

تأثیر قارچ میکوریز آربوسکولار بر خصوصیات ریخت‌شناسی و کارکردی ذرت (*Zea mays L.*) در سطوح مختلف کود فسفات

سجاد رحیمی مقدم^{۱*}، فرهاد نوری نجفی^۲، حامد عینی نرگسه^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۱)

چکیده

به منظور ارزیابی تاثیر قارچ میکوریز آربوسکولار بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ذرت در سطوح مختلف کود فسفات، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل استفاده از زادمایه میکوریزی *گلوبوس موسه* (تلقیح و عدم تلقیح) و چهار سطح کود شیمیایی فسفات (شاهد، ۱۳، ۲۶ و ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار) بود. نتایج نشان داد بیشترین مقدار زیست توده خشک و تر به ترتیب با مقدارهای ۱۷۲/۴۷ و ۲۲۴/۰۸ گرم تک بوته مربوط به تلقیح میکوریز در سطح ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار بود. همچنین کمترین مقدار زیست توده خشک و تر به ترتیب با مقدارهای ۹۵ و ۱۲۰/۷۴ گرم تک بوته مربوط به عدم تلقیح میکوریز و بدون مصرف کود فسفر بود. بیشترین مقدار طول، وزن و تعداد بلال به ترتیب با مقدارهای ۲۳/۲۲ سانتی‌متر، ۱۱۶/۳۲ گرم و ۴/۲۵ بلال مربوط به تلقیح میکوریز در سطح ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار بود. به طور کلی نتایج نشان داد که تیمار ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط عدم تلقیح نه تنها نسبت به تیمار ۲۶ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط تلقیح از لحاظ صفات زیست توده خشک و تر برتری ندارد بلکه از آن کمتر می‌باشد. در نهایت نتایج مشخص کرد که استفاده از قارچ میکوریز آربوسکولار باعث افزایش زیست توده، کلروفیل و غلظت فسفر برگ همراه با بهبود صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ذرت می‌شود. همچنین تلقیح با قارچ، افزایش جذب فسفر و عملکرد گیاه به ازای مقدار کمتری از کود فسفات را در پی داشت.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع ساقه، زیست توده، فسفر، کلروفیل، وزن بلال.

رحیمی مقدم س.، نوری نجفی ف.، عینی نرگسه ح. ۱۳۹۸. تأثیر قارچ میکوریز آربوسکولار بر خصوصیات ریخت‌شناسی و کارکردی ذرت (*Zea mays L.*) در سطوح مختلف کود فسفات. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۷ شماره ۱. ص: ۱۲۲-۱۳۱.

۱- دانش آموخته دکتری کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی (مکاتبه کننده)

۲- دانشجوی دکتری کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

۳- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

*پست الکترونیک: sajadr.moghaddam@yahoo.com

مقدمه

فسفر یکی از عناصر مهم برای رشد گیاهان به شمار می‌رود که در فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه نقش اساس دارد (Cozzolino *et al.*, 2013). اگرچه فسفر به فرم معدنی و آلی در خاک‌ها وجود دارد اما یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری محدودکننده رشد گیاهان است (Gyaneshwar *et al.*, 2002). یکی از روش‌های رایج برای مقابله با کمبود عناصر غذایی نظیر فسفر، استفاده از کودهای شیمیایی فسفات است (Raei pour & Aliasghar zadeh, 2007). اما مقدار زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی از طریق واکنش با آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی و کلسیم در خاک‌های آهکی و تا کمی خنثی سریعاً به فرم فسفات‌های نامحلول و غیرقابل دسترس گیاهان تبدیل می‌شود به طوری که کارایی کودهای شیمیایی فسفر در سراسر جهان در حدود ۱۰ تا ۲۵ درصد است (Khan *et al.*, 2009). به همین منظور استفاده از روشی مناسب برای قابل جذب و قابل دسترس کردن فسفر خاک برای گیاه می‌تواند به رشد و عملکرد گیاه زراعی کمک کند.

استفاده از ریزموجودات خاکزی که توانایی انحلال فسفات‌های نامحلول آلی و معدنی و تبدیل آن به فسفر محلول را دارند، یکی از راهکارهای موثر برای افزایش قابلیت جذب فسفر، در خاک است (Haji Boland *et al.*, 2006). بسیاری از ریزموجودات خاکزی توانایی تبدیل فسفات‌های نامحلول به فرم محلول و قابل استفاده برای تغذیه گیاهان را دارا می‌باشند، که به آن‌ها ریزموجودات حل‌کننده فسفات اطلاق می‌شود. همچنین بسیاری از این ریزموجودات دارای قدرت جذب فسفات از طریق افزایش سطح جذب هستند (Khan *et al.*, 2009). از رایج‌ترین ریزموجودات جذب‌کننده فسفات می‌توان به قارچ‌های میکوریز آربوسکولار اشاره کرد (Ngwene *et al.*, 2010). همزیستی گیاهان با قارچ میکوریز باعث می‌شود قارچ میکوریز فسفر نامحلول خاک را به صورت محلول درآورده و آن را در اختیار گیاه قرار دهد (Wu *et al.*, 2005). در عوض، این قارچ‌ها کربن را از گیاه میزبان برای استقرار و نگهداری خود به دست می‌آورند (Jacobsen *et al.*, 2005). یزدانی و همکاران (Yazdani *et al.*, 2009) در تحقیق خودشان بر روی ریزموجودات حل‌کننده فسفات و تاثیر آن‌ها بر

عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نشان دادند که تلقیح بذر ذرت با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار باعث کاهش ۵۰ درصدی مصرف کود شیمیایی فسفر بدون کاهش عملکرد ذرت شد. در مطالعه‌ای دیگر حیدری و همکاران (Heydari *et al.*, 2014) بیان کردند که با مصرف قارچ میکوریز، میزان کود شیمیایی فسفر در کشت ذرت در منطقه رباط کریم به نصف تقلیل یافت. در تحقیقی که توسط ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2011) انجام شد، نتایج نشان داد که قارچ *G. mosseae* به‌طور معنی‌داری باعث افزایش غلظت فسفر بوته ذرت می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر توسط بالداتو و همکاران (Baldotto *et al.*, 2012) مشخص شد ذرت‌های تلقیح شده با باکتری‌های اندوفیت محلول‌کننده فسفر و تثبیت‌کننده نیتروژن که قابلیت انحلال فسفر را دارند، دارای برگ‌هایی هستند که غلظت بالای از نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در بافت‌های خود جای داده‌اند، و در نتیجه برگ‌های این گیاهان به واسطه داشتن غلظت بالای از نیتروژن، فسفر و پتاسیم، دارای کلروفیل بیشتری هستند و به واسطه کلروفیل بیشتر این گیاهان دارای رشد بالاتری هستند. بر طبق بررسی آروموگان و همکاران (Arumugam *et al.*, 2010) افزایش در محتوای کلروفیل ممکن است به علت افزایش هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، تعرق و رشد گیاه باشد. همچنین محتوای بیشتر کلروفیل می‌تواند به علت بزرگتر و بیشتر بودن سلول‌های پوشاننده غلاف آوندی در گیاهان تلقیح شده باشد. ذرت از جمله گیاهان پرمحصول خانواده غلات می‌باشد، که از قابلیت تولید ماده خشک بالایی برخوردار است، از این رو تولید بالای این گیاه با مصرف زیاد نهاده‌ها از جمله فسفر همراه می‌باشد. با توجه به اینکه در کشور ما مقادیر بالایی از کود فسفر برای تولید ذرت استفاده می‌شود (Ghorchiani *et al.*, 2012) مطالعه جنبه‌های مختلف همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار با گیاه ذرت می‌تواند اتکا به نهاده‌های شیمیایی در تولید این گیاه را کاهش دهد. از این رو هدف این مطالعه بررسی تاثیر قارچ میکوریز و مقادیر مختلف کود فسفر بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ذرت و همچنین بررسی برهمکنش آن‌ها بر تشخیص اثر بخشی شاخص‌هایی که مربوط به مکانیزم و چگونگی اثرات فسفر و میکوریز بر ذرت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خاک مرکز تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شد) و تلقیح گیاهچه‌های جوان ذرت از پروپاگول که مخلوطی از اسپوره‌های قارچ، میسلیوم‌های خارجی و قطعات ریشه کلنی شده توسط میکوریز بود استفاده گردید (در هر گلدان حدود ۱۰-۱۲ گرم پروپاگول قارچ قرار داده شده که جمعیتی حدود ۴۰۰ اسپور و ۱۰۰ سانتی‌متر ریشه را شامل می‌شدند) به طوریکه در هر گلدان سه حفره به عمق سه سانتی‌متر ایجاد شد و قبل از قرار دادن گیاهچه در این حفره‌ها در کف آن‌ها پروپاگول ریخته شد و همچنین بر روی آن‌ها پروپاگول و ماسه نرم ریخته و عملیات آبیاری با آب مقطر انجام شد. در نهایت با خروج گیاهچه‌ها از خاک با عمل تنک کردن، در هر گلدان یک بوته نگهداری شد. عملیات آبیاری، کنترل آفات و بیماری‌ها جهت ایجاد شرایط مناسب رشد ذرت بر اساس دستورالعمل انجام گردید. در پایان دوره رشد صفاتی همچون وزن تر و خشک، قطر و ارتفاع ساقه، تعداد، طول و وزن بلال اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر برگ در مرحله ظهور گل ابریشمی از برگ‌های دوم و سوم (بالایی) نمونه برداری صورت گرفته و با استفاده از روش طیفسنجی (رنگ زرد و انادات مولیبدات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر میزان آن تعیین گردید (Rafiee *et al.*, 2004) به منظور اندازه‌گیری غلظت کلروفیل برگ در مرحله ظهور گل ابریشمی دانه از دستگاه کلروفیل سنج (Soil Plant Analysis Development) استفاده شد. روش کار به این صورت بود که از نوک، وسط و قاعده برگ بلال میزان کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج برای هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری شد (Meier, 2001). تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.3 (SAS Institute, 2008) انجام پذیرفت. قبل از انجام عمل تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع خطای آزمایشی در هر یک از تیمارها (با استفاده از رویه Univariate) و یکنواخت بودن آن در داخل هر یک از تکرارهای آزمایشی (با استفاده از آزمون Residual) اطمینان حاصل شد به گونه‌ای که هیچ گونه نیازی به تبدیل داده نبود. تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از رویه GLM انجام شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

به منظور بررسی تاثیر قارچ میکوریز و مقادیر مختلف کود فسفات بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ذرت آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل زادمایه میکوریزی (تلقیح و عدم تلقیح) و چهار سطح کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل (شاهد، ۱۳، ۲۶ و ۳۹ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار) بود. این سطوح مختلف کودی براساس آزمون خاک (۴/۵ میلی-گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) (جدول ۱) و مقدار فسفر بحرانی خاک برای گیاه ذرت (۱۶ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) (Gheybi & Malakouti, 1999) در نظر گرفته شد. به طوری که با توجه به مقدار فسفر خاک چهار سطح کودی شامل شاهد (زیر سطح بحرانی)، سطح بحرانی (۱۳ کیلوگرم فسفر در هکتار)، بالاتر از بحرانی (۲۶ کیلوگرم فسفر در هکتار) و مقدار بهینه (۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار) برای گیاه ذرت تیمار کود در نظر گرفته شد. خاک مورد نیاز برای آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه تهیه شد. خاک از حاشیه مزرعه تهیه شد که در آن کشتی صورت نگرفته و هیچ کود شیمیایی استفاده نشده است. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. در هر گلدان ۶/۵ کیلوگرم خاک الک شده (دو میلی متر) استفاده شد. این خاک قبل از استفاده به مدت دو ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۵ اینچ بر متر مربع (PSI) جهت عاری شدن خاک از هرگونه اسپور قارچ در اتوکلاو استریل شد (Alizadeh *et al.*, 2008). سپس بذر ذرت (رقم سینگل کراس ۶۴۷) به مدت ۱۰ تا ۱۲ روز به منظور جوانه‌زنی و تولید گیاهچه در دستگاه اتافک رشد قرار داده شد. در ادامه با توجه به تیمار آزمایش (سطوح مختلف کود فسفر) خاک‌های هر گلدان با سوپر فسفات تریپل به صورت یکنواخت مخلوط شد (برای این منظور کود در هنگام مصرف پودر شد تا بصورت یکنواخت در حجم خاک داخل گلدان بخوبی مخلوط گردد). برای به کار بردن تیمار میکوریز آربوسکولار (در این تحقیق از گونه *Glomus mosseae* استفاده گردید که از بخش بیولوژی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

Table 1. Physical and chemical properties of the experimental soil.

K	P	EC	pH	Total N	OC	Sand	Silt	Clay
mg kg ⁻¹		dS m ⁻¹	(%)					
250	4.5	2.1	7.8	0.1	0.85	30	38	32

زیست توده خشک و تر

بیشترین مقدار زیست توده خشک و تر به ترتیب با مقدارهای ۱۷۲/۴۷ و ۲۲۴/۰۸ گرم تک بوته مربوط به تلقیح میکوریز در سطح ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار بود. همچنین کمترین مقدار زیست توده خشک و تر به ترتیب با مقدارهای ۹۵ و ۱۲۰/۷۴ گرم تک بوته مربوط عدم تلقیح میکوریز در سطح شاهد کود شیمیایی فسفات بود (شکل ۱).

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر میکوریز، کود شیمیایی فسفات و اثر متقابل میکوریز و کود شیمیایی فسفات بر تمامی صفات بررسی شده در آزمایش حاضر در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). از این رو از مطالعه اثرات اصلی صرف نظر شد و در رابطه با صفات موجود اثرات متقابل مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.

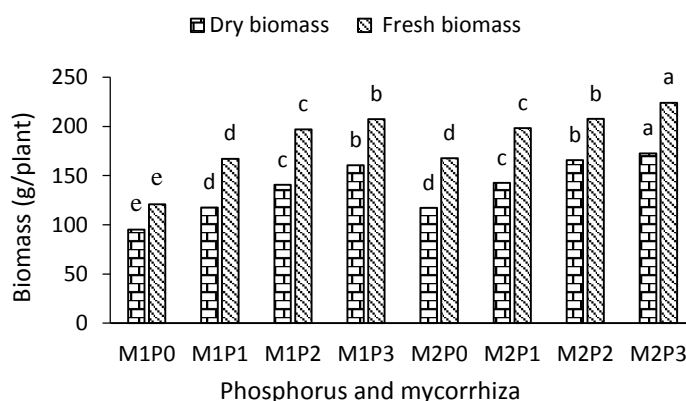
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف اندازه‌گیری شده در ذرت.

Table 2. Analysis of variance for different traits of maize.

S.O.V	df	Dry biomass	Fresh biomass	Stem diameter	Chlorophyll	Stem height	Number of ear	Ear length	Ear weight	Leaf phosphorus concentration
Mycorrhiza	1	2266.4**	5563.8**	0.409**	11.68**	162.9**	10.72**	462.1**	9284**	0.0014**
Phosphorus	3	6451.1**	7756.9**	0.405**	18.33**	1077.7**	3.51**	70.71**	2882**	0.004**
Mycorrhiza× Phosphorus	3	260.36**	521.75**	0.05**	6.93**	56.87**	1.86**	10.67**	946.7**	0.0002**
Error	24	6.58	5.96	0.0069	1.17	5.58	0.015	0.83	4.84	0.00003
CV (%)		1.83	1.31	1.94	2.84	1.2	5.84	6.5	3.49	3.8

** معنی‌دار در سطح آماری یک درصد.

**significant at 1% probability levels.



شکل ۱- مقایسه میانگین صفات زیست توده خشک و تر در برهمکنش میکوریز و فسفر با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد. P0, P1, P2 و P3: به ترتیب شاهد، ۱۳، ۲۶ و ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار؛ M1 و M2: به ترتیب عدم تلقیح و تلقیح میکوریز. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون آماری دانکن می‌باشند.

Figure 1. Mean comparison of dry and wet biomass for interaction between mycorrhiza and P by Duncan test at 5% level. P0, P1, P2 and P3 are control, 13, 26 and 39 kg P per ha, respectively; M1 and M2 are AM non-inoculated and inoculated respectively. Means followed by similar letters have not significant differences by Duncan test at 5% probability level.

و ۱/۲ عدد مربوط به عدم تلقیح میکوریز در سطح شاهد کود شیمیایی فسفات بود (جدول ۳). بررسی صفات طول، وزن و تعداد بلال در جدول سه نشان دهنده تاثیر مثبت و برتری کاربرد همزمان تلقیح میکوریز و کود شیمیایی فسفات (در همه‌ی سطوح) نسبت به تیمارهای کود شیمیایی فسفر در شرایط عدم تلقیح میکوریز است (جدول ۳). علت این موضوع این است که قارچ میکوریز آربوسکولار جذب عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر و عناصر ریز مغذی نظیر روی و مس را بهبود می‌بخشد و باعث تحریک رشد و کاهش اثرات تنش‌های محیطی روی گیاه میزبان می‌شود (Siddiqui & Pichtel, 2008). هنری و همکاران (Henri *et al.*, 2008) اظهار داشتند که میکوریز علاوه بر افزایش جذب فسفات نامحلول خاک، از طریق ترشح هورمون و فاکتورهای تحریک کننده رشد گیاه نیز روی رشد و نمو گیاهان تاثیر می‌گذارد. ثمربخش (Samarbakhsh, 2006) اظهار داشت که طول بلال، وزن بلال، وزن چوب بلال و قطر بلال گیاهان کلنیزه شده با قارچ میکوریز آربوسکولار نسبت به گیاهان کلنیزه نشده با قارچ میکوریز آربوسکولار بیشتر است.

ارتفاع و قطر ساقه

بیشترین مقدار ارتفاع و قطر ساقه به ترتیب با مقدارهای ۲۲۱/۲۳ و ۲/۰۲ سانتی‌متر مربوط به تلقیح میکوریز در ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار بود. همچنین کمترین مقدار ارتفاع و قطر ساقه به ترتیب با مقدارهای ۱۷۵/۱۵ و ۱/۱۸ گرم تک بوته مربوط به عدم تلقیح میکوریز در سطح شاهد کود شیمیایی فسفات بود (شکل ۲). اثر توام میکوریز مانند سایر صفاتی که بحث شد، اثرات مثبتی بر ارتفاع و قطر ساقه بر جای گذاشت. با این حال اثر توام میکوریز و کود شیمیایی فسفات بر صفت قطر ساقه مشهودتر و قابل محسوس‌تر بود. به طوری که در تیمار ۲۶ و ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار و تلقیح میکوریز مقدار قطر ساقه از تیمار ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار و عدم تلقیح میکوریز بیشتر بود (شکل ۲). با توجه به اینکه ارتفاع گیاه تا حدودی تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Samra *et al.*, 1997) احتمالاً قارچ میکوریز آربوسکولار از طریق افزایش زیست توده ساقه به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط هیف و یا بهبود رشد ریشه و همچنین افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی

همانطوریکه که در شکل یک مشاهده می‌شود افزایش کود شیمیایی بدون تلقیح میکوریز باعث افزایش ماده خشک و تر ذرت شده است اما این افزایش عملکرد نسبت به کاربرد توام کود شیمیایی فسفات و تلقیح میکوریز کمتر بوده است. با این وجود همانطور که در شکل یک مشخص می‌باشد تیمار ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط عدم تلقیح (۲۰۷/۳۵ و ۱۶۰/۵ گرم تک بوته به ترتیب زیست توده تر و خشک) نه تنها نسبت به تیمار ۲۶ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط تلقیح (۲۰۷/۶۱ و ۱۶۵/۷۵ گرم تک بوته به ترتیب زیست توده تر و خشک) از لحاظ صفات زیست توده تر و خشک برتری ندارد بلکه از آن کمتر می‌باشد. با توجه به این نکته به عبارت دیگر می‌توان بیان نمود که کاربرد میکوریز در تیمار ۲۶ کیلوگرم فسفر در هکتار نسبت به عدم کاربرد میکوریز در تیمار ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار دارای صرفه‌جویی ۱۳ کیلوگرم فسفر در هکتار است. این موضوع در واقع نشان دهنده اثرات مثبت میکوریز در جذب فسفر و همچنین افزایش عملکرد به ازای کاربرد کود فسفات کمتر می‌باشد. مهمترین معتبرترین تاثیر رابطه همزیستی میکوریز آربوسکولار افزایش جذب فسفر توسط گیاه میزبان می‌باشد (Clark & Zeto, 1996). پاملا و استون (Pamella *et al.*, 2002) اثر میکوریز را در افزایش عملکرد ماده خشک ذرت و سورگوم به دلیل جذب بهینه فسفر گزارش کردند. موسوی جنگلی و همکاران (Mousavi jangali *et al.*, 2004) نشان دادند که هر چند کود شیمیایی فسفر و ریزموچودات حل کننده فسفات هر یک به تنهایی بر رشد و عملکرد ذرت موثر بوده‌اند، ولی هنگامی که این دو مورد با همدیگر به کار برده شوند نتایج مطلوب‌تری حاصل شد. همچنین یزدانی و همکاران (Yazdani *et al.*, 2009) اظهار داشتند که تلقیح بذر با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار باعث کاهش ۵۰ درصدی مصرف کود شیمیایی فسفر بدون کاهش عملکرد ذرت شد.

طول، وزن و تعداد بلال

بیشترین مقدار طول، وزن و تعداد بلال به ترتیب با مقدارهای ۲۳/۲۲ سانتی‌متر، ۱۱۶/۳۲ گرم و ۴/۲۵ عدد مربوط به تلقیح میکوریز در سطح ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار بود. همچنین کمترین مقدار طول، وزن و تعداد بلال به ترتیب با مقدارهای ۷/۸ سانتی‌متر و ۳۵/۳۵ گرم

نشان دادند که قارچ میکوریز بواسطه فراهم نمودن فسفر غیر قابل جذب خاک برای ذرت از یک طرف سبب کاهش مصرف فسفر و از طرف دیگر به دلیل افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب بهبود رشد گیاه و افزایش ارتفاع ذرت می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2011) بیان کردند که بوته‌های ذرت تلقیح شده با قارچ *G. mosseae* در مقایسه با تیمار بدون تلقیح به طور معنی‌داری ارتفاع بیشتری داشتند.

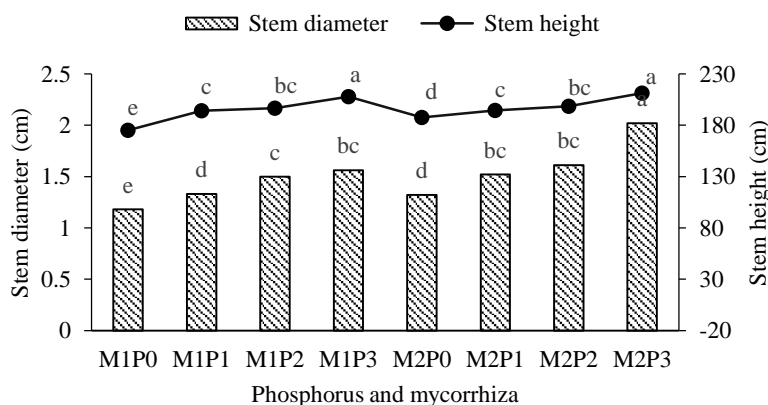
در ساقه به علت افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی باعث افزایش قطر ساقه و همچنین بهبود عملکرد می‌شود (Boomsma & Vyn, 2008). مرادقلی و مبصر (Moradgholi & Mobser, 2011) در تحقیقی نشان دادند که در صورت کاربرد قارچ میکوریز، صفت ارتفاع گیاه ارقام مختلف ذرت دانه‌ای در مقایسه با تیمار بدون قارچ میکوریز به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. راسو و همکاران (Russo *et al.*, 2005) در تحقیق خود

جدول ۳- مقایسه میانگین میکوریز در سطوح مختلف فسفر برای صفات طول، وزن و تعداد بلال با استفاده از آزمون دانکن
Table 3. Mean comparison of mycorrhiza at different levels of phosphorus for length, weight and number of ear by Duncan test.

Phosphorus × mycorrhiza	Number of ear	Ear weight (g)	Ear length (cm)
M1P0	1.2f*	35.35g	7.8f
M1P1	1.56e	43.4f	10.24e
M1P2	1.73d	50.25e	10.52e
M1P3	1.75d	54.88d	12.41d
M2P0	1.5e	51.75e	13.43d
M2P1	2.45c	60.14c	16.5c
M2P2	2.75b	91.94b	18.21b
M2P3	4.25a	116.32a	23.22a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون آماری دانکن می‌باشند. P0, P1, P2 و P3. به ترتیب شاهد، ۱۳، ۲۶ و ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار؛ M1 و M2: به ترتیب عدم تلقیح و تلقیح میکوریز.

*Means followed by similar letters have not significant differences by Duncan test at 5% probability level. P0, P1, P2 and P3 are control, 13, 26 and 39 kg P per ha, respectively; M1 and M2 are AM non-inoculated and inoculated respectively.



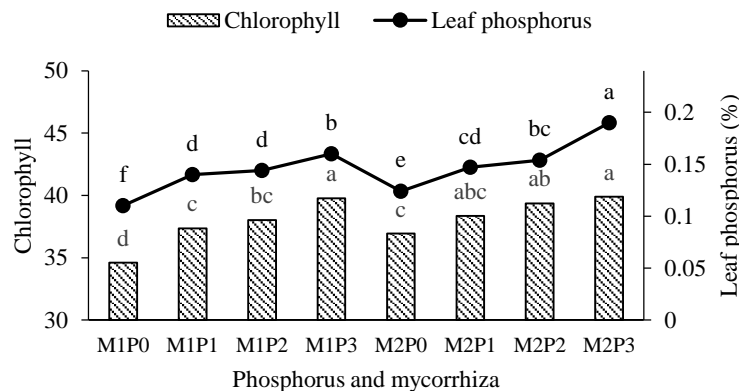
شکل ۲- مقایسه میانگین میکوریز در سطوح مختلف فسفر برای صفات ارتفاع و قطر ساقه با استفاده از آزمون دانکن. P0, P1, P2 و P3: به ترتیب شاهد، ۱۳، ۲۶ و ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار؛ M1 و M2: به ترتیب عدم تلقیح و تلقیح میکوریز. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون آماری دانکن می‌باشند.

Figure 2. Mean comparison of mycorrhiza at different levels of P for height and diameter of stem by Duncan test. P0, P1, P2 and P3 are control, 13, 26 and 39 kg P per ha, respectively; M1 and M2 are AM non-inoculated and inoculated respectively. Means followed by similar letters have not significant differences by Duncan test at 5% probability level.

مقدار کلروفیل و غلظت فسفر برگ به ترتیب با مقدارهای ۳۴/۶ و ۰/۱۱ درصد مربوط عدم تلقیح میکوریز در سطح شاهد کود شیمیایی فسفات بود (شکل ۳).

کلروفیل و غلظت فسفر برگ

بیشترین مقدار کلروفیل و غلظت فسفر برگ به ترتیب با مقدارهای ۳۹/۹ و ۰/۱۹ درصد مربوط به تلقیح میکوریز ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار بود. همچنین کمترین



شکل ۳- مقایسه میانگین صفات کلروفیل و غلظت فسفر برگ برای بر همکنش میکوریز و فسفر با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد. P0, P1, P2 و P3: به ترتیب شاهد، ۱۳، ۲۶ و ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار؛ M1 و M2: به ترتیب تلقیح و عدم تلقیح میکوریز. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون آماری دانکن می‌باشند.

Figure 3- Mean comparison of chlorophyll and P traits in leaf for interaction between mycorrhiza and P by Duncan test at 5% level. P0, P1, P2 and P3 are control, 13, 26 and 39 kg P per ha triple superphosphate per Kg of soil, respectively; M1 and M2 are AM non-inoculated and inoculated respectively. Means followed by similar letters have not significant differences by Duncan test at 5% probability level.

نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان می‌دهد که کاربرد قارچ میکوریز آربوسکولار و کود شیمیایی فسفات به صورت جداگانه و توأم، باعث افزایش زیست توده گیاه، بهبود صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک و افزایش کلروفیل و غلظت فسفر برگ می‌شود. افزایش فسفر و کلروفیل برگ باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و در نتیجه افزایش رشد گیاه می‌شود. در این تحقیق نشان داده شد که افزایش کود شیمیایی بدون تلقیح میکوریز باعث افزایش ماده خشک و تر ذرت شده است اما این افزایش عملکرد نسبت به کاربرد توأم کود شیمیایی فسفات و تلقیح میکوریز کمتر بوده است. همچنین مشخص شد تیمار ۳۹ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط عدم تلقیح نه تنها نسبت به تیمار ۲۶ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط تلقیح از لحاظ صفات زیست توده خشک و تر برتری ندارد بلکه از آن کمتر می‌باشد. این موضوع در واقع نشان دهنده اثرات مثبت میکوریز در جذب فسفر و همچنین افزایش عملکرد به ازای کاربرد کود فسفات کمتر در شرایط تلقیح و استفاده از قارچ میکوریز می‌باشد. از این رو با توجه به هزینه بالای کودهای شیمیایی و خطرات زیستی محیطی ناشی از مصرف زیادی این کودها، استفاده از قارچ میکوریز آربوسکولار به تنهایی یا تلفیق با مقدار متعادل و بهینه کودهای شیمیایی، گزینه مناسبی به منظور دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار است.

همانطور که در شکل ۳ مشخص است با افزایش کود شیمیایی فسفات و کلروفیل برگ نیز افزایش پیدا کرده است. فسفر از اجزای اصلی سلول‌های فعال فتوسنتزی می‌باشد و تاثیر مستقیمی بر تبادلات گازی گیاهان در فرآیندهای فتوسنتز و تنفس دارد (Inagaki *et al.*, 2014). فتوسنتز به واسطه مولکول‌های کلروفیل که در کلروپلاست قرار دارند انجام می‌شود. برای این کار باید کلروفیل‌ها به واسطه انرژی نوری فعال شده که نتیجه آن تبدیل انرژی نوری به انرژی شیمیایی و ذخیره آن در اجزای فسفات مانند آدنوزین تری فسفات (ATP) است (Inagaki *et al.*, 2014). در واقع فسفر با نقشی که در فتوسنتز بازی می‌کند بر روی افزایش میزان کلروفیل برگ تاثیر خود را می‌گذارد. اما ریزموجوداتی از جمله قارچ میکوریز آربوسکولار که در انحلال فسفر خاک نقش دارند، علاوه بر اثری که در جذب فسفر دارند و از این طریق بر میزان کلروفیل برگ تاثیر خود را می‌گذارند، دارای نقش‌های دیگری هستند که باعث افزایش کلروفیل برگ می‌شوند. در آزمایش استراشک و کمپر (Strzelczyk *et al.*, 1994) نشان داده شد که افزایش محتوای نسبی کلروفیل با کاربرد کود فسفات احتمالاً به دلیل تولید فیتوهورمون‌های مانند اکسین و جیبرلین به علت فعالیت باکتری آزوسپیریلوم می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

References

- Alizadeh O., Alizadeh A., and Khast Khodai A. 2008. Study of mycorrhiza and *Azospirillum* application to optimize the use of nitrogen and phosphorus in maize sustainable agriculture. *Journal of New Findings in Agriculture*, 1: 55- 65. (In Persian)
- Arumugam R., Rajasekaran S., and Nagajan, S.M. 2010. Response of Arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* inoculation on growth and chlorophyll content of *Vigna unguiculata* (L) Walp Var. Pusa 151. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14: 113-115.
- Baldotto L.E.B., Silva L.G.J., Olivares F.L., and Baldotto, M.A. 2012. Initial growth of maize in response to application of rock phosphate, vermicompost and endophytic bacteria. *Revista Ceres*, 59: 262-270.
- Boomsma C.R., and Vyn T.J. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through Arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, 108: 14–31.
- Clark R.B., and Zeto S.K. 1996. Mineral acquisition by mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 28: 1405-1503.
- Cozzolino V., Di Meo V., and Piccolo A. 2013. Impact of Arbuscular mycorrhizal fungi applications on maize production and soil phosphorus availability. *Journal of Geochemical Exploration*, 129: 40-44.
- Gheybi M.N., and Malakouti M.J. 1999. The importance of balanced fertilization for improving yield and quality of grain maize. Technical Bulletin. *Agricultural Research, Education and Extension Organization*, Publication No. 44, Karaj, Iran. (Abstract In Persian)
- Ghorchiani M., Alikhani H.A., Akbari G.H., Zarei M., and Allahdadi I. 2012. Effect of phosphate solubilizing bacterium, Arbuscular mycorrhizal fungus and chemical phosphorus fertilizer on the yield and yield component of maize (*Zea mays* L.) under normal and limited irrigation conditions in the Karaj region. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10 (1): 214-224. (In Persian)
- Gyaneshwar P., Naresh Kumar G., Parekh L.J., and Poole P.S. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil*, 245: 83-93.
- Haji Boland R., Aliasghar zadeh N., and Barzegar R. 2006. The impact of rice plant inoculated with two species of arbuscular fungi on growth, potassium and phosphorus uptake and rhizosphere pH change. *Iranian Journal of Water and Soil Science*, 21 (1): 111-120. (In Persian)
- Henri F., Laurette N.N., Annette D., John Q., Wolfgang M., François-Xavier E., and Dieudonne N. 2008. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated from acidic soils of Cameroon. *African Journal of Microbiology Research*, 2: 171-178.
- Heydari A., Nasri M., and Ghoshchi F. 2014. The study of Symbiotic of mycorrhiza and phosphorus fertilizer on yield and yield components of corn in Robat Karim region. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, 11(3): 161-170.
- Inagaki A.M., Guimaraes V.F., Sobreira Rodrigues L.F.O., Bartira da Silva M., Silvia Diamante M., Rampim L., Mioranza T.M., and Barbosa Duarte Junior J. 2014. Phosphorus fertilization associated to inoculation of maize with diazotrophic bacteria. *African Journal of Agricultural Research*, 9: 3480-3487.
- Jacobsen I., Leggett M.E., and Richardson A.E. 2005. Rhizosphere microorganisms and plant phosphorus uptake. In: Sims J.T. and Sharpley A.N. (Ed.), *Phosphorus, Agriculture and the Environment*, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 437–494.
- Khan A.A., Jilani G., Akhtar M.S., Naqvi S.M.S., and Rasheed M. 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: Occurrence, mechanisms and their role in crop production. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 1: 48-58.
- Meier, U. 2001. *Growth Stages of Mono-and Dicotyledonous Plants*. Blackwell Wiss-Verlag, Berlin, 158p.
- Moradgholi A., and Mobser H. 2011. Investigating effect of mycorrhizal on yield and yield component of maize cultivars. *Crops Ecophysiology*, 3(2): 110-124. (In Persian)
- Mousavi Jangali S.A., Sani B., Sharifi M., and Hoseini Nejad Z. 2004. Investigating the effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhiza on quantitative of maize (SC704). *Proceedings of the 8th Iranian Crop Science Congress, Guilan University, Guilan, Iran*. 184p.

- Ngwene B., George E., Claussen W., and Neumann E. 2010. Phosphorus uptake by cowpea plants from sparingly available or soluble sources as affected by nitrogen form and Arbuscular-mycorrhiza-fungal inoculation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173: 353–359.
- Pamella A., and Steven C.S. 2002. Inorganic phosphate solubilization by rhizosphere bacteria in a *Zostera marina* community. *Canadian Journal of Microbiology*, 28: 605 – 610.
- Raei Pour L., and Aliasgharzadeh N. 2007. The interaction of phosphate solubilizing bacteria (*Bradyrhizobium japonicum*) on growth indices, tuber and the absorption of some nutrients in soybean. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11 (40): 53-64. (In Persian)
- Rafiee M., Nadian H.A., Nourmohamadi G., and Karimi M. 2004. Effects of drought stress, phosphorous and zinc application on concentration and total nutrient uptake by corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35 (1): 235-243. (In Persian)
- Russo A., Felici C., Toffanin A., Gotz M., Collados M.C., Miguel Barea J., Moenne-Loccoz Y., Smalla K., Vanderleyden J., and Nuti M. 2005. Effect of *Azospirillum* inoculants on Arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. *Biology and Fertility of Soils*, 41: 301-309.
- Samarbakhsh S. 2006. The effect of fungicides toxins on symbiosis efficiency of different strains of Arbuscular mycorrhizal fungi with Maize. *MS Thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University of Karaj, Iran*. (In Persian)
- Samra A. Dumas. Gaudot E., and Gianinazzi S. 1997. Detection of symbioses related polypeptides during the early stages of the establishment of Arbuscular mycorrhiza between *Glomus mosseae* and *Pisum sativum* roots. *New Phytologist*, 135: 711-722.
- SAS Institute. 2001. SAS System, eighth ed. SAS Inst, Cary, NC.
- Siddiqui Z.A., Akhtar M.S., and Futai F. 2008. Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry. Springer Science, Business Media, Berlin, 362p.
- Strzelczyk E., Kamper M., and Li C. 1994. Cytocinin-like-substances and ethylene production by *Azospirillum* in media with different carbon sources. *Microbiological Research*, 149: 55-60.
- Wu S.C., Cao Z.H., Li Z.G., Cheung K.C., and Wong M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and Arbuscular mycorrhizal fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Soil Science*, 125: 155–166.
- Yazdani M., Bahmanyar M.A., Pirdashti H., and Esmaili M.A. 2009. Effect of phosphate solubilizing microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 37: 90-92.
- Zhang G.Y., Zhang L.P., Wei M.F., Liu Z., Fan Q.L., Shen Q.R., and Xu G.H. 2011. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi, organic fertilizer and soil sterilization on maize growth. *Acta Ecologica Sinica*, 31: 192-196.

The Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Morphophysiological Characteristics of Maize (*Zea mays* L.) in Different Levels of Phosphate Fertilizer

Sajjad Rahimi-Moghaddam¹, Farhad Najafi Noori², Hamed Eyni Nargeseh³

(Received: December 2016

Accepted: December 2017)

Abstract

In order to study the effect of arbuscular mycorrhizal fungi on morphological and physiological characteristics of maize in different levels of phosphorus fertilizer, a greenhouse experiment was carried out as factorial arranged in completely randomized design with three replications at Islamic Azad University Miyaneh Branch, Iran. The experimental treatments were mycorrhizal inoculation with *Glomus mosseae* (inoculation and non-inoculation) and four levels of phosphorus fertilizer (control, 13, 26, and 39 kg P per ha). Results showed that the highest values of wet and dry biomass (224.08 and 172.47 g Plant⁻¹, respectively) were obtained from mycorrhizal inoculation and 39 kg P per ha. Also, the lowest values of wet and dry biomass (120.74 and 95 g Plant⁻¹, respectively) were obtained from control (without inoculation and phosphorus fertilizer). The highest values for length, weight, and number of ears (23.22 cm, 116.32 g and 4.25, respectively) were obtained in mycorrhizal inoculation in 39 kg P per ha. Finally, the results of this research showed that applying arbuscular mycorrhizal fungi increased amount of biomass, chlorophyll, and leaf phosphorus concentration and improved morphological and physiological characteristics of maize. Also, absorption of phosphorus and plant yield were increased by applying a low amount of phosphorus fertilizer.

Keywords: Biomass, Chlorophyll, Ear weight, Plant height, Phosphorus.

Rahimi-Moghaddam S., Najafi Noori F., and Eyni Nargeseh H. 2019. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on morphophysiological characteristics of Maize (*Zea mays* L.) in different levels of phosphate fertilizer. *Applied Soil Research*, 7(1): 122-131.

1- Former PhD Student of Agroecology, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Iran.

2- PhD Student of Agroecology, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Iran

3- PhD Student of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran

* Corresponding Author Email: sajadr.moghaddam@yahoo.com