

## تأثیر سطوح مختلف فسفر بر وابستگی میکوریزایی، ویژگی‌های رشدی و جذب فسفر در دو گیاه ذرت و سویا

جلال صادقی<sup>۱</sup>، امیر لکزیان<sup>۲\*</sup>، علی‌رضا آستارایی<sup>۳</sup>، اکرم حلاج‌نیا<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱)

### چکیده

کمبود فسفر در مناطق گرمسیری و مشکلات مصرف زیاد کودهای شیمیایی، اهمیت پرداختن به همزیستی گیاهان با ریزجانداران خاک را دوچندان می‌کند. به همین منظور آزمایش گلخانه‌ای با استفاده از دو گیاه ذرت و سویا در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل پنج سطح فسفر (P<sub>0</sub>) صفر، (P<sub>1</sub>) ۲۵، (P<sub>2</sub>) ۵۰، (P<sub>3</sub>) ۷۵ و (P<sub>4</sub>) ۱۰۰ درصد توصیه کودی) و دو سطح حضور (M<sub>1</sub>) و عدم حضور (M<sub>0</sub>) قارچ *Funneliformis mosseae* بود. تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح مختلف فسفر و میکوریزا بر صفات اندازه‌گیری شده در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. با افزایش مقدار فسفر، وابستگی و پاسخ میکوریزایی و کلونیزاسیون در دو گیاه کاهش یافت. اما سایر صفات مورد اندازه‌گیری با افزایش مقدار کود فسفر و حضور میکوریزا افزایش داشتند. وزن خشک اندام هوایی دو گیاه مورد مطالعه، وزن خشک ریشه (ذرت)، ارتفاع گیاه، غلظت و جذب فسفر در هر دو گیاه ذرت و سویا در تیمار P<sub>4</sub>M<sub>1</sub> بیشترین و در تیمار P<sub>0</sub>M<sub>0</sub> کمترین مقدار را دارا بودند. در بیشتر صفات مورد اندازه‌گیری بیشترین تفاوت بین حضور و عدم حضور میکوریزا در سطح P<sub>0</sub> مشاهده شد که بیانگر تأثیر بیشتر میکوریزا در زمان کمبود عنصر کم‌تحرک فسفر می‌باشد. با افزایش سطوح کود مصرفی، تفاوت بین تیمار حاوی میکوریزا نسبت به تیمار فاقد آن در هر سطح کودی، کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های رشدی، فسفر، *Funneliformis mosseae*، وابستگی میکوریزایی

صادقی ج.، لکزیان ا.، آستارایی ع.، حلاج‌نیا ا. ۱۳۹۷. تأثیر سطوح مختلف فسفر بر وابستگی میکوریزایی، ویژگی‌های رشدی و جذب فسفر در دو گیاه ذرت و سویا. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۶ شماره ۴، ص: ۵۸-۷۰.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (مکاتبه کننده)

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

\*پست الکترونیک: [alakzian@yahoo.com](mailto:alakzian@yahoo.com)

## مقدمه

میکوریزایی<sup>۱</sup> توسط گردمان (Gerdemann, 1997) تعریف شد. روابط زیادی برای محاسبه میزان این پارامتر توسط محققین مختلفی بیان شده است (Smith et al., 2004). به طور کلی گیاهان از نظر شدت وابستگی میکوریزایی به سه گروه همزیست اجباری، همزیست اختیاری و غیرهمزیست تقسیم می‌شوند (Brundert, 2002).

عوامل موثر بر مقدار وابستگی گیاه میزبان به یک گونه مشخص از میکوریزا به دو دسته خاکی و گیاهی تقسیم می‌شوند. عوامل خاکی شامل شدت نور در محیط خاک، دما و مقدار عناصر و بویژه فسفر خاک بوده و عوامل گیاهی شامل ویژگی‌های ریخت‌شناسی ریشه و صفات فیزیولوژیکی گیاه می‌باشد (Smith & Read, 2008). در بین این عوامل، ریشه گیاه میزبان از جمله عوامل مهم در برقراری همزیستی گیاه با قارچ میکوریزا می‌باشد. به طور کلی براساس مورفولوژی ریشه گیاه می‌توان گفت، داشتن ریشه‌های درشت و عدم وجود ریشه‌های موئین در برخی گیاهان از قبیل شبدر، پیاز، یونجه و نرگس کوهی، این گیاهان را به میزبانی مناسب برای میکوریزا تبدیل کرده است (Smith & Read, 2008).

گیاهان از لحاظ سیستم ریشه به طور کلی به دو گروه گرامینوئید و ماگنولوئید تقسیم‌بندی می‌شوند (Brundert, 2002). گروه ماگنولوئید گیاهان با ریشه ضخیم بوده و گیاهانی با سیستم ریشه‌ای گرامینوئید (که اشاره به خانواده گرامینه دارد) بسیار منشعب و نازک است و این تیپ کمترین وابستگی را به همزیستی میکوریزایی دارند. از بین عناصر موجود در خاک، میزان اولیه فسفر خاک به شدت بر میزان همزیستی گیاه میزبان با میکوریزا تاثیرگذار بوده و بیشتر مطالعات انجام شده بیان‌گر این مطلب بود که میزان همزیستی گیاه با میکوریزا در سطوح پایین فسفر فراهم در خاک حداکثر است (Smith & Read, 2008). با توجه به تاثیر سیستم ریشه گیاهان مختلف و همچنین اهمیت نقش فسفر بر میزان وابستگی میکوریزایی، هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر سطوح مختلف فسفر و نوع سیستم ریشه (ریشه ذرت در مقایسه با سویا درشت‌تر بوده و ریشه سویا نازک‌تر و دارای انشعابات بیشتر بود) بر میزان وابستگی میکوریزایی دو گیاه ذرت و سویا و تاثیر آن بر ویژگی‌های رشدی و جذب فسفر در این دو گیاه می‌باشد.

کمبود فسفر قابل جذب در مناطق گرمسیری از عوامل مهم محدودکننده رشد گیاهان و به خصوص گیاه ذرت به‌شمار می‌آید (Calderon et al., 2008). استفاده از مقادیر بالای نهاده‌های کشاورزی نیز به دلیل هزینه‌ی زیاد و آلوده کردن محیط‌زیست، راه حل مناسبی نخواهد بود. با استفاده از یک مدیریت خوب و صحیح و استفاده از کودهای زیستی و ریزجانداران می‌توان شرایط تغذیه‌ای بهتری را برای گیاه فراهم کرد (Veisi, 2003). در این میان توجه به همزیستی گیاهان با ریزجانداران مفید خاک از اهمیت خاصی برخوردار است. همزیستی میکوریزایی از وسیع‌ترین روابط همزیستی شناخته شده بین گیاهان و دسته خاصی از قارچ‌ها است که میکوریزا و زیکولار آریسکولار عمده‌ترین نوع آن‌ها است (Schubler et al., 2003). اغلب گیاهان شناسایی شده بر روی کره زمین قادر به برقراری همزیستی با این قارچ هستند که البته مقدار این همزیستی با توجه به عواملی همچون شرایط خاک، ریشه گیاه میزبان و ویژگی‌های مورفولوژیک قارچ همزیست، متفاوت است (Smith & Read, 1999). این همزیستی اثرهای نامطلوب بسیاری از تنش‌های محیطی نظیر شوری، غلظت بالای عناصر سنگین، تراکم خاک و نیز تنش خشکی در گیاه میزبان را کاهش می‌دهد (Nadian, 2012؛ Neuman & George, 2009).

در این نوع همزیستی نقش اصلی میکوریزا، فراهم کردن عناصر غذایی از طریق گسترش هیف‌ها در منافذ خاک می‌باشد (Fedderman et al., 2010). مهم‌ترین تاثیر ایجاد شده توسط میکوریزا، افزایش رشد گیاه میزبان است که معمولاً به واسطه جذب عناصر غیرمتحرک از خاک صورت می‌گیرد (Bolan, 2000). نتایج اغلب بررسی‌ها نشان می‌دهد که جذب عناصری هم‌چون نیتروژن (Treseder, 2004)، فسفر (Al-Karaki et al., 2004 & Treseder, 2004)، پتاسیم (Marschner & Dell, 1994)، آهن (Al-Karaki, 2004)، روی (Chen et al., 2001)، مس (Liu et al., 2000) و منگنز (Amir Abadi et al., 2010) توسط گیاه در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای در حضور این قارچ‌ها به طور نسبی افزایش یافته است.

برای توصیف و تعیین مقدار تحریک‌پذیری رشد گیاه میزبان در مقابل عملکرد میکوریزا، اصطلاح وابستگی

## مواد و روش‌ها

شدند. در تیمارهای حاوی میکوریزا، مقدار ۱۰۰ گرم زادمایه که حاوی هیف‌ها، وزیکول‌ها و آربسکول‌های قارچ *Funneliformis mosseae* بود (تهیه شده از شرکت زیست فناور توران، شاهرود) به صورت لایه‌ای در ۲ سانتی‌متری زیر محل کاشت بذر اضافه شد (تعداد تقریبی ۵۰-۲۵ اسپور در هر گرم زادمایه) و در تیمارهای فاقد میکوریزا، مقدار ۱۰۰ گرم زادمایه اتوکلاو شده، اضافه شد. بذرهای ذرت (رقم ۷۰۴ سینگل کراس) و سویا (رقم ویلیامز) از مرکز تحقیقات خاک و آب مشهد تهیه شد. جهت انجام توصیه کودی، نیتروژن به صورت کود اوره محلول در آب (در سه نوبت)، پتاسیم به صورت سولفات پتاسیم و سطوح مختلف فسفر به صورت پودری از منبع  $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  تامین شدند. در هر گلدان چهار بذر کشت و پس از جوانه‌زنی به دو گیاه در هر گلدان تنک شدند. عملیات داشت به مدت دو ماه به طول انجامید و در این مدت رطوبت گلدان‌ها در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی حفظ شد. پس از ۸ هفته ارتفاع گیاه، درصد کلونیزاسیون ریشه (Philips & hayman, 1980)، وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه و ریشه، فسفر اندام هوایی (Olsen & Summers, 1982)، وابستگی میکوریزایی به روش (Khalil et al., 1994)، پاسخ میکوریزایی به روش هتريك و همکاران (Hetrick et al., 1993) و درصد بازیافت کود مطابق روابط زیر اندازه‌گیری شدند. در پایان تجزیه واریانس داده‌ها با نرم افزار Jump11، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی و در سطح احتمال یک درصد و رسم اشکال با نرم افزار EXCEL انجام گرفت.

این مطالعه در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل و در سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل پنج سطح فسفر ( $P_0$ ) صفر، ( $P_1$ ) ۲۵، ( $P_2$ ) ۵۰، ( $P_3$ ) ۷۵ و ( $P_4$ ) ۱۰۰ درصد توصیه کودی و دو سطح حضور ( $M_1$ ) و عدم حضور ( $M_0$ ) قارچ *Funneliformis mosseae* بود. خاک مورد مطالعه از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری یک نوع خاک با رده‌بندی Typic haplocalsids واقع در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد جمع‌آوری و پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. در آزمایشگاه pH خاک در گل اشباع با استفاده از دستگاه pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج، کربن آلی به روش والکلی- بلاک (Walkley & Black, 1934)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال (Bremner & Mulvaney, 1982)، فسفر فراهم خاک به روش اولسن و سامرز (Olsen & Summers, 1982)، پتاسیم قابل‌دسترس به روش استات آمونیوم، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (Loeppert & Suarez, 1996)، رطوبت ظرفیت مزرعه به روش گلدانی و بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986) مورد ارزیابی قرار گرفت. سترون کردن خاک مورد مطالعه در اتوکلاو در دو نوبت و با فاصله زمانی ۴۸ ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ بار در داخل کیسه‌های کنفی انجام شد. گلدان‌ها نیز با الکل ضدعفونی

$$\text{عملکرد گیاه میکوریزایی نشده} - \text{عملکرد گیاه میکوریزایی شده} = \frac{\text{عملکرد گیاه میکوریزایی شده}}{\text{عملکرد گیاه میکوریزایی شده}} - \text{وابستگی میکوریزایی}$$

$$\text{عملکرد گیاه میکوریزایی نشده} - \text{عملکرد گیاه میکوریزایی شده} = \frac{\text{عملکرد گیاه میکوریزایی شده}}{\text{عملکرد گیاه میکوریزایی نشده}} - \text{پاسخ میکوریزایی}$$

$$\text{عملکرد تیمار شاهد*غلظت فسفر} - (\text{غلظت فسفر*عملکرد تیمار مورد نظر}) = \frac{\text{عملکرد تیمار شاهد*غلظت فسفر} - (\text{غلظت فسفر*عملکرد تیمار مورد نظر})}{\text{کود مصرفی}} = \text{درصد بازیافت کود}$$

## نتایج و بحث

مورد مطالعه یک خاک آهکی با بافت لوم سیلتی و فقیر از نظر عناصر غذایی پرمصرف بود.

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. مطابق جدول، خاک

جدول شماره ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد آزمایش

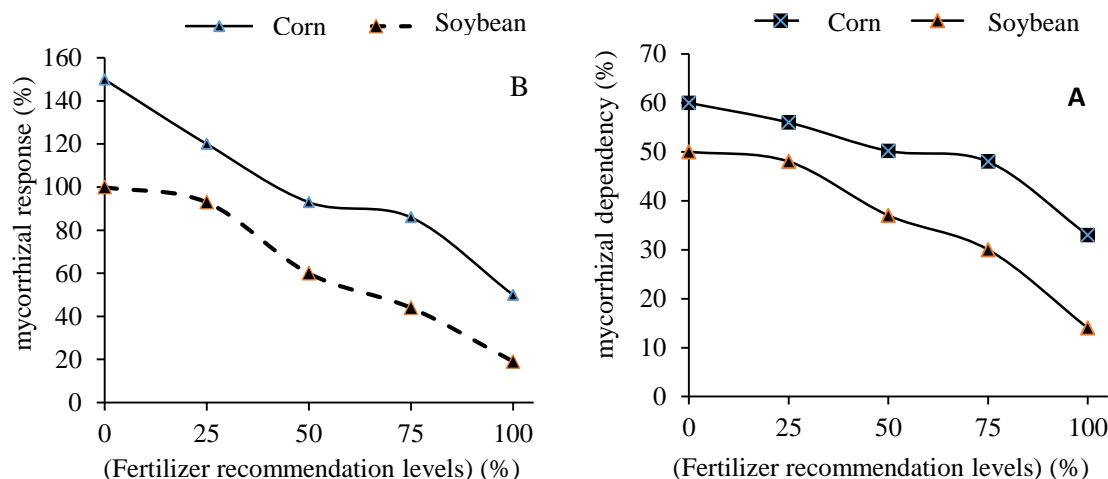
Table 1. Some chemical properties of studied soil

Soil texture	EC	P-ava	Kex	pH	CCE	N <sub>T</sub>	O.C
	(dS m <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )		-		%	
Silty loam	1.54	3	151	7.12	13	0.05	0.312

O.C: Organic carbon; Kex: Potassium Exchangeable, P-ava: Phosphorus, N<sub>T</sub>: Total Nitrogen, CCE: Carbonate Calcium Equilibrium

پاسخ مایکوریزایی که به معنی افزایش عملکرد گیاه در زمان حضور مایکوریزا نسبت به تیمار مشابه ولی فاقد مایکوریزا است نیز با کاهش وابستگی مایکوریزایی و کم شدن تأثیر مایکوریزا بر دو گیاه، کاهش معنی‌داری از نظر آماری داشت. در تیمار P<sub>0</sub> با حضور *Funneliformis mosseae* پاسخ مایکوریزایی گیاه سویا به میزان ۱۰۰ درصد بود؛ درحالی‌که ذرت به واسطه داشتن وابستگی مایکوریزایی زیاد و ایجاد کلونیزاسیون بیشتر با مایکوریزا این مقدار به ۱۵۰ درصد رسید (شکل ۱). در مورد پاسخ مایکوریزایی نیز این چنین می‌توان بیان کرد که این پارامتر نیز همانند وابستگی مایکوریزایی در سویا با شیب بیشتری نسبت به ذرت کاهش یافت. محققین معتقدند با مصرف کود شیمیایی زیاد ریشه‌ها قوی و رشد سریعی پیدا می‌کنند و در نتیجه مایکوریزا نمی‌تواند به خوبی در ریشه نفوذ کند و تأثیر تلقیح مایکوریزایی کمتر می‌شود (Amijee et al., 1989; Alloway, 2004). آلوی (Alloway, 2008) نیز بیان کرد که با افزایش مقدار فسفر و نیتروژن و به بیان دیگر بهبود شرایط رشدی برای گیاه، کلونیزاسیون ریشه کاهش می‌یابد و گیاه کمتر به مایکوریزا نیاز پیدا می‌کند.

تأثیر سطوح مختلف فسفر بر وابستگی و پاسخ مایکوریزایی در دو گیاه ذرت و سویا: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح مختلف فسفر بر وابستگی مایکوریزایی در هر دو گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و با افزایش مقدار فراهمی فسفر، وابستگی دو گیاه کم شده و در تیمار P<sub>4</sub> کمترین مقدار وابستگی مایکوریزایی مشاهده شد (جدول ۲). در سطح P<sub>0</sub> به سبب کمبود فسفر فراهم خاک، گیاهان مورد آزمایش بیشترین وابستگی به قارچ *Funneliformis mosseae* را نشان دادند (شکل ۱). همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، با افزایش فراهمی فسفر، میزان وابستگی گیاه سویا به مایکوریزا در مقایسه با ذرت کاهش بیشتری داشت؛ که این می‌تواند به خاطر تفاوت در سیستم ریشه این دو گیاه باشد. ریشه گیاه سویا نازک‌تر و دارای انشعابات فرعی بیشتری نسبت به ذرت است و به همین خاطر با افزایش فراهمی فسفر و بهبود شرایط برای گیاه، سویا نیاز کمتری به حضور مایکوریزا داشته و روند تغییرات کاهش مقدار وابستگی مایکوریزایی با افزایش سطوح فسفر در این گیاه نسبت به ذرت بیشتر بود. عبدالفتاح و همکاران (Abdel-Fattah et al., 2014) نیز گزارش کرد که میزان کلونیزاسیون ریشه گیاهان علاوه بر غلظت فسفر خاک به سیستم ریشه‌ای گیاه بستگی دارد.



شکل ۱- تاثیر سطوح مختلف فسفر بر الف) وابستگی میکوریزایی و ب) پاسخ میکوریزایی گیاه ذرت و سویا  
Figure 1. Effect of phosphorus on a) mycorrhizal dependency and b) mycorrhizal response in corn (blue line) and soybeans (red line)

میزان کاهش کلونیزاسیون در تیمار P<sub>4</sub> در مقایسه با تیمار P<sub>0</sub> برای ذرت ۶۳ و در گیاه سویا ۷۲ درصد بود (جدول ۲). همان گونه که در بحث وابستگی میکوریزایی بیان شد سیستم ریشه این دو گیاه متفاوت بوده و علت تفاوت در مقدار درصد کلونیزاسیون به این خاطر می‌تواند باشد. علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2010) گزارش دادند که با مصرف کود شیمیایی، همزیستی بین ریشه گیاه و میکوریزا به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که قارچ‌های وزیکولار آربسکولار در سطوح پایین کودهای شیمیایی باعث بهبود وزن خشک دو گیاه شده و در مقایسه بین دو گیاه، تاثیر همزیستی در گیاه ذرت بیشتر بود (جدول ۴). در سطوح بالای کود شیمیایی مقدار این همزیستی کاهش یافته و فسفر زیاد حتی بازدارنده این شرایط همزیستی می‌باشد.

کلونیزاسیون میکوریزایی: کلونیزه شدن گیاه توسط میکوریزا به شرایط خاک، گیاهان میزبان و گونه‌های میکوریزا بستگی دارد. در این تحقیق در مورد هر گیاه با افزایش مقدار فسفر، کلونیزه شدن توسط *Funneliformis mosseae* کاهش یافت به طوری که بیشترین مقدار در سطح P<sub>0</sub> برای گیاه ذرت ۸۴/۷ و برای گیاه سویا ۷۰/۴ درصد بود. کمترین مقدار کلونیزاسیون هم در سطح P<sub>4</sub> بود که مقدار آن در گیاه ذرت ۳۱/۰۸ و در گیاه سویا ۱۹ درصد بود (جدول ۲). کوید (Koide, 1991) بیان کرد که سطوح بالای فسفر باعث کاهش کلونیزه شدن گیاه توسط میکوریزا می‌شود. اسمیت و رید (Smith & Read, 2008) نیز بیان کردند که استفاده بیش از مقدار مورد نیاز فسفر خاک جهت رشد گیاه، سبب حذف آربسکول‌ها در همزیستی میکوریزا با گیاه شد.

جدول ۲- اثر سطوح مختلف فسفر بر پارامترهای میکوریزایی در دو گیاه ذرت و سویا

Table 2. Effect of phosphorus levels on mycorrhizal parameters in corn and soybeans

phosphorus levels	Colonization		Mycorrhizal response (%)		mycorrhizal dependency	
	soybean	corn	soybean	corn	soybean	corn
	P <sub>0</sub>	70.4±5 a	84.6±2.3 a	81.6±8.2 a	150.5±3.8 a	50±2 a
P <sub>1</sub>	60.1±2.1 b	72.3±2.8 b	75.9±9.1 a	121±6.6 b	45.6±6.5 ab	53.4±8.7 ab
P <sub>2</sub>	49.3±2.5 c	57.9±2.5 c	50.8±1.3 b	91±1.3 c	37.2±4.9 bc	50.7±8.7 ab
P <sub>3</sub>	35.5±2.4 d	45.8±3.1 d	44.9±4.4 b	89±8.2 c	29.9±2.1 c	44.3±2.7 b
P <sub>4</sub>	19.1±1.9 e	31.1±0.9 e	34.1±5 c	41.9±10.5 d	16.1±3.6 c	31.9±5.7 c

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند در سطح یک درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, numbers that have common letters are no significant difference in the level of one percent.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای عملکردی دو گیاه ذرت و سویا  
Table 3. Analysis of variance corn and soybean yield parameters

Parameters	Mean of squares					
	Height	Dry weight of root		Fresh weight of shoot		Dry weight of shoot
	Corn	Corn	Soybean	Corn	Soybean	Corn
Phosphorus	277.4**	2.2**	256**	2076**	45.6**	73**
Mycorrhizae	2281.1**	109.3	1997.9**	22083.2**	106.2	768.2**
hosphorus*mycorrhizae	3.6 <sup>ns</sup>	0.7*	95.7**	208.5**	1.2**	1.8**
Error	2.9	0.2	2.8	7.1	0.6	1.5

ادامه جدول ۳ - Table 3. Continue ...

Parameters	Mean of squares			
	Phosphorus of shoot concentration		Phosphorus uptake	
	Soybean	Corn	Soybean	Corn
Phosphorus	0.012**	0.006**	556.8**	861**
Mycorrhizae	0.05**	0.004**	1850.8**	1215
hosphorus*mycorrhizae	0.03**	0.002**	15.5*	1961 <sup>ns</sup>
Error	0.05	0.003	3.74	10.3

\*, \*\* و ns به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌داری است.

\*, \*\* and ns indicate significant differences in the level of five and one percent and non-significant difference, respectively

وزن خشک ریشه ذرت: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده فسفر، میکوریزا و برهمکنش این دو بر وزن خشک ریشه ذرت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار P4M1 با مقدار ۷/۲ گرم در گلدان و کمترین مقدار در تیمار P0M0 با مقدار ۱/۲ گرم در گلدان بود. میانگین افزایش مقدار وزن خشک ریشه در سطوح مختلف فسفر در حضور میکوریزا، ۲۳۶ درصد بود. در زمینه تاثیر فسفر بر وزن خشک ریشه، ایران نژاد و همکاران (Irannezhad *et al.*, 2005) بیان کردند که فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری برای گیاهان است که باعث افزایش رشد و قوی‌تر شدن ریشه‌ها می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر توسط سانتوس و همکاران (Santos *et al.*, 2010) بیان شد که در شرایط کم فسفر یا کمبود، طول کل ریشه کوتاه‌تر، سطح ریشه کوچک‌تر و زیتوده ریشه کمتر می‌شود. حضور و عدم حضور قارچ *Funneliformis mosseae* نیز بر وزن خشک ریشه تاثیر گذار بود و با افزودن آن به خاک، وزن خشک افزایش معنی‌داری نشان داد. فنگ و همکاران (Feng *et al.*, 2002) در تحقیق خود بر تاثیر میکوریزا روی وزن خشک ریشه ذرت، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه در نتیجه همزیستی با گونه *Funneliformis mosseae* افزایش یافت. آن‌ها دلیل این امر را افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاهان همزیست میکوریزا و در نتیجه افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در ریشه دانستند.

ارتفاع گیاه ذرت: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده فسفر و میکوریزا بر ارتفاع گیاه ذرت معنی‌دار بوده و این در حالی است که برهمکنش این دو معنی‌داری نبود (جدول ۳). با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین ارتفاع با ۷۹/۳ سانتی‌متر مربوط به تیمار P4M1 بود که نسبت به تیمار شاهد با کمترین ارتفاع (۴۵/۶ سانتی‌متر)، افزایش ۷۳/۷ درصدی داشت. با افزایش سطوح فسفر در دو حالت حضور و عدم حضور میکوریزا، ارتفاع افزایش یافت (جدول ۴). نکته قابل توجه عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد در دو تیمار P0M1 و P4M0 بود. این نتیجه حاکی از تاثیرگذاری بیشتر میکوریزا در مقادیر کم فسفر فراهم خاک بود (جدول ۲). به تدریج و با افزایش مقدار فسفر، میزان وابستگی گیاه ذرت به میکوریزا کاهش معنی‌داری داشته و اختلاف بین ارتفاع در زمان حضور و عدم حضور میکوریزا کمتر شد. نتایج به دست آمده با نتایج کاستیلو و همکاران (Castilo *et al.*, 2012) که افزایش ارتفاع بوته گندم در حضور میکوریزا را گزارش کردند، هماهنگ بود. این محققین در توجیه این افزایش بیان کردند میکوریزا از طریق جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید آسمیلات بیشتر و بهبود رشد گیاه می‌شود و در نتیجه ارتفاع بوته در مقایسه با گیاهان غیر مایکوریزایی افزایش یافته است. در تحقیقی دیگر علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2010) دریافتند که در صورت کاربرد میکوریزا در مقایسه با عدم کاربرد آن، افزایش ۲۰ درصدی در ارتفاع بوته ذرت ایجاد می‌شود.

جدول ۴- اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و میکوریزا بر ویژگی‌های رشدی گیاه ذرت

Table 4. Interaction of phosphorus levels and mycorrhiza on growth characteristics of corn

Phosphorus levels	Factor mycorrhiza	Phosphorus of shoot (percent)	Root dry weight (g.pot <sup>-1</sup> )	Shoot dry weight (g.pot <sup>-1</sup> )	Shoot fresh weight (g.pot <sup>-1</sup> )	Height (cm)
P <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	0.147±0.3 d	1.2±0.5 c	7.2±1.1 g	61.6±4 h	45.7±1.5 e
P <sub>1</sub>	M <sub>0</sub>	0.165±0.2 cd	1.8±0.9 c	9.8±1.8 f	80.3±2.2 g	49±1 e
P <sub>2</sub>	M <sub>0</sub>	0.229±0.1 ab	2.1±0.4 c	11.2±4 ef	88.8±2.9 f	56.6±2.5 d
P <sub>3</sub>	M <sub>0</sub>	0.232±0.03 ab	2.2±0.4 c	13±1.5 e	102.5±2.9 e	56.3±2.5 d
P <sub>4</sub>	M <sub>0</sub>	0.246±0.1 ab	2.3±0.8 c	17.8±1.8d	126±2 d	62.3±1.6 c
P <sub>0</sub>	M <sub>1</sub>	0.203±0.06 bc	5±0.9 b	18±1 d	130.5±2.3 d	63.3±1.5 c
P <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	0.227±0.09 ab	5.3±0.8 b	20.9±1.1 c	139.6±1.5 c	64.3±1.7 c
P <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	0.233±0.07ab	5.4±0.8 b	21.3±1.4 bc	147.6±2.1 bc	73.3±1.5 b
P <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	0.241±0.03ab	5.6±0.2 b	23.3±0.7 b	146.1±1.9 b	76±1 ab
P <sub>4</sub>	M <sub>1</sub>	0.255±0.14 a	7.2±0.4 a	26.1±0.8 a	164.7±2.4 a	79.3±1.9 a

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند در سطح یک درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, numbers that have common letters are no significant difference in the level of one percent.

که برای دو گیاه ذرت و سویا به ترتیب این افزایش ۴۷ و ۱۹ درصد بود. وزن خشک گیاه نیز (به واسطه بهبود جذب عناصر در حضور میکوریزا) متاثر از مقدار وابستگی گیاه به میکوریزا بوده و در این آزمایش با افزایش مقدار فسفر به دلیل کاهش نیاز گیاه به ایجاد همزیستی با میکوریزا روند وزن خشک نزولی بود. نتایج به دست آمده مطابق با تحقیقات عمواقایی و همکاران (Amou.Aghaei *et al.*, 2004) بود که بیان کردند در خاک‌هایی با مقدار کم تا متوسط عناصر غذایی (بوپژه فسفر) تاثیر میکوریزا بر فراهمی فسفر بیشتر بود. در این بین گیاه سویا به خاطر داشتن وابستگی کمتر به میکوریزا در مقایسه با ذرت، اختلاف کمتری در وزن خشک در حضور و عدم حضور میکوریزا نشان داد (شکل ۲). اشنایدر و مورل (Schneider & Morel, 2000) گزارش دادند که با افزایش فسفر خاک، مقدار وابستگی گونه‌های گیاهی به میکوریزا برای تولید ماده خشک کاهش یافت. الکراکی و همکاران (Alkaraki *et al.*, 2004) نیز گزارش دادند که افزایش بیشتر فسفر به علت محدود نمودن فعالیت میکوریزا، توسعه ریشه و میسلیوم‌های قارچی و جذب عناصر را با مشکل مواجه نموده و در نتیجه قارچ به عنوان یک انگل عمل می‌نماید که تنها باعث مصرف کربوهیدرات‌های تولید شده توسط گیاه می‌گردد که این امر باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود.

**غلظت فسفر اندام هوایی:** تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده فسفر، میکوریزا و همچنین اثر متقابل این دو بر غلظت و جذب فسفر در اندام هوایی گیاه ذرت در سطح یک درصد از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۳).

### وزن خشک اندام هوایی دو گیاه ذرت و سویا: نتایج

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده فسفر، میکوریزا و برهمکنش این دو بر وزن خشک اندام هوایی دو گیاه ذرت و سویا معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن خشک گیاه ذرت و سویا در تیمار P4M1 بود و این مقدار برای گیاه ذرت و سویا به ترتیب ۲۶/۱ و ۱۴/۴ گرم بودند. این مقادیر نسبت به تیمار P0M0 که مقدار آن در گیاه ذرت و سویا به ترتیب ۷/۲ و ۴/۲ گرم بود، به ترتیب افزایش ۲۶۲ و ۲۴۲ درصدی مشاهده شد (جدول ۴ و ۵).

در دو گیاه مورد آزمایش در هر کدام از سطوح فسفر با افزودن میکوریزا، وزن خشک افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار فاقد میکوریزا داشت که دلیل این امر می‌تواند افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر آن‌ها باشد (Vamerali *et al.*, 2003). اکین (Ekin, 2010) بیان کرد که نقش ریزجانداران خاک در افزایش عملکرد زیستی گیاهان به دو دلیل افزایش قابلیت جذب فسفات نامحلول خاک و ترشح هورمون‌ها و فاکتورهای تحریک‌کننده رشد گیاه می‌باشد. در بین سطوح مختلف فسفر، بیشترین افزایش وزن خشک بین حضور و عدم حضور میکوریزا در هر دو گیاه مربوط به تیمار P0 بود که این افزایش در گیاه ذرت و سویا به ترتیب ۱۵۰ و ۱۰۰ درصد بود که این بیانگر تاثیر بیشتر میکوریزا در شرایط کمبود عناصر غذایی و بوپژه فسفر می‌باشد (جدول ۴ و ۵). با افزایش مقدار فسفر به وسیله افزودن کود، تفاوت بین تاثیر دو حالت حضور و عدم حضور میکوریزا بر وزن خشک دو گیاه روند کاهشی داشت و کمترین میزان افزایش در سطح P4 بود

معنی دار نبود. این نتیجه با کاهش شدیدتر وابستگی میکوریزایی گیاه سویا نسبت به ذرت با افزایش مقدار کود و به تبع آن، کارایی کمتر میکوریزا در سطوح بالاتر فسفر برای این گیاه نسبت به ذرت در ارتباط است (جدول ۳). در هر دو گیاه تاثیر *Funneliformis mosseae* بر حلالیت فسفر و جذب آن توسط گیاه مشاهده شد که مقدار تاثیرگذاری میکوریزا بر حلالیت و فراهمی فسفر به میزان وابستگی میکوریزایی گیاه بستگی دارد. افزایش فسفر در تیمارهای حاوی *Funneliformis mosseae* به دلیل انحلال فسفر توسط هیفهای قارچی است که این انحلال به وسیله ترشح اسیدهای آلی و آنزیمهای فسفاتاز انجام می‌پذیرد و به همین دلیل مقدار فسفر در خاک این تیمارها نسبت به تیمارهای دیگر افزایش یافته است (Marzban *et al.*, 2015). باگایوکو و همکاران (Bagayoko *et al.*, 2000) نیز بیان کردند که تشکیل کلونی قارچ در ریشه و توسعه هیفهای آن سبب افزایش سطح جذب ریشه می‌شود که به طور قابل توجهی جذب فسفر را در واحد طول ریشه بهبود می‌بخشد. اگر چه که باید به این نکته توجه داشت که نقش میکوریزا در جذب فسفر و رشد گیاه تحت تاثیر برهمکنش میان گونه گیاه میزبان، نوع میکوریزا مورد استفاده و سایر فاکتورهای محیطی تعیین می‌گردد (Fitter *et al.*, 2011). پون مورگان و گوپی (Ponmurugan & Gopi, 2006) نیز بیان کردند استفاده از ریزجانداران حل‌کننده فسفات فعالیت میکروبی در ریزوسفر را افزایش داده و موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاه می‌شود.

غلظت فسفر در تیمار P4M1 با مقدار ۰/۲۵۵ درصد، بیشترین و در تیمار POM0 به مقدار ۰/۱۴۷ درصد کمترین بود (جدول ۴). با افزایش سطوح فسفر در خاک، تفاوت غلظت فسفر در تیمارهای حضور و عدم حضور میکوریزا کمتر شد و در تیمار P2 این اختلاف به حداقل (۱/۲ درصد افزایش) رسید. به‌طور کلی در هر دو گیاه اعمال ۵۰ تا ۱۰۰ درصد توصیه کودی فسفر نیاز گیاه به برقراری همزیستی با میکوریزا را کاهش داد و اختلاف بین تیمارهای حضور و عدم حضور میکوریزا از لحاظ آماری معنی دار نبود (جدول ۵ و ۴). نکته‌ای که اهمیت همزیستی و وجود وابستگی میکوریزایی بالا در گیاه ذرت را به وضوح نشان می‌دهد عدم وجود اختلاف معنی دار از لحاظ آماری در سطح یک درصد بین غلظت فسفر اندام هوایی تیمار P4M0 و POM1 است (جدول ۴). این نتیجه بیانگر توانایی بالای میکوریزا در حلالیت فسفات‌های نامحلول خاک است؛ به طوری که حضور میکوریزا در تیمار بدون افزودن کود، باعث شده که غلظت فسفر در گیاه ذرت افزایش یابد و به حدی برسد که اختلاف آن با تیماری که توصیه کامل کودی فسفر را دریافت کرده بود معنی داری نبود.

در گیاه سویا نتایج نشان داد که بیشترین مقدار غلظت فسفر در اندام هوایی در تیمار P4M1 با مقدار ۰/۲۹ درصد و کمترین مقدار در تیمار POM0 با داشتن مقدار ۰/۱ درصد بود (جدول ۵). در گیاه سویا نیز اضافه کردن میکوریزا باعث بهبود جذب فسفر در سطوح پایین مقدار توصیه کودی شد به طوری که اختلاف بین مقدار فسفر اندام هوایی تیمار POM1 با تیمار P3M0 از لحاظ آماری

جدول ۵- اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و میکوریزا بر خصوصیات رشدی گیاه سویا

Table 5. Interaction of phosphorus levels and mycorrhiza on growth characteristics of soybean

Factor mycorrhiza	phosphorus levels	Phosphorus of shoot (percent)	Shoot dry weight (g.pot <sup>-1</sup> )	Shoot fresh weight (g.pot <sup>-1</sup> )
M <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	0.1±0.001 f	4.2±0.3 g	9.1±1 e
M <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	0.16±0.002 e	5.3±0.5 fg	13.8±1.6 e
M <sub>0</sub>	P <sub>2</sub>	0.18±0.003 d	6.5±0.8 ef	19.5±2.5 d
M <sub>0</sub>	P <sub>3</sub>	0.19±0.002 d	8.8±0.2 d	29.2±2 c
M <sub>0</sub>	P <sub>4</sub>	0.22±0.005 cd	12.1±0.9 bc	34.5±1.2 b
M <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	0.18±0.002 d	8.4±0.8 de	34.6±2.1 b
M <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	0.21±0.002 c	9.9±0.02 cd	35.8±1.7 b
M <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	0.25±0.002 b	10.3±1.1 cd	37.3±1.2 ab
M <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	0.28±0.005 a	12.6±0.8 ab	38.5±1.5 ab
M <sub>1</sub>	P <sub>4</sub>	0.29±0.005 a	14.4±1.1 a	41.4±0.9 a

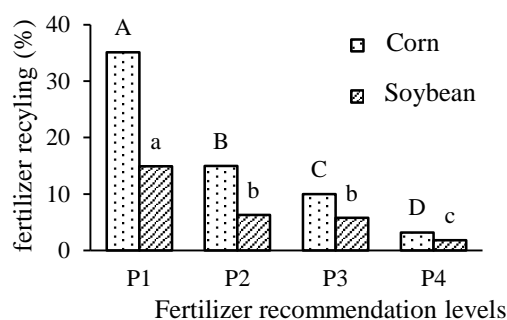
در هر ستون اعدادی که حروف مشابه دارند در سطح یک درصد فاقد اختلاف معنی دار می‌باشند.

In each column, numbers that have common letters are no significant difference in the level of one percent



گیاه ذرت بود. نتایج به دست آمده با مطالعه جهان و همکاران (Jahan *et al.*, 2008) مطابقت داشت. آن‌ها بیان کردند که افزودن میکوریزا زمینه بهبود برقراری تعادل، جذب و انتقال عناصر غذایی از طریق ریشه به اندام هوایی را فراهم نموده و سبب افزایش کارایی جذب فسفر در این تیمارها شده است. از طرفی در توجیه تفاوت بین روند کاهشی درصد بازیافت کود در دو گیاه ذرت و سویا نیز می‌توان به میزان کلونیزاسیون ریشه اشاره کرد (جدول ۳). در این مورد کراوچنکو و همکاران (Kravtchenko *et al.*, 1994) بیان کردند که افزایش کلونیزاسیون ریشه منجر به توسعه سیستم ریشه‌های گیاه میزبان می‌شود؛ در نتیجه، سطح جذب ریشه‌ها به‌علت نفوذ هیف‌های قارچ در خاک افزایش یافته و با دسترسی ریشه به حجم بیشتری از خاک، کارایی جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد.

درصد بازیافت کود نتایج نشان داد که در گیاه ذرت و حضور میکوریزا با افزایش مقدار کود فسفر مصرفی، درصد بازیافت کود به صورت معنی‌داری کاهش یافت و بیشترین مقدار بازیافت در تیمار P1 با مقدار ۳۵/۱ درصد و کمترین مقدار مربوط به تیمار P4 با مقدار ۱/۲ درصد بود. با افزایش مقدار کود، میزان وابستگی گیاه به میکوریزا و نقش آن در حلالیت و فراهمی فسفر و در نتیجه درصد بازیافت کودی کاهش می‌یابد. روند کاهشی درصد بازیافت کود با افزایش سطوح کود مصرفی در هر دو گیاه مشاهده شد اما این روند کاهشی در مورد گیاه سویا به مراتب کندتر از ذرت بود (شکل ۲). در تیمارهای گیاه سویا بیشترین درصد بازیافت کود در تیمار P1 با دارا بودن مقدار ۱۴/۱ درصد و کمترین مقدار در تیمار P4 با مقدار ۰/۸ درصد بود. معنی‌دار نبودن درصد بازیافت کود در دو تیمار P2 و P3 در گیاه سویا نیز بیانگر تاثیر کمتر *Funneliformis mosseae* بر بهبود شرایط در مقایسه با



شکل ۲- درصد بازیافت کود در دو گیاه ذرت و سویا

Figure 2. Recycling rate of fertilizer in corn and soybean

خاک کم بوده و دو گیاه مورد مطالعه بیشترین وابستگی و پاسخ میکوریزی را نشان دادند. با افزایش سطوح کود در هر دو گیاه مقدار درصد بازیافت کود به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و این کاهش در گیاه سویا به واسطه وابستگی میکوریزی کمتر، نسبت به گیاه ذرت با شیب ملایم‌تری رخ داد. با توجه به نتایج به دست آمده همچنین توصیه می‌شود که قبل استفاده از نهاده‌های شیمیایی، تاثیرگذاری آن‌ها بر رفتار ریزجانداران، در هر خاک به دقت مورد بررسی قرار گیرد و با استفاده مناسب از کودهای شیمیایی، و به دنبال آن استفاده حداکثری از توان جوامع میکروبی خاک، زمینه‌سازی برای تولید بیشتر و بهتر محصولات کشاورزی در ازای هزینه کمتر فراهم شود.

نتیجه‌گیری کلی به‌طور کلی، نتایج این مطالعه گلخانه‌ای تاثیر مثبت و معنی‌دار افزایش مقدار فسفر بر ویژگی‌های رشدی دو گیاه ذرت و سویا را نشان داد و این افزایش در حضور میکوریزا تقویت شد. وابستگی میکوریزی در هر دو گیاه با مقدار فسفر خاک رابطه عکس داشت و با افزایش مقدار فسفر، مقدار آن در هر دو گیاه کاهش یافت. با کاهش در میزان وابستگی میکوریزی و درصد کلونیزاسیون، تاثیر میکوریزا بر پارامترهای مورد اندازه‌گیری در هر دو گیاه کاهش یافت به‌طوری‌که در سطوح بالای فسفر تفاوت بین حضور و عدم حضور میکوریزا کم شده و تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد. در پارامترهای اندازه‌گیری‌شده (به جز غلظت فسفر در اندام هوایی ذرت) بیشترین تفاوت بین حضور و عدم حضور میکوریزا مربوط به سطح P0 بود که در آن فسفر

## References

- Abdel-Fattah G.M., Asrar A.A., Al-Amri S.M., and Abdel-Salam E.M. 2014. Influence of phosphatase activity of soyben (*Glycine max L.*) plants. *Photosynthetica*, 52: 581-588.
- Alizadeh O. 2010. Evaluation effect of water stress and nitrogen rates on amount of absorption some macro and micro elements in corn plant mycorrhizae and non mycorrhizae. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 4(2): 153-158.
- Alizadeh O., Zare M., and Nasr A.H. 2011. Evaluation effect of Mycorrhiza inoculate under drought stress condition on grain yield of sorghum (*Sorghum bicolor*). *Advances in Environmental Biology*, 5: 2361-4
- Al-Karaki G., McMichael B., and Zak J. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14: 263-9.
- Al-Karaki G.N., and Al-Raddad A. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza*, 7(2): 83-88.
- Alloway B.J. 2004. Zinc in soils and crop nutrition. Brussels, Belgium: International Zinc Association, 139p.
- Alloway B. J. 2008. Micronutrients and crop production: An introduction. In *Micronutrient deficiencies in global crop production* Springer Netherlands. 353p.
- Amijee F., Tinker P.B., and Stribley D.P. 1989. The development of endomycorrhizal root systems. *New Phytologist*, 111(3): 435-446.
- Amirabadi M., Ardakani M.R., Rejali F., and Borji M. 2010. Determination of efficiency of mycorrhiza and Azotobacter in uptake of microelements, Zn, Cu and Fe under different levels of phosphorus in Corn Hybrid of KSC 704. *Soil and Water Research Institute, Iran*, 1: 49-56. (In Persian)
- Amou Aghaei R., Mostajeran A., and Emtiazi G. 2004. Rhizobium bacteria effect on growth indices and yield of wheat. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, University of Technology*. 2: 127-139. (In Persian)
- Bagayoko M., George E., Römheld V., and Buerkert A. 2000. Effects of mycorrhizae and phosphorus on growth and nutrient uptake of millet, cowpea and sorghum on a West African soil. *Journal of Agricultural Science*, 135: 399-407.
- Bolan N.S. 2000. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, 134: 189-207.
- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen-Urea. In: Miller R.H. and Keeney, D.R. (Ed.), *Method of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. USA*, pp. 699-708.
- Brundrett M.C. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist*, 154: 275-304.
- Calderon-Vazquez C., Ibarra-Laclette L., Caballero-Perez J., and Herrera-Estrella L. 2008. Transcript profiling of Zea mays roots reveals gene responses to phosphate deficiency at the plant- and species-specific levels. *Journal of Expert Botany*, 59: 2479-2497.
- Castillo C.G., Puccio F., Morales D., Borie F., and Sieverding E. 2012. Early arbuscular mycorrhiza colonization of wheat, barley and oats in Andosols of southern Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(3): 511-524.
- Chen B.D., Li X.L., Tao H.Q., Christie P., and Wong M.H. 2003. The role of arbuscular mycorrhiza in zinc uptake by red clover growing in a calcareous soil spiked with various quantities of zinc. *Chemosphere*, 50(6): 839-846.
- Ekin Z. 2010. Performance of phosphate solubilizing bacteria for improving growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus L.*) in the presence of phosphorus fertilizer. *African Journal of Biotechnology*, 9: 3794-3800.
- Fedderman N., Finlay R., Boller T., and Elfstrand M. 2010. Functional diversity in arbuscular mycorrhiza—the role of gene expression, phosphorus nutrition and symbiotic efficiency. *Fungal Ecology*, 3: 1-8.
- Feng G., Zhang F.S., Li Xi, Tian C.Y., Tang C., and Rengel Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*, 12: 185-190.

- Fitter A.H., Helgason T., and Hodge A. 2011. Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: implications for sustainable agriculture. *Fungal Biology Reviews*, 25(1): 68-72.
- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis. Methods of soil analysis: Part 1—*Physical and Mineralogical Methods*. Klute A. Ed. Chap. 15. American Society of Agronomy. *Soil Science Society of America*, 383–411.
- Gerdemann J.W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: The development and function of root (Ed. by J. G. Torrey and D. T. Clarkson), pp. Academic Press, New York. 575-595.
- Hetrick B.A.D., Wilson G.W.T., and Todd T.C. 1996. Mycorrhizal response in wheat cultivars: relationship to phosphorus. *Canadian Journal Botany*, 74: 19–25
- Jahan M., kouchaki M.R., and Nasiri Mahalati M. 2008. The effects of biological fertilizers on corn Agroecological characteristics in common agricultural and ecological systems. *Journal of Agricultural Research*, 7(2): 375-390. (In Persian)
- Khaliel A.S. 1988. Incidence of AM in some desert plants and correlation with edaphic factors. In: Mahadevam, A., Raman, N. and Natrajan, K. (Ed.), Mycorrhizal for Green Asia. Proceeding of 1<sup>st</sup> Asian conference on mycorrhizae, CAS in Botany, Madras, pp. 55–59.
- Khalil S., Loynachan T.E., and Tabatabai M.A. 1999. Plant determinants of mycorrhizal dependency in soybean. *Agronomy Journal*, 91: 135–141.
- Khalil S., Loynachan T.E., and Tabatabai M.A. 1994. Mycorrhizal dependency and nutrient uptake by improved and unimproved corn and soybean cultivars. *Agronomy Journal*, 86: 949–958.
- Koide R.T. 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New phytologist*, 117(3): 365-386.
- Kravchenko L.V., Leonova E.I., and Tikhonovich I.A. 1994. Effect of root exudates of non-legume plants on the response of auxin production by associated diazotrophs. *Microbial Releases*, 2: 267–271.
- Liu A., Hamel C., Hamilton R.I., and Ma B.L. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 9: 331–336.
- Loeppert, R.H., and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. In: Sparks D.L. (Ed.), Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA Book Series No. 5. *Soil Science Society of America Journal* and ASA, Madison, WI. p. 437-474.
- Marschner H., and Dell B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159: 89–102.
- Marzban Z., Amerian M.R., and Mamar Ababdi M. 2015. Beans and corn root colonization index of consumer characteristics and Mesorhizobium bacteria and fungus mycorrhiza Fungi in intercropping. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 4(2): 169-185. (In Persian)
- Menge B.A., Daley B.A., Lubchenco J., Sanford E., Dahlhoff E., Halpin P.M., Hudson G., and Burnaford J.L. 1999 Topdown and bottom-up regulation of New Zealand rocky intertidal communities. *Ecological Monographs*, 69: 297–330.
- Nadian H. 2012. Effect of drought stress and symbiotic mycorrhizae on growth and phosphorus uptake by two sorghum genotypes differing in root morphology. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Sciences*, 15(57): 127-140. (In Persian)
- Nelson L.L., and Allen A.B. 1993. Restoration of *Stipa pulchra* grasslands: Effects of mycorrhizae and competition from *Avena barbata*. *Restoration Ecology*, 2:40–50.
- Neumann E., and George E. 2009. The effect of arbuscular mycorrhizal root colonization on growth and nutrient uptake of two different cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Genotypes exposed to drought stress. *Emirate Journal of Food and Agriculture*, 21(2): 01-17.
- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus, In: Page A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, part 2, Chemical and Microbiological Properties, *Soil Science Society of American Journal*, Madison, pp. 403–430.
- Philips 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. *Transactions of the British Mycological Society*, 55: 158-161.

- Plenchette C., Fortin J.A., and Furlan V. 1983. Growth response of several plant species to mycorrhiza in a soil of moderate P-fertility. *Plant and Soil*, 70: 199-209.
- Ponmurugan P., and Gopi C. 2006. Distribution pattern and screening of phosphate solubilizing bacteria isolated from different food and forage crops. *Journal of Agronomy*, 5: 600-604.
- Santos R.D., Girardi C.G., Pescador R., and Stürmer S.L. 2010. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on post vitro growth of micropropagated *Zingiber officinale* roscoe. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(3): 765-771.
- Schneider A., and Morel C. 2000. Relationship between the isotopically exchangeable and resin extractable phosphate of deficient to heavily fertilized soil. *European Journal of Soil Science*, 51(4): 709-715.
- Schubler A., Schwarzott D., and Walker. C. 2001. A new fungal phylum, The Glomeromycota; Phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105: 1413-1412.
- Smith S.E., and Read D.J. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*, Academic Press. San Diego. CA, 605p.
- 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 Phytologist*, 162: 511-524.
- Smith S.E., and Read D.J. 2008. *Mycorrhizal symbiosis* 3<sup>rd</sup> ed. London: Academic Press, 815p.
- Treseder K.K. 2004. A meta-analysis of mycorrhizal responses to nitrogen, phosphorus, and atmospheric CO<sub>2</sub> in field studies. *New Phytologist*, 164: 347-355.
- Vamerali T., Saccomani M., Mosca S., Guarise N., and ganis. A. 2003. A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. *Plant and soil*, 25: 157-167.
- Walkley A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.

## Effects of Phosphorus on Mycorrhizal Dependency, Growth Characteristics and Absorption of Phosphorus in Corn and Soybeans

Jalal Sadeghi<sup>1</sup>, Amir Lakzian<sup>2\*</sup>, Alireza Astarai<sup>3</sup>, Akram Halajnia<sup>4</sup>

(Received: April 2017 Accepted: December 2017)

### Abstract

Phosphorus deficiency in tropical and problems of high consumption of chemical fertilizers, the importance of addressing the coexistence of plants with soil microorganisms increases. For this purpose, an experiment in a completely randomized design with factorial arrangement and three replications was conducted. Experimental treatments included five levels of phosphorus ((P0) 0, (P1) 25, (P2) 50, (P3) 75 and (P4) 100% of fertilizer) and two levels of presence (M1) and absence (M0) of *Funneliformis mosseae*. Statistical analysis showed that the effect of different levels of phosphorus and mycorrhiza on all measured traits were significant at the one percent level. By increasing the amount of phosphorus, mycorrhizal dependency and response and colonization in two plants was decreased but other traits measured by the amount of phosphorus and of mycorrhizae increased. Shoot dry weight (corn and soybean), root dry weight (corn), plant height, concentration and phosphorus uptake of both corn and soybeans in treatment P4M1 and P0M0 was highest and lowest, respectively. In most of the evaluated parameters, the biggest difference between absence and presence of mycorrhizae in P0 observed that a significant effect of mycorrhiza at the time of the low amount of elements, especially phosphorus. By increasing the amount of phosphorus, the difference between treatments with mycorrhiza than no treatment at all levels of fertilizer, fell. In each level of fertilizer, with increasing fertilization, the difference between treatments with mycorrhizal and non-mycorrhizal treatments was reduced.

**Keywords:** Growth Characteristics, Phosphorus, *Funneliformis mosseae*, Mycorrhizal Dependency

Sadeghi J., Lakzian A., Astarai A. and Halajnia A. 2019. Effects of phosphorus on mycorrhizal dependency, growth characteristics and absorption of phosphorus in corn and soybeans. *Applied Soil Research*, 6(4): 58-70.

1-MSc Student, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

2-Professor, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

3-Associate Professor, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

4-Assistant Professor, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

\* Corresponding Author Email: [alakzian@yahoo.com](mailto:alakzian@yahoo.com)