقم آگریا و فونتانه تفاوت معنی‌داری (P≤۰/۰۵) با یکدیگر نداشتند (جدول۱). در بین گونه‌های مختلف قارچ، *G. mosseae* با میانگین سه غده در دو رقم، بالاترین تعداد را به خود اختصاص داد و در بین سایر تیمارها قارچ‌های *A. longula* ، *G. versiform* و تیمار شاهد کم‌ترین تعداد را دارا بودند که با سایر گونه‌های قارچ اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) داشتند (جدول ۱). دافی و کاسل (۸) با مطالعه گونه *G intraradices*. روی سیب‌زمینی بیان کردند که تعداد مینی تیوبرهای تولیدی در اثر تیمار با قارچ اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت اما وزن متوسط هر غده نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. رای همکاران (۲۵) نیز با بررسی تأثیر دو گونه قارچ *G. mosseae* و *G. fasciculatum* روی دو رقم سیب‌زمینی (Kufri Lalima و Kufri Sinduri) بیان کردند که این دو قارچ با گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه و جذب عناصر سبب افزایش تعداد غده‌های بازارپسند شدند. نتایج آزمایشی که در ترکیه و بر روی گوجه فرنگی انجام شد، نشان داد که قارچ *G. fasciculatum* بیشترین تأثیر را بر تعداد محصول تولیدی داشت و این قارچ سبب افزایش رشد و عملکرد میوه، جذب عناصر معدنی، و اندازه هر میوه در هر گیاه شد (۳۴). یاو و همکاران (۳۵) نیز در آزمایشات خود روی سیب زمینی اضهار داشتند که *G intraradices*. نسبت به *G. etunicatum* تأثیر بیشتری در افزایش تعداد غده‌ها داشت.

عملکرد تک بوته

نتایج نشان داد که رقم فونتانه از نظر وزن کل غده‌ها نسبت به رقم آگریا ۲۴ درصد تولید بالاتری داشت که این اختلاف معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بود (جدول ۱). در بین قارچ‌های میکوریزا نیز گونه‌های *G.intraradices*، *G. mosseae* و*G. versiform* به ترتیب با تولید ۶۰، ۵۴ و۵۱ گرم در بوته بالاترین میزان تولید غده را به خود اختصاص دادند و گونه *A. longula* و تیمار شاهد به ترتیب با ۲۱ و ۲۲ گرم پایین‌ترین مقدار عملکرد غده را داشتند (جدول ۱). یکی از مهم‌ترین آثار کاربرد قارچ‌های میکوریز افزایش عملکرد گیاهان زراعی، خصوصاً در خاک های با حاصلخیزی پایین است. این افزایش عملکرد به دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ میسلیوم قارچ در خاک و در نتیجه دسترسی گیاه زراعی به حجم بیش‌تری از خاک می‌باشد (۵).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و قارچ بر وزن غده تولیدی (گرم)

ارقام سیب‌زمینی	گونه‌های مختلف قارچ‌های مایکوریزایی							
تیمارها	شاهد	*G. mosseae*	*G. intraradices*	*G. fasciculatum*	*G. versiform*	*G. claroideum*	*G. caledonium*	*A. longula*
آگریا	۲۵de	۵۳ab	۵۲ab	۳۹bcd	۳۹bcd	۲۶de	۳۶cde	۱۹e
فونتانه	۲۹de	۵۱ab	۶۰a	۴۸abc	۶۲a	۴۸abc	۲۴de	۲۲de

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

اثر متقابل رقم و قارچ نشان داد که بالاترین وزن غده تولیدی با ۶۲ گرم در رقم فونتانه و قارچ *G. versiform* مشاهده شد. در حالی‌که در رقم آگریا بیش‌ترین وزن غده تولیدی با ۵۳ گرم مربوط به قارچ *G.intraradices* بود. قارچ *G. mosseae* در هر دو رقم سبب تولید بالای وزن غده شد اما اختلاف معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بین میزان تولید غده در قارچ *G. claroideum* در دو رقم سیب زمینی وجود داشت (جدول ۴). با توجه به وزن و تعداد غده‌های تولید شده به نظر می‌رسد در مقایسه با سایر قارچ‌ها گونه *G. versiform* سبب تولید تعداد غده‌های کم با وزن بالاتری شده است (جدول ۱). بایرامی و همکاران، (۲) گزارش کردند که میزان تولید غده‌های سیب‌زمینی کم‌تر از ۳۰ گرم، که مصرف خوراکی ندارند در تیمار قارچ‌های *G.intraradices* و *G. mosseae* نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد. آن‌ها بیان کردند که در بین قارچ‌ها گونه *G.intraradices* نسبت به *G. mosseae* غده‌های بازارپسند بیش‌تری نیز تولید کرد و میزان عملکرد نهایی غده با وجود افزایش اندکی در گونه *G.intraradices* نسبت به گونه *G. mosseae* اختلاف معنی‌داری نداشت اما نسبت به شاهد عملکرد تقریباً دو برابر افزایش یافت. نیمیرا و همکاران (۲۱) نیز نتایج مشابه ای را از قارچ میکوریزا بر سیب‌زمینی گزارش کردند آن‌ها بهبود عملکرد در سیب‌زمینی را تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر تغییرات مثبت هورمونی عنوان کردند.

متوسط وزن، طول و ضخامت غده

متوسط وزن هر غده در رقم فونتانه ۱۹ درصد بیش‌تر از رقم آگریا بود که از این نظر تفاوت معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) با هم داشتند. اما در بین قارچ‌ها *G. versiform* با میانگین ۳۰ گرم وزن در هر غده با سایر قارچ‌ها اختلاف معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) نشان داد و قارچ *G. caledonium* با ۱۰/۷ گرم وزن هر غده از این حیث کم‌ترین وزن را دارا بود (جدول۱). از نظر طول و ضخامت غده بین دو رقم با وجود افزایش اندک در رقم فونتانه، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما قارچ *G. fasciculatum* با ۴۵ میلی‌متر و *A. longula* با ۲۲ میلی‌متر از نظر طول غده بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را دارا بودند که با سایر تیمارها نیز اختلاف معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) داشتند در مورد ضخامت نیز قارچ *G. fasciculatum* بالاترین مقدار را داشت (جدول۱). ووساتکا و گرینـدلر (۳۳) با بررسی قارچ *Glomus fistulosum* روی سیب‌زمینی گزارش کردند که تأثیر این قارچ نسبت به تیمار شاهد در تعداد، میانگین وزن تر غده و وزن تر اندام هوایی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما وزن تر کل غده‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری یافت.

محتوای فسفر گیاه

بین دو رقم آگریا و فونتانه از نظر مقدار فسفر اندام هوایی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱) . در بین قارچ ها *G. fasciculatum* بالاترین مقدار فسفر بافت را دارا بود و با تیمار بدون مصرف قارچ و *A. longula* که کم‌ترین محتوای فسفر را در اندام هوایی خود داشتند، اختلاف معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) داشت. اثر متقابل رقم و قارچ نیز نشان داد که در هر دو رقم آگریا و فونتانه، قارچ‌های *G. fasciculatum*، *G. intradices* و *G. mosseae* بالاترین میزان فسفر را در اندام هوایی خود نسبت به تیمارهای دیگر داشتند. با توجه به اینکه این سیب‌زمینی‌های تیمار شده با قارچ‌ها عملکرد بالاتری نیز نسبت به شاهد دارا بودند ممکن است جذب بیش‌تر فسفر توسط این گونه ها سبب افزایش تولید شده باشد.

سابرامانیان و چارست (۲۸) قارچ *G. intradices* را در شرایط تنش خشکی و غیر تنشی روی گیاه ذرت مطالعه کردند و گزارش نمودند که صرف نظر از سطح رطوبت خاک، قارچ میکوریزا فسفر گیاه را به طور معنی‌داری افزایش داد. در شرایط بدون تنش غلظت فسفر گیاهان میکوریزا و غیر میکوریزا به ترتیب ۲/۳ و ۲برابر بیش‌تر از گیاهان در شرایط تنش بود.

میکوریزا با افزایش سرعت جذب عناصر کم تحرک مقدار عنصر جذب شده در واحد طول ریشه و در واحد زمان، قادر است تغذیه گیاه میزبان را در شرایط کمبود عناصر غذایی خاک بهبود بخشد (۲۷). افزایش سرعت جذب فسفر توسط گیاه میزبان به دلیل حضور انشعابات فراوان هیف‌های داخلی میکوریز درداخل سلول‌های پوست ریشه گیاه است که سطح وسیعی را برای انتقال عناصر غذایی به خصوص فسفر به گیاه میزبان فراهم می‌نماید (۱).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و قارچ بر مقدار فسفر اندام هوایی سیب‌زمینی (میلی‌گرم بر گرم)

ارقام سیب‌زمینی	گونه‌های مختلف قارچ‌های مایکوریزایی							
	شاهد	*G. mosseae*	*G. intraradices*	*G. fasciculatum*	*G. versiform*	*G. claroideum*	*G. caledonium*	*A. longula*
آگریا	۱/۷۹f	۲/۰۹abc	۲/۰۲abcde	۲/۰۷abcd	۲/۰۱abcd	۱/۹۷bcdef	۱/۸۸def	۱/۸۳ef
فونتانه	۱/۹۱cdef	۲/۱۵ab	۲/۱۳ab	۲/۲۱a	۲/۰۵abcde	۱/۹۸bcdef	۱/۹۷bcdef	۱/۹۴cdef

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

بولان (۳) نیز گزارش کرد که که سرعت جریان فسفر به درون گیاه میکوریزایی سه الی شش مرتبه بیش‌تر از گیاهان غیر میکوریزایی است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، متوسط وزن غده‌ها و عملکرد کل غده در رقم فونتانه به طور معنی‌داری بیش‌تر از رقم آگریا است. بیش‌ترین تعداد غده در سیب‌زمینی‌های تیمار شده با قارچ *G. mosseae* و کم‌ترین آن در تیمار شاهد و گونه *A. longula* مشاهده شد. متوسط وزن هر غده در قارچ *G. versiform* بیش‌تر از سایر تیمارها بود و به طور کلی سه گونه *G. mosseae*، *G.intraradices* و *G. versiform* نسبت به تیمارهای دیگر تولید غده بالاتری داشتند.

منابع

1- Abbott L.K., and Robson A.D. 1985. Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist, 99: 245-255.
2- Bayrami S., Mirshekari B., and Farahvash F. 2012. Response of potato (*Solanum tuberosum*) to seed inoculation with mycorrhiza strains in different phosphorus fertilization. Journal of Food Agriculture & Environment, 10: 726 – 728.
3- Bolan N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake on phosphorus by plants. Plant Soil, 134:187-207.
4- Cardoso I.M., and Kuyper T.W. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agriculture, Ecosystems and Environment, 116: 72–84.
5- Carling D.E., and Brown M.F. 1982. Anatomy and physiology of vesicular-arbuscular and non mycorrhizal roots. Phytopathology, 72: 1108 –1114.
6- Chen J. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use. October, 16–20. Thailand. 11 pp.
7- Cui M., and Caldwell M.M. 1996. Facilitation of plat phosphate acquisition by arbuscular mycorrhiza from enriched soil patches roots and hyphae exploiting the same soil volume. New Phytologist, 133(3): 453-460.
8- Duffy E.M., and Cassells A.C. 2000. The effect of inoculation of potato (*Solanum tuberosum* L.) microplants with arbuscular mycorrhizal fungi on tuber yield and tuber size distribution. Applied Soil Ecology, 15: 137–144.
9- 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 inceptisoil. Soil Biology and Biochemistry, 38: 1577–1582.
10- Fabrio C. Martin de Santa Olalla F., and de Juan J.A. 2001. Yeild and size of deficit irrigated potatoes. Agriculture Water Management, 48: 255–266.
11- FAO. 2010. Food composition database of potato varieties (http://www.fao.org/ infoods/index_en.stm.
12- George E., Haussler K.U., Vetterlien D., Gorgus E., and Marschner H. 1992. Water and nutrient translocation by hyphae of *Glomus mosseae*. Canadian Journal of Botany, 70(11): 2130-2137.
13- Ghazi A.K., and John Zak B.M. 2003. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress.Mycorrhiza, 14: 263-269.
14- Gupta M.L., Prasad A., Ram M., and Kumar S. 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasiculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Bioresource Technology, 81: 77–79.
15- Keijbets M. 2008. Potato processing for the consumer. Developments and future chalenges. Potato Research, 51:

271–281.
16- Khalvati M.A., Mozafar A., and Schmidhalter U. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart, 7(6): 706–712.
17- McArthur D.A.J., and Knowles N.R. 1993. lnfluence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the response of potato to phosphorus deficiency. Plant Physiology, 101: 147–160.
18- Medina O.A., Kretschmer A.E., and Sylvia D.M. 1990. Growth response of field-grown Siratro (*Macroptilium atropurpureum* Urb.) and *Aeschynomene americana* L. to inoculation with selected vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Biology and Fertility of Soils, 9(1): 54–60.
19- Murashige T., Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiologia* Plantarum 15, 473-497.
20- Murphy J., and Riley J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphorous in natural waters. Analytica Chemica Acta, 27: 31-36
21- Niemira B.A., Safir G.R., Hammerschmidt R., and Bird G.W. 1995. Production of prenuclear minitubers of potato with peat-based arbuscular mycorrhizal fungal inoculum. Agronomy Journal, 87: 942– 946.
22- NIVAP. Nederlands Potato Consultative Foundation. The European Cultivated Potato Database. http://www.europotato.org/display_source.php?datasource=19
23- Ortus I., and Harris P.J. 1996. Enhancement uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen. Plant and Soil, 184: 225–264.
24- Panwar J., and Tarafdar J.C. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungal dynamics under *Mitragyna parvifolia* (Roxb.) Korth. In Thar Desert. Applied Soil Ecology, 34: 200–208.
25- Rai R., Jalali B., and Chand H. 1990. Improved yields in potato through mycorrhizal infection. Trends in Mycorrhizal Research. Proceedings of the National Conference on Mycorrhizae, Feb. 14-16, Haryana Agriculture University, Hisar, India, pp. 148–149.
26- Sharma A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India. 407 pp.
27- Smith S.E. 1982. Inflow of phosphate into mycorrhizal and non-mycorrhizal plants of *Trifolium subterraneum* at different levels of soil phosphate. New Phytologist, 90: 293-303.
28- Smith S.E., and Read D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Acadamic Press, 605p.
29- Srivastava N.K., and Basu M. 1995. Occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in some medicinal plants. In: Mycorrhizae: Biofertilizers for the Future. Adholeya, A., Singh, S. (Eds.). Third National Conference on Mycorrhiza, TERI, Delhi, India, pp. 58–61.
30- Subramanian K.S., 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.
31- Tarafdar C., and Marschner H. 1994. Phosphate activity in the rizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizaal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. Soil Biology and Biochemistry, 26: 287-295.
32- Tilak, K.V.B.R., N. Ranganayaki, K.K. Pal, R. De, A. K. Saxena, C. Shekhar Nautiyal, Shilpi Mittal, A. K. Tripathi and B. N. Johri. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science, 89: 136–150.
33- Vosatka M., and Gryndler M. 1999. Treatment with culture fractions from *Pseudomonas putida* modifes the development of *Glomus fistulosum* mycorrhiza and the response of potato and maize plants to inoculation. Applied Soil Ecology, 11: 245–251.
34- Yildiz Dasgan H., Kusvuran S., and Ortas I. 2008. Responses of soilless grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in re-cycling and open systems. African Journal of Biotechnology, 20: 3606-3613.
35- Yao M.K., Tweddell R.J., and Désilets H. 2002. Effect of two vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated potato plantlets and on the extent of disease caused by *Rhizoctonia solani*. Mycorrhiza, 12:235–242.