

بررسی اثر قارچ‌های میکوریزوسیکولار-آربوسکولار، فسفر و تنش خشکی
بر کارآیی جذب عناصر غذایی در گیاه گندم

The Study of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae Fungi, Phosphorus and Drought
Stress Effects on Nutrient Uptake Efficiency in Wheat

امیرحسین شیرانی راد، عزیزالله علیزاده و ابوالحسن هاشمی دزفولی

مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

تاریخ دریافت: ۱۳۷۸/۱۱/۱۴

چکیده

شیرانی راد، ا.ح. و علیزاده، ع. ۱۳۷۹. بررسی اثر قارچ‌های میکوریزوسیکولار-آربوسکولار، فسفر و تنش خشکی بر کارایی جذب عناصر غذایی در گیاه گندم. نهال و بذر ۱۶: ۳۴۹-۳۲۷.

به منظور بررسی اثر قارچ‌های میکوریزوسیکولار-آربوسکولار (VA) فسفر و تنش خشکی بر کارآیی جذب عناصر غذایی در گیاه گندم، سه عامل قارچ (در دو سطح، کاربرد و عدم کاربرد آن)، فسفر در (سه سطح ۶ و ۱۲ گرم P_2O_5 در متر مربع) و آبیاری (از مرحله ظهور سنبله در پنج سطح ۱/۵۵، ۲/۴۶، ۱/۳۶، ۸/۲۴ و ۵/۱۰ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری) بر اساس روش هنکس و همکاران (Hanks *et al.*, 1980) در ۳ تکرار بر روی گندم مهدوی بررسی گردیدند. بر اساس نتایج به دست آمده، کاربرد قارچ سبب افزایش کارآیی جذب فسفر و پتاسیم گردید و اثر فسفر نیز بر صفات مذکور در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ از نظر کارآیی جذب ازت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در حالی که سطوح مختلف فسفر از لحاظ این صفت اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد نشان دادند. مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه قارچ، فسفر و آبیاری بر روی کارآیی جذب فسفر مشخص نمود که در گیاه گندم همزیست با قارچ میکوریز VA در شرایطی که ۲/۴۶ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری بدون مصرف فسفر در نظر گرفته شد، بیشترین کارآیی جذب فسفر (۲۲۸/۷ گرم فسفر جذب شده به ازای هر کیلوگرم فسفر قابل جذب خاک) مشاهده گردید. در حالی که در گیاه گندم غیر همزیست، بالاترین میزان این صفت (۲۹۵ گرم فسفر جذب شده به ازای هر کیلوگرم فسفر قابل جذب خاک) ناشی از مصرف

* این مقاله بر اساس نتایج به دست آمده از اجرای پروژه تحقیقاتی شماره ۴۰۱۰۳۲۹۲ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تنظیم گردیده و قسمتی از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد که به گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران ارائه شده است.

۵۵/۱ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری و ۶ گرم P_2O_5 در مترمربع بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که قارچ میکوریز VA در افزایش کارایی جذب فسفر گیاه به خصوص در شرایط فسفر پایین خاک بسیار حایز اهمیت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گندم، قارچ‌های میکوریز و سیکولار - آربوسکولار، فسفر، تنش خشکی، کارایی جذب عناصر غذایی.

مقدمه

فسفر یکی از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه است. این عنصر در تشکیل گل و دانه‌بندی گیاهان حایز اهمیت است، همچنین یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در تولید محصول به شمار می‌آید. فسفر در فرآیندهای بیوشیمیایی زیادی دخالت دارد و به عنوان بخشی از اسیدهای نوکلئیک، نقش ویژه دارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۷۳). بنابراین استفاده کارآمد از کودهای فسفر یکی از مدیریت‌ها و ضرورت‌های کشاورزی مدرن به شمار آمده و یکی از پایه‌های اساسی کشاورزی پایدار را تشکیل می‌دهد. از جمله روش‌های بالقوه به منظور استفاده کارآمد از فسفر، کاربرد مناسب قارچ‌های میکوریز VA می‌باشد. این قارچ‌ها با ریشه گیاهان به صورت همزیست زندگی کرده و به درون سلول‌های کورتکس راه می‌یابند و در عین حال با گسترش ریشه خود به درون خاک، جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر را که از تحرک اندکی برخوردار است، افزایش می‌دهند و به این ترتیب فسفر غیر قابل جذب در خاک را به صورت فسفر قابل استفاده برای گیاه در می‌آورند (Cox and Tinker, 1976). ازت دومین عنصری است که در همزیستی گیاه با قارچ میکوریز VA

اهمیت فراوانی دارد. در ریشه گیاهان خانواده Fabaceae که در آن‌ها همزیستی با باکتری *Bradyrhizobium japonicum* وجود دارد اگر مایه‌زنی میکوریز هم صورت گیرد، اثر توأم این دو میکروارگانیسم نه تنها جذب فسفر، ازت و پتاسیم را افزایش می‌دهد بلکه میزان گره‌زایی و تثبیت ازت را نیز بهبود می‌بخشد (Stribley, 1987; Azcon et al., 1991; Jensen

همزیستی قارچ‌های میکوریز با گیاهان به ویژه در خاک‌هایی که مقدار فلزات سنگین در آن‌ها بسیار کم است، سبب افزایش جذب این عناصر می‌شود (Phodes and Gerdman, 1978). در یک آزمایش گلخانه‌ای بذره‌های گندم با قارچ میکوریز VA (*Glomus mosseae*) یا باکتری حل‌کننده فسفات P.S.B. و یا باکتری *Azospirillum brasilense* مایه‌زنی گردیدند. نتایج آزمایش نشان داد که گندم مایه‌زنی شده با قارچ میکوریز، غلظت فسفر بیشتری نسبت به گندم مایه‌زنی شده با باکتری داشت (Zaghloul et al., 1996). در آزمایش دیگری مایه‌زنی با قارچ‌های میکوریز VA (گونه‌های *Glomus*)، جذب فسفر را ۱۵۴/۵ درصد نسبت به شاهد (بدون مایه‌زنی) افزایش داد

افزایش غلظت پتاسیم و منیزیم اندام‌های هوایی گردید و این افزایش در مایه‌زنی مرکب با قارچ‌های *Aspergillus fumigatus* و *G. mosseae* بیشتر بود (Tarafdar and Marschner, 1995). نتایج آزمایشی که به وسیله زاقلوئل و همکاران (Zaghloul et al., 1996) به دست آمد، نشان داد که همزیستی گندم با قارچ میکوریز VA (*G. mosseae*) سبب افزایش غلظت پتاسیم گیاه گردید. در همزیستی گیاه با قارچ‌های میکوریز، میزان جذب عناصر غذایی تا حدود زیادی تحت تأثیر غلظت نسبی آن‌ها در خاک قرار دارد (Kleinschmidt and Gerdman, 1972).

تحقیق حاضر نیز به منظور بررسی اثر قارچ‌های میکوریز و سیکولار-آربوسکولار، فسفر و تنش خشکی بر کارایی جذب عناصر غذایی نظیر ازت، فسفر و پتاسیم در گیاه گندم (رقم مهدوی) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق بر اساس سیستم آبیاری بارانی تک شاخه‌ای طراحی شده توسط هنکس و همکاران (Hanks et al., 1980) در مزرعه آزمایشی بخش تحقیقات خاک و آب کرج در سال ۱۳۷۵ به اجرا درآمد. بر طبق این روش آبیاری، یک خط آبیاری بارانی در وسط هر قطعه آزمایشی به موازات ردیف‌های کاشت قرار گرفت. دو نیمه یکی در قسمت چپ و دیگری در قسمت راست و سه تکرار به موازات این خط واقع گردید. دو قطعه آزمایشی با فاصله ۵ متر از یکدیگر به این سیستم آبیاری بارانی مجهز شدند. هر قطعه آزمایشی از

(Mikhaeel et al., 1997). همزیستی گندم با قارچ‌های میکوریز سبب افزایش جذب فسفر خاک شد، میزان جذب به نوع خاک، تراکم و طول ریشه‌های قارچ، فعالیت فسفاتاز و مقدار فسفر، موجود در خاک بستگی داشت (Tarafdar and Marschner, 1994 a,b). مطالعه و بررسی فعالیت فسفاتاز قارچ میکوریز VA *G. mosseae* در ریزوسفر گندم مایه‌زنی شده با آن در دو حالت استفاده از فسفر آلی و معدنی نشان داد که: الف - در ریزوسفر، فعالیت فسفاتاز اسیدی بیشتر از فسفاتاز قلیایی بود و هر دو آنزیم فراهم بودن فسفر آلی را برای گیاه مایه‌زنی شده با قارچ میکوریز افزایش داد، ب - فسفر آلی، درصد طول ریشه آلوده را افزایش داد، ج - فعالیت فسفاتاز با طول ریشه قارچ همبستگی داشت و بیشترین فعالیت آن در هیوسفر بود و د - همزیستی گندم با میکوریز سبب افزایش میزان فسفر گیاه و جذب فسفر کل شد (Tarafdar and Marschner, 1994 a,b). مایه‌زنی با قارچ‌های میکوریز VA (گونه‌های مختلف *Glomus*)، جذب ازت در گندم، ۹۸/۳ درصد نسبت به شاهد (بدون مایه‌زنی) افزایش داد (Mikhaeel et al., 1997). مایه‌زنی گندم با قارچ میکوریز سبب افزایش غلظت ازت نسبت به شاهد (بدون مایه‌زنی) گردید و این افزایش در زمانی که مایه‌زنی مرکب با قارچ میکوریز و ازتوباکتر صورت گرفت، بیشتر شد (Elgala et al., 1995). مایه‌زنی خاک زیر کشت گندم با قارچ میکوریز VA (*G. mosseae*) سبب

۷۹ درصد بود.

قبل از پیاده کردن سیستم در دو قطعه آزمایشی، در قطعه زمین مجاور اقدام به تعیین الگوی پاشش گردید. بعد از معین شدن الگوی پاشش، سیستم آبیاری بارانی در زمان مناسب به قطعه‌های اصلی منتقل شد. به منظور تعیین میزان آب دریافتی برای هر کرت آزمایشی در هر دور آبیاری، قوطی‌های جمع‌آوری آب به تعداد یک عدد در وسط هر کرت کار گذاشته شد و پس از هر آبیاری، مقدار آب جمع شده در داخل آن‌ها اندازه‌گیری گردید. هر $7/8$ سانتی‌متر مکعب آب جمع‌آوری شده به وسیله قوطی‌ها برابر ۱ میلی‌متر ارتفاع آبیاری است. برای تکثیر قارچ‌های میکوریز VA در گلخانه و تولید مایه قارچ جهت کاربرد در مزرعه، عمدتاً از دو گیاه سورگوم و ذرت استفاده شد. محتویات داخل گلدان‌ها که شامل خاک، ریشه آلوده گیاه و ریشه قارچ بود به عنوان مایه قارچ در گلدان‌های بزرگتر مورد استفاده قرار گرفت. این عمل در سه دوره چهار ماهه تکرار گردید تا مایه قارچ مورد نظر برای استفاده در آزمایش مزرعه‌ای گندم آماده شد. قارچ‌های این مایه عمدتاً مخلوطی از *Glomus monosporum*، *G. fasciculatum* و *G. mosseae* بودند. خواص شیمیایی مایه قارچ در جدول ۱ نشان داده شده است.

پس از آماده شدن کامل دو قطعه زمین مورد نظر، جهت اعمال تیمارهای مورد آزمون در کرت‌های آزمایشی مطابق نقشه کشت، موارد زیر انجام شد: بر اساس نتایج آزمایش خاک، معادل $13/5$ گرم در مترمربع ازت خالص و $7/5$ گرم

۹۰ کرت تشکیل شده بود. هر کرت دارای ۶ خط ۶ متری با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و مساحت ۱۸ مترمربع بود. در این تحقیق، سه عامل قارچ، فسفر و آبیاری جمعاً شامل ۳۰ تیمار آزمایشی بررسی گردیدند. به یک قطعه آزمایشی، مایه قارچ میکوریز VA معادل ۱۲۰۰ گرم در مترمربع افزوده شد. این مایه حاوی خاک، ریشه آلوده گیاه و ریشه قارچ بود و در هر ۱۰۰ گرم وزن خشک آن حدود ۱۲۱۵ هاگ وجود داشت. قطعه دیگر فاقد مایه قارچ بود. عامل فسفر در سه سطح ۰، ۶ و ۱۲ گرم P_2O_5 در مترمربع مورد استفاده قرار گرفت و کشت هر دو قطعه آزمایشی در تاریخ ۱۵ آبان ماه با استفاده از گندم مهدوی انجام شد. همچنین عامل آبیاری از مرحله ظهور سنبله در پنج سطح $1/55$ ، $2/46$ ، $1/36$ ، $8/24$ و $5/10$ میلی‌متر ارتفاع آب در هر دور آبیاری منظور گردید. دور آبیاری بر مبنای کاهش رطوبت خاک تا ۵۰ درصد آب قابل استفاده در رفتار بدون تنش بود. بنابراین با احتساب آبیاری نشتی و آبیاری بارانی، مقدار کل آب دریافتی در تیمارهای یاد شده به ترتیب ۵۴۵۴، ۵۰۹۸، ۴۶۹۴، ۴۲۴۲ و ۳۶۷۰ متر مکعب در هکتار بود. سیستم آبیاری بارانی تک شاخه‌ای شامل ۱۳ عدد آبیاری دو طرفه مدل رین برد (Rine Bird) با نازل‌های $3/32$ و $5/32$ اینچ و زاویه پاشش ۷ درجه، پایه آبیاری با قطر $3/4$ اینچ و ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر، لوله پلی‌تیلن ۶۳ میلی‌متری، فاصله آبیاری ۶ متر و دبی هر آبیاری به طور متوسط ۰/۳ لیتر در ثانیه، فشار پمپ ۳ اتمسفر، قطر پاشش در شرایط بدون وزش باد، ۳۰ متر و هم پوشانی آبیاری حدود

وزن هزار دانه معادل ۱۶۵ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. به منظور انجام آبیاری‌های اولیه جهت سبز شدن بذر و استقرار گیاهچه‌ها، جوچه‌های آبیاری ایجاد گردیدند. اولین آبیاری به صورت نشتی با استفاده از سیفون بعد از کشت انجام شد. آبیاری‌های بعدی نیز تا زمان نصب سیستم آبیاری در اواخر فروردین ماه به همین صورت بود. یک سوم کود ازت به صورت سرک در اواسط اسفندماه و یک سوم دیگر در اوایل اردیبهشت ماه مصرف گردید. در اردیبهشت ماه اولین آبیاری با استفاده از سیستم ذکر شده صورت گرفت و تا قبل از رسیدن فیزیولوژیک گیاه ادامه یافت. مقدار آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت مزرعه در رفتار بدون تنش با استفاده از فرمول زیر تعیین شد:

در مترمربع K_2O در نظر گرفته شد. منابع تأمین ازت و پتاسیم به ترتیب کودهای اوره و سولفات پتاسیم بودند. عامل فسفر در سه سطح ۶۰، ۱۲ و گرم P_2O_5 در مترمربع از طریق کود سوپر فسفات تریپل تأمین گردید. عامل قارچ با دو رفتار شامل عدم کاربرد قارچ و مایه قارچ بر مبنای ۱۲۰۰ گرم در مترمربع تهیه شد. کود و مایه قارچ ذکر شده بر اساس مساحت کرت‌های آزمایشی به طور جداگانه برای هر کرت توزین و به طور یکنواخت پخش و سپس با خاک مزرعه تا عمق ۱۰ سانتی متری مخلوط شدند. البته یک سوم ازت مورد نیاز به عنوان ازت پایه در این مرحله مورد استفاده قرار گرفت. کشت گندم (رقم مهدوی) به وسیله دستگاه خطی کار انجام شد. مقدار بذر مورد استفاده بر مبنای تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع و با توجه به

(درصد رطوبت وزنی نمونه خاک - درصد رطوبت وزنی خاک در ظرفیت مزرعه) × وزن مخصوص ظاهری خاک × عمق ریشه = ارتفاع آب آبیاری (سانتی متر)

۱۰۰

جدول ۱ - خواص شیمیایی مایه قارچ

Table 1. Chemical characteristics of VAM inoculum

هدایت الکتریکی	واکنش گل اشباع	کربنات کلسیم	کربن آلی	ازت کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
EC	pH of	CaCO ₃	O.C.	Total N	P(ava.)	K(ava.)
(ds m ⁻¹)	paste	(%)	(%)	(%)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
14.7	8.3	10.0	2.55	0.355	80.0	860.0

جدول ۲ - خواص شیمیایی خاک مزرعه آزمایش قبل از کاشت

Table 2. Soil chemical characteristics before planting

عمق	هدایت الکتریکی	واکنش گل اشباع	کربنات کلسیم	کربن آلی	ازت کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
Depth	EC	pH of	CaCO ₃	O.C.	Total N	P(ava.)	K(ava.)
(cm)	(ds m ⁻¹)	paste	(%)	(%)	(%)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
0-30	0.73	7.7	10.3	0.53	0.053	9.2	217.5
30-60	0.59	7.8	12.3	0.34	0.038	3.6	174.5

حاصل بر اساس روش هنکس و همکاران (Hanks et al., 1980) تجزیه گردیدند و مقایسه میانگین‌ها به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی اثر قارچ‌های میکوریز و سیکولار- آربوسکولار، فسفر و تنش خشکی بر کارایی جذب فسفر، ازت و پتاسیم در گندم مهدوی به شرح زیر بود:

۱- کارایی جذب فسفر

در بررسی اثر قارچ‌های میکوریز VA بر روی کارایی جذب فسفر مشخص گردید که بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ از لحاظ این صفت تفاوت بسیار معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). به طور کلی کاربرد قارچ سبب افزایش کارایی جذب فسفر نسبت به عدم کاربرد آن گردید (شکل ۱). در تفسیر این نتیجه می‌توان اظهار نمود که قارچ از طریق انشعابات میسلیمی و ریشه‌های خود سبب توسعه ریشه گیاه شده و از این طریق باعث استفاده ریشه گیاه از ریزوسفر گسترده‌تر شده است (Bowen, 1973; Reid and Bowen, 1979). از طرف دیگر با تولید آنزیم فسفاتاز سبب تجزیه فسفات‌های آلی و پیروفسفات‌های غیر آلی شده و به ترتیب موجب فراهم کردن فسفر غیر قابل جذب برای گیاه گردیده است. (Bowen, 1970; and Marschner, 1995; Theodoru and Tarafdar and Marschner, 1994 b; Tarafdar and Marschner, 1994 b; Tarafdar and Marschner, 1994 b; Tarafdar and Marschner, 1994 b; Bartlett and Lewis, 1973; Bowen, 1970). بنابراین باعث افزایش جذب فسفر و بالا رفتن مقدار فسفر کل

آبیاری در بعد از ظهر انجام شد زیرا در این موقع سرعت باد کمتر و تلفات آب نیز پایین‌تر بود. جهت بررسی و برقراری ارتباط بین رطوبت خاک و عوامل گیاهی و همچنین تعیین زمان آبیاری مناسب، درصد رطوبت وزنی در دو عمق ۳۰- و ۶۰- سانتی متر با استفاده از فرمول زیر تعیین شد:

$$100 \times \frac{\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک مرطوب}}{\text{وزن خاک خشک}} = \text{درصد رطوبت وزنی}$$

همچنین به منظور تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی و بررسی وضعیت عناصر غذایی ازت، فسفر و پتاسیم در کرت‌های آزمایشی اقدام به تهیه نمونه خاک از عمق‌های ذکر شده گردید. این عمل برای کلیه کرت‌ها به طور جداگانه انجام شد (جدول‌های ۲ و ۳).

در طول دوره رشد و نمو گیاه از مراحل فنولوژیکی آن یادداشت‌برداری به عمل آمد. جهت تعیین غلظت عناصر غذایی در گیاه، از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و از سطح خاک قطع گردید. این عمل قبل از زرد شدن برگ‌ها صورت گرفت. نمونه‌ها پس از خشک شدن، توسط آسیاب برقی، آرد گردیدند و درصد ازت، فسفر و پتاسیم آن‌ها به ترتیب با روش‌های کلدال، نورسنجی با معرف مولیبدات و انادات و فیلم فتومتری اندازه‌گیری شد. برای تعیین کارایی جذب عناصر غذایی نظیر ازت، فسفر و پتاسیم از فرمول‌های زیر استفاده شد:

$$\text{مقدار عنصر غذایی موجود در گیاه} = \frac{\text{کارایی جذب عناصر غذایی} \times \text{مقدار عنصر غذایی اضافه شده به خاک} + \text{مقدار عنصر غذایی خاک قبل از کاشت}}{\text{درصد عنصر غذایی کل گیاه قبل از زرد شدن برگ‌ها} \times \text{وزن خشک کل گیاه قبل از زرد شدن برگ‌ها}} = \text{مقدار عنصر غذایی موجود در گیاه داده‌های}$$

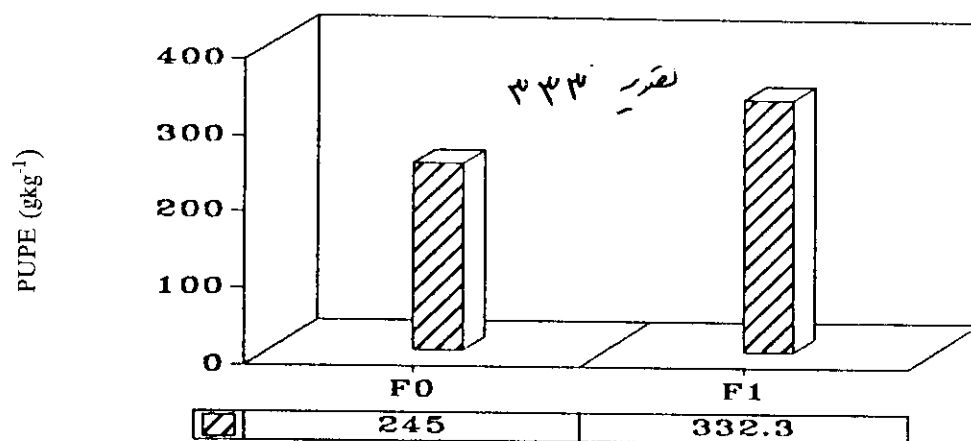
روابط خطی و درجه دوم معنی‌داری به شرح زیر وجود دارد:

$$Y = 337.85 - 8.208X$$

$$Y = 322.6 + 7.042X - 1.271X^2$$

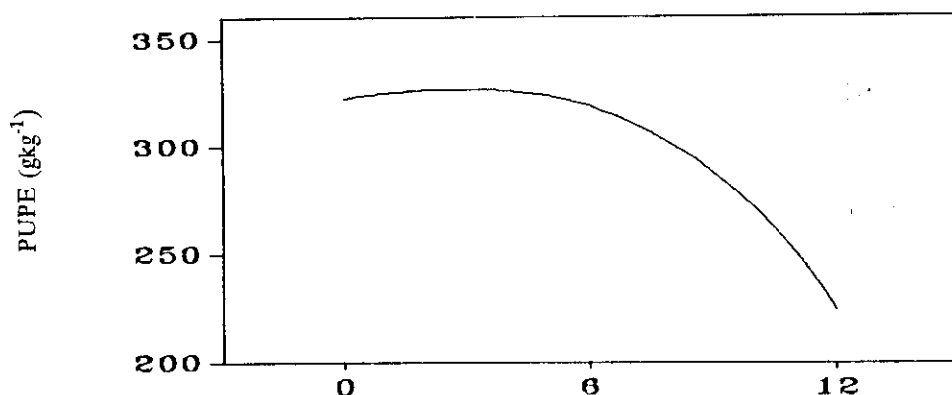
معنی‌دار شدن رابطه خطی با شیب منفی نشان می‌دهد که کارایی جذب فسفر با مقدار فسفر رابطه معکوس دارد. علاوه بر این، جزء غیر خطی نیز معنی‌دار بود. یعنی ارتباط درجه دوم نیز بین این صفت و مقدار فسفر برقرار می‌باشد (شکل ۲). اثر متقابل قارچ و فسفر بر روی صفت مذکور بسیار معنی‌دار بود. این موضوع نشان‌دهنده آن است که اثر قارچ بر روی کارایی جذب فسفر مستقل از اثر فسفر نبوده و تحت تأثیر آن واقع شده است.

گیاه شده است. از آنجایی که کارایی جذب فسفر به طور مستقیم به مقدار فسفر کل گیاه وابسته است، لذا استفاده از قارچ سبب افزایش این صفت گردیده است. در بررسی اثر فسفر بر روی کارایی جذب فسفر مشاهده گردید که بین سطوح مختلف فسفر از نظر این صفت تفاوت بسیار معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). اضافه نمودن فسفر به خاک به میزان ۶ گرم P_2O_5 در مترمربع سبب تغییر معنی‌داری در کارایی جذب فسفر نشد، در حالی که افزایش بیش از این مقدار، کاهش معنی‌داری در این صفت ایجاد کرد (جدول ۵). تفکیک مجموع مربعات عامل فسفر به اجزای آن نشان داد که بین کارایی جذب فسفر (Y) و مقدار فسفر (X)،



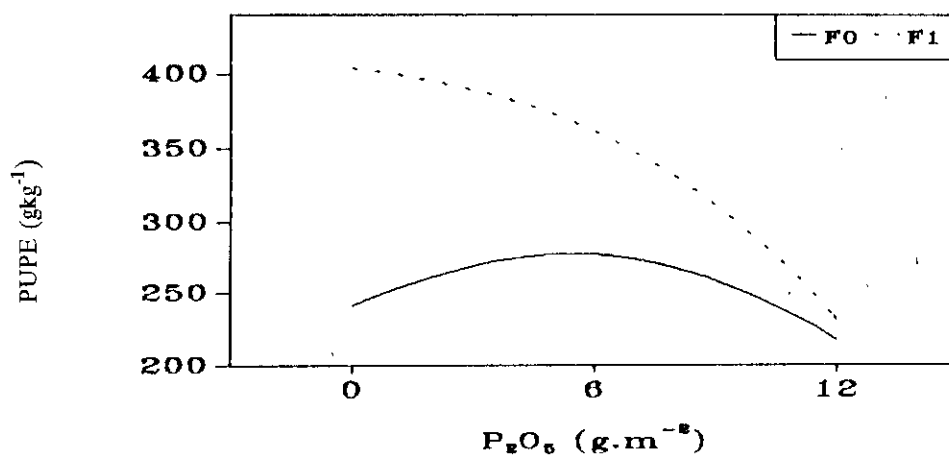
شکل ۱ - مقایسه کارایی جذب فسفر گندم مهدوی در دو حالت کاربرد (F1) و عدم کاربرد (F0) قارچ میکوریز VA

Fig. 1. Comparison of phosphorus uptake efficiency in wheat cultivar Mahdavi, with (F1) and without (F0) application of VAM fungi



شکل ۲- منحنی پاسخ کارآیی جذب فسفر گندم مهدوی به ازای سطوح مختلف فسفر

Fig. 2. Response curve of phosphorus uptake efficiency in different levels of phosphorus in wheat cultivar Mahdavi



شکل ۳- منحنی پاسخ کارآیی جذب فسفر گندم مهدوی به ازای سطوح مختلف فسفر در دو حالت کاربرد (F1) و عدم کاربرد (F0) قارچ میکوریز VA

Fig. 3. Response curve of phosphorus uptake efficiency in different levels of in wheat cultivar Mahdavi, with (F1) and without (F0) application of VAM phosphorus fungi

جدول ۳- خواص فیزیکی و خاک مزرعه آزمایش قبل از کاشت

Table 3. Soil physical characteristics before planting

Texture	بافت	وزن مخصوص							
		S.P.	F.C.	P.W.P.	A.S.W. (gcm ⁻³)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Depth (cm)
Sandy clay loam	شنی رسی لومی	35.5	15.5	5.97	1.55	50.0	20.0	30.0	0-30
Sandy clay loam	شنی رسی لومی	33.0	14.2	4.89	1.58	54.0	18.0	28.0	30-60

S.P.= Saturate percent

F.C.= Field capacity

P.W.P.= Permanent wilting point

A.S.W.= Apparant Special weight.

و فسفر به اجزای آن نیز حاکی از وجود روابط خطی و درجه دوم معنی دار بین کارآیی جذب در فسفر کاربرد (Y) و مقدار فسفر (X) هر دو حالت و عدم کاربرد قارچ بود. این روابط عبارتند از:

$$Y = 275.1 - 2.017X$$

عدم کاربرد قارچ:

$$Y = 241.2 + 13.883X - 1.325X^2$$

عدم کاربرد قارچ:

$$Y = 418.617 - 14.392X$$

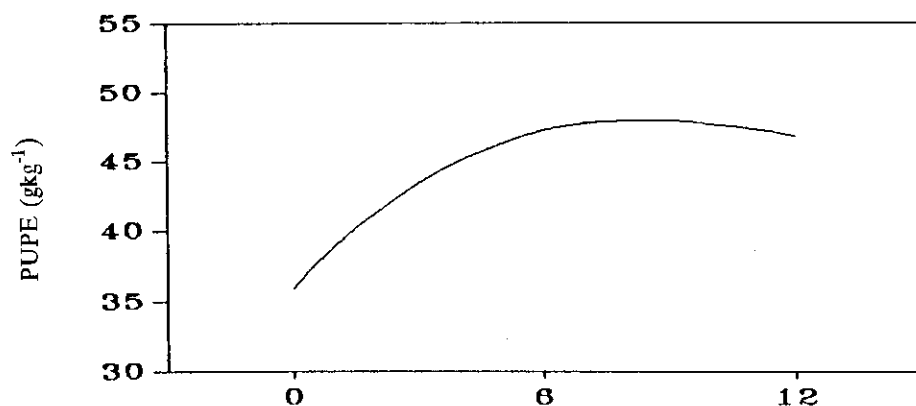
کاربرد قارچ:

$$Y = 404 + 0.225X - 1.218X^2$$

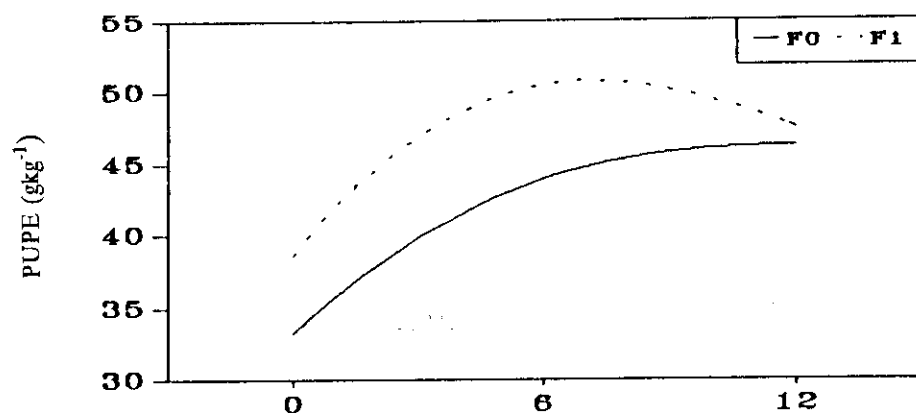
کاربرد قارچ:

همانطور که ملاحظه می شود در حالت کاربرد قارچ، شیب رابطه خطی منفی تر از تیمار عدم کاربرد قارچ می باشد. این موضوع نشان می دهد که اضافه نمودن فسفر به خاک در تیمار کاربرد قارچ تأثیر منفی بیشتری نسبت به تیمار عدم کاربرد قارچ بر روی کارآیی جذب فسفر دارد. زیرا افزایش مقدار فسفر خاک سبب کاهش فعالیت قارچ می شود. علاوه بر این، معنی دار بودن رابطه درجه دوم نیز نشان دهنده آن است که میزان کاهش کارآیی جذب فسفر با افزایش مقدار فسفر به صورت غیرخطی می باشد (شکل ۳). اثر متقابل

مقایسه میانگین اثر قارچ و فسفر بر روی این صفت نشان داد که در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد قارچ با افزایش مقدار فسفر، کارآیی جذب فسفر کاهش یافت. همچنین در هر یک از سطوح فسفر، کاربرد قارچ نسبت به عدم کاربرد آن برتری معنی دار داشت و این برتری در سطح فسفر صفر به بالاترین میزان رسید (جدول ۷). آنجایی که کارآیی جذب فسفر با مقدار فسفر کل گیاه رابطه مستقیم و با مقدار فسفر اضافه شده به خاک رابطه معکوس دار. بنابراین کاربرد قارچ به دلیل افزایش جذب آب و عناصر غذایی از یک طرف سبب افزایش وزن خشک کل گیاه شده و از طرف دیگر باعث افزایش غلظت فسفر گیاه گردیده است. در نتیجه، مقدار فسفر کل گیاه را افزایش داده است. چون مقدار فسفر اضافه شده به خاک در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد قارچ به طور یکسان در نظر گرفته شده است، لذا با افزایش صورت کسر کارآیی جذب فسفر یعنی مقدار فسفر کل گیاه، صفت مذکور نیز در اثر کاربرد قارچ افزایش نشان داده است. تجزیه مجموع مربعات اثر متقابل قارچ



شکل ۴- منحنی پاسخ کارآیی جذب ازت گندم مهدوی به ازای سطوح مختلف فسفر
 Fig. 4. Response curve of nitrogen uptake efficiency in wheat cultivar Mahdavi, in different levels of phosphorus



شکل ۵- منحنی پاسخ کارآیی جذب ازت گندم مهدوی به ازای سطوح مختلف فسفر در دو حالت کاربرد (F1) و عدم کاربرد (F0) قارچ میکوریز VA
 Fig. 5. Response curve of nitrogen uptake efficiency in wheat cultivar Mahdavi, in different levels of phosphorus, with (F1) and without (F0) application of VAM fungi

جدول ۴ - میانگین مربعات تجزیه واریانس کارآیی جذب فسفر، ازت و پتاسیم در گندم مهدوی بر اساس روش هنکس

Table 4. Mean squares for phosphorus, nitrogen and potassium uptake efficiency in wheat (Mahdavi cultivar) base on Hanks method

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی	کارآیی جذب	کارآیی جذب	کارآیی جذب
			ازت	ازت	پتاسیم
		df	PUpE	NUpE	KUpE
Replication (R)	تکرار	2	57.708 ^{ns}	27.117 ^{ns}	0.188 ^{ns}
Fungus (F)	قارچ	1	3426.962 ^{**}	884.45 ^{ns}	95.193 ^{**}
Error	خطا	2	6.046	51.317	0.845
Phosphorus (P)	فسفر	2	1874.255 ^{**}	2477.917 ^{**}	173.243 ^{**}
Error	خطا	4	12.247	11.283	0.549
F x P	قارچ x فسفر	2	827.310 ^{**}	120.017 [*]	26.801 ^{**}
Error	خطا	4	2.745	12.183	0.048
Irrigation (I)	آبیاری	4	86.201 ^{nv}	804.744 ^{nv}	31.311 ^{nv}
Error	خطا	8	4.672	8.394	0.320
F x I	قارچ x آبیاری	4	1.465 ^{ns}	0.644 ^{ns}	0.062 ^{ns}
Error	خطا	8	3.952	3.178	0.317
P x I	فسفر x آبیاری	8	4.581 ^{ns}	7.757 [*]	0.415 ^{**}
Error	خطا	16	2.839	2.394	0.093
F x P x I	قارچ x فسفر x آبیاری	8	1.959 ^{ns}	0.774 ^{ns}	0.050 ^{ns}
Error	خطا	16	5.273	2.607	0.205
Half=H	نیمه	1	276.768 ^{nv}	92.45 ^{nv}	3.281 ^{nv}
Error	خطا	2	8.450	17.117	1.440
F x H	قارچ x نیمه	1	0.080 ^{ns}	46.006 ^{ns}	2.568 [*]
Error	خطا	2	7.503	13.472	0.061
P x H	فسفر x نیمه	2	16.291 ^{ns}	3.517 ^{ns}	4.377 ^{**}
Error	خطا	4	4.082	5.883	0.158
F x P x H	قارچ x فسفر x نیمه	2	1.816 ^{ns}	8.172 ^{ns}	0.958 ^{**}
Error	خطا	4	1.843	16.339	0.030
I x H	آبیاری x نیمه	4	11.761 ^{nv}	16.089 ^{nv}	0.437 ^{nv}
Error	خطا	8	3.122	1.922	0.104
F x I x H	قارچ x آبیاری x نیمه	4	0.268 ^{ns}	1.144 ^{ns}	0.026 ^{ns}
Error	خطا	8	3.098	1.111	0.141
P x I x H	فسفر x آبیاری x نیمه	8	2.994 ^{ns}	2.885 ^{ns}	0.178 ^{ns}
Error	خطا	16	2.884	1.731	0.271
F x P x I x H	قارچ x فسفر x آبیاری x نیمه	8	0.838 ^{ns}	1.540 ^{ns}	0.058 ^{ns}
Error	خطا	16	3.779	2.582	0.167
Total	کل	179	-	-	-

ns, nv, * و **: به ترتیب فاقد ارزش، غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪.

nv, ns, * and **: Not value, non significant, significant at the 5% and 1% levels of probability respectively.

جدول ۵ - مقایسه میانگین کارآیی جذب فسفر، ازت و پتاسیم در سطوح مختلف فسفر
 Table 5. Mean comparison of phosphorus, nitrogen and potassium uptake efficiency at different phosphorus levels

فسفر P ₂ O ₅ (gm ⁻²)	کارآیی جذب فسفر PUpE (gkg ⁻¹)	کارآیی جذب ازت NUpE (gkg ⁻¹)	کارآیی جذب پتاسیم KUpE (gkg ⁻¹)
0	322.6 a	35.9 b	85.3 b
6	319.1 a	47.2 a	116.1 a
12	224.1 b	46.8 a	113.1 a

اعداد دارای حداقل یک حرف یکسان در هر ستون، فاقد اختلاف معنی دار می باشند.

Means in each column having at least a common letter are not significantly different.

جدول ۶ - مقایسه میانگین اثر متقابل فسفر و آبیاری بر روی کارآیی جذب فسفر، ازت و پتاسیم
 Table 6. Mean comparison of phosphorus x irrigation effects on phosphorus, nitrogen and potassium uptake efficiency

فسفر P ₂ O ₅ (gm ⁻²)	آبیاری (ارتفاع آب در هر دور آبیاری) Irrigation (mm)	کارآیی جذب فسفر PUpE (gkg ⁻¹)	کارآیی جذب ازت NUpE (gkg ⁻¹)	کارآیی جذب پتاسیم KUpE (gkg ⁻¹)
0	55.1	334.3 ab	40.3 f	93.3 f
	46.2	342.8 a	40.9 f	94.9 f
	36.1	322.7 bc	35.3 g	84.8 g
	24.8	313.4 cd	32.8 h	79.7 h
	10.5	299.9 dc	30.1 i	73.7 i
6	55.1	341.3 a	53.4 a	128.3 a
	46.2	336.3 ab	51.4 b	125.1 b
	36.1	313.2 cd	45.6 c	112.6 c
	24.8	296.7 e	42.7 de	106.6 d
	10.5	308.3 cde	43.0 d	107.9 d
12	55.1	236.1 fg	52.3 ab	123.1 b
	46.2	237.4 f	51.1 b	122.5 b
	36.1	221.7 gh	45.5 c	110.9 c
	24.8	214.1 h	43.7 d	106.3 d
	10.5	211.3 h	41.5 ef	102.7 e

اعداد دارای حداقل یک حرف یکسان در هر ستون، فاقد اختلاف معنی دار می باشند.

Means in each column having at least a common letter are not significantly different.

بنابراین قارچ میکوریز VA در شرایط کمبود آب بسیار مؤثر می‌باشد. از طرف دیگر این میکروارگانیسم با فراهم نمودن سطح اضافی برای جذب، سبب افزایش جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر شده و به این ترتیب، تولید آسیمیلات را افزایش داده است. این موضوع سبب بهبود رشد و افزایش وزن خشک کل گیاه گردیده است. بنابراین افزایش وزن خشک کل گیاه از یک سو و افزایش غلظت فسفر گیاه از سوی دیگر موجب افزایش مقدار فسفر کل گیاه گردیده‌اند. به این ترتیب، کارایی جذب فسفر نیز افزایش پیدا کرده است. اثر متقابل فسفر و آبیاری بر روی کارایی جذب فسفر معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل فسفر و آبیاری بر روی صفت مذکور نیز نشان داد که در هر یک از سطوح فسفر، فقط در تنش‌های شدید کم‌آبی، کارایی جذب فسفر کاهش معنی‌داری نسبت به شرایط بدون تنش نشان داد (جدول ۶). زیرا در تنش‌های شدید کمبود آب، کاهش وزن خشک کل گیاه و در اثر کاهش فتوسنتز به حدی بود که سبب کاهش شدید مقدار فسفر کل گیاه گردید و به این ترتیب، کارایی جذب فسفر را کاهش داد. اثر متقابل قارچ، فسفر و آبیاری بر روی کارایی جذب فسفر معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه یاد شده بر روی صفت مذکور نشان داد که در گیاه گندم همزیست با قارچ میکوریز VA در شرایطی که ۴۶/۲ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری بدون مصرف فسفر در نظر گرفته شد، بیشترین کارایی جذب فسفر مشاهده گردید. در حالی که در گیاه گندم غیر همزیست، بالاترین میزان این صفت ناشی

قارچ و آبیاری بر روی کارایی جذب فسفر معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و آبیاری بر روی این صفت نشان داد که در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد قارچ با افزایش شدت تنش کم‌آبی، کارایی جذب فسفر به طور نسبی کاهش یافت و اختلاف معنی‌دار فقط بین تیمار تنش شدید و بدون تنش، مشاهده گردید. زیرا با کم شدن مقدار آب، میزان فتوسنتز و تولید آسیمیلات در گیاه کاهش یافت و این موضوع سبب کاهش رشد گیاه و در نتیجه کم شدن وزن خشک کل گیاه گردیده است. از آنجایی که مقدار فسفر کل گیاه به طور مستقیم با وزن خشک کل گیاه ارتباط دارد، بنابراین در اثر افزایش شدت تنش کم‌آبی، مقدار فسفر کل گیاه نیز کاهش یافته است. لذا کارایی جذب فسفر نیز که با مقدار فسفر کل گیاه همبستگی مثبت دارد، در اثر کم شدن مقدار آب، کاهش نشان داده است. همچنین در هر یک از سطوح آبیاری، کاربرد قارچ نسبت به عدم کاربرد آن از نظر کارایی جذب فسفر برتری معنی‌دار داشت. علاوه بر این، حتی گیاه گندم همزیست با قارچ در تنش‌های شدید کم‌آبی نیز کارایی جذب فسفر بالاتری نسبت به گیاه گندم غیر همزیست در شرایط بدون تنش نشان داد (جدول ۸)، زیرا انشعابات میسلومی این میکروارگانیسم قادرند به درون خاک و منافذی که برای ریشه و تارهای کشنده گیاه قابل دسترس نیستند راه یابند و به این ترتیب حجم بیشتری از خاک را مورد استفاده قرار داده و نقش مهمی را در جذب و انتقال آب ایفا کنند (Bowen, 1973; Reid and Bowen, 1979).

$$Y = 35.9 + 2.858X - 0.163X^2$$

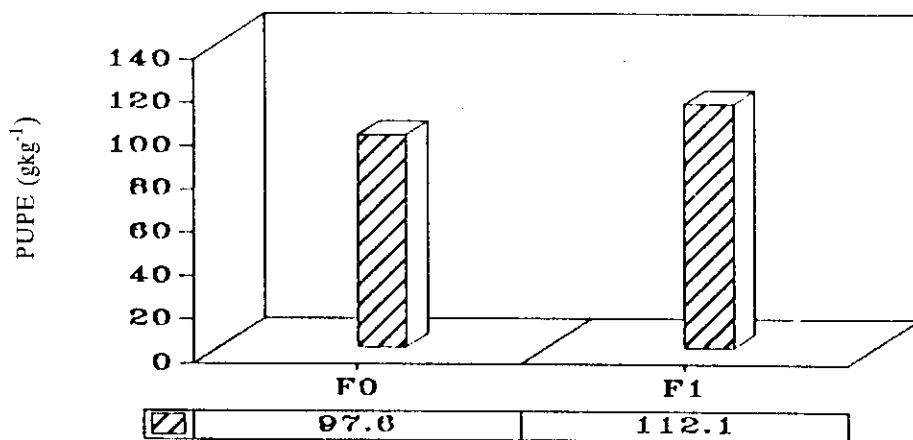
معنی دار شدن جزء خطی نشان می‌دهد که کارآیی جذب ازت با مقدار فسفر رابطه مستقیم دارد. علاوه بر این، جزء غیر خطی نیز معنی‌دار بود. یعنی ارتباط درجه دوم نیز بین کارآیی جذب ازت و مقدار فسفر برقرار می‌باشد. به طوری که از میزان افزایش کارآیی جذب ازت با افزایش مقدار فسفر به تدریج کاسته می‌شود (شکل ۴). در جدول ۴ همچنین مشاهده گردید که اثر متقابل قارچ و فسفر بر روی کارآیی جذب ازت معنی‌دار بود. این موضوع نشان دهنده آن است که اثر قارچ بر روی کارآیی جذب ازت مستقل از اثر فسفر نبوده و تحت تأثیر آن قرار گرفته است. مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ بر روی کارآیی جذب ازت مستقل از اثر فسفر نبوده و تحت تأثیر آن قرار گرفته است. مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و فسفر بر روی صفت مذکور نشان داد که در تیمار عدم کاربرد قارچ با افزایش مقدار فسفر، کارآیی جذب ازت نیز افزایش پیدا نمود و بیشترین میزان آن از بالاترین سطح فسفر حاصل شد. در حالی که در تیمار کاربرد قارچ، بیشترین کارآیی جذب ازت از سطح متوسط فسفر به دست آمد. در تفسیر این نتیجه می‌توان اظهار نمود که قارچ میکوریز VA علی‌رغم استفاده از آسیمیلات‌های گیاه، به واسطه انشعابات میسلومی خود، سطحی اضافی را برای جذب آب و عناصر غذایی به وجود آورده و این امر سبب توسعه ریزوسفر گیاه شده و جذب آب و عناصر غذایی را بهبود بخشیده است. در نتیجه، میزان فتوسنتز و تولید آسیمیلات افزایش نشان داده و این موضوع موجب بالا رفتن وزن خشک کل

از مصرف ۵۵/۱ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری و ۶ گرم P_2O_5 در مترمربع بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که قارچ میکوریز VA در افزایش کارآیی جذب فسفر گیاه به خصوص در شرایط فسفر پایین خاک بسیار حایز اهمیت می‌باشد. در این بررسی همچنین مشخص شد که در تیمار کاربرد قارچ، کمترین کارآیی جذب فسفر مربوط به مصرف ۲۴/۸ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری و ۱۲ گرم P_2O_5 در مترمربع بود. در حالی که در تیمار عدم کاربرد قارچ، کمترین میزان این صفت ناشی از مصرف ۱۰/۵ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری و ۱۲ گرم P_2O_5 در مترمربع بود (جدول ۹).

۲- کارآیی جذب ازت

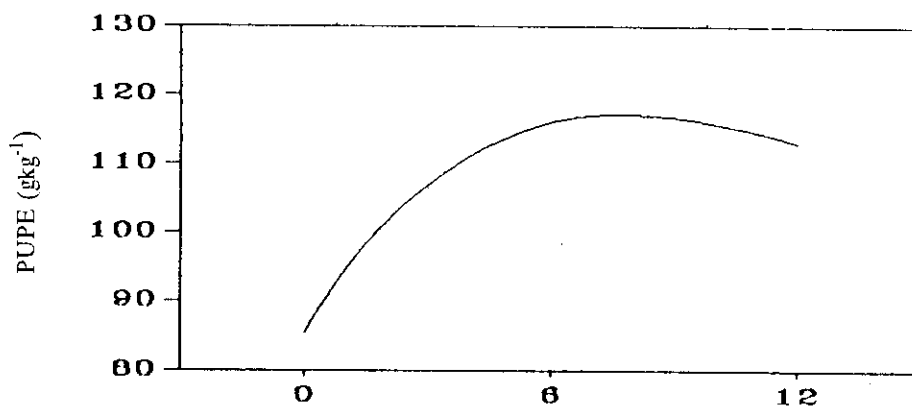
بررسی اثر قارچ میکوریز VA بر روی کارآیی جذب ازت نشان داد که بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). در بررسی اثر فسفر بر روی کارآیی جذب ازت مشخص گردید که بین سطوح مختلف فسفر از لحاظ این صفت اختلاف بسیار معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). اضافه نمودن فسفر به خاک به میزان ۶ گرم P_2O_5 در مترمربع، سبب افزایش کارآیی جذب ازت گردید، در حالی که افزایش فسفر بیش از این مقدار، تغییر معنی‌داری در این صفت ایجاد نکرد (جدول ۵). تجزیه مجموع مربعات عامل فسفر به اجزای آن نیز نشان داد که بین کارآیی جذب ازت (Y) و مقدار فسفر (X)، روابط خطی و درجه دوم معنی‌داری به صورت زیر وجود دارد.

$$Y = 37.85 + 0.908X$$



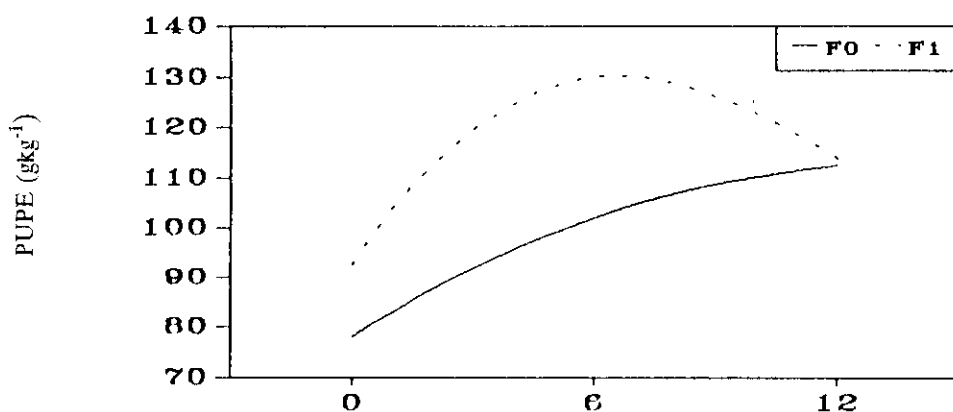
شکل ۶- مقایسه کارآیی جذب پتاسیم گندم مهدوی در دو حالت کاربرد (F1) و عدم کاربرد (F0) قارچ

Fig. 6. Comparison of potassium uptake efficiency in wheat cultivar Mahdavi with (F1) and without (F0) application of VAM fungi



شکل ۷- منحنی پاسخ کارآیی جذب پتاسیم گندم مهدوی به ازای سطوح مختلف فسفر

Fig. 7. Response curve of potassium uptake efficiency in wheat cultivar Mahdavi in different levels of phosphorus



شکل ۸- منحنی پاسخ کارآیی جذب پتاسیم گندم مهدوی به ازای سطوح مختلف فسفر در دو حالت کاربرد (F1) و عدم کاربرد (F0) قارچ میکوریز

Fig. 8. Response curve of potassium uptake efficiency in wheat cultivar Mahdavi in different levels of phosphorus with (F1) and without (F0) application of VAM fungi

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و فسفر بر روی کارآیی جذب فسفر، ازت و پتاسیم

Table 7. Mean comparison of fungus x phosphorus effects on phosphorus, nitrogen and potassium uptake efficiency

Fungus	قارچ	فسفر	کارآیی جذب فسفر	کارآیی جذب ازت	کارآیی جذب پتاسیم
		P ₂ O ₅ (gm ⁻²)	PUpE (gkg ⁻¹)	NUpE (gkg ⁻¹)	KUpE (gkg ⁻¹)
No application	عدم کاربرد قارچ	0	241.2 d	33.2 c	78.0 e
		6	276.8 c	43.9 c	102.2 e
		12	217.0 e	46.2 bc	112.5 b
Application	کاربرد قارچ	0	404.0 a	38.6 d	92.6 d
		6	361.5 b	50.5 a	130.0 a
		12	231.3 d	47.4 b	113.7 b

اعداد دارای حداقل یک حرف یکسان در هر ستون، فاقد اختلاف معنی دار می باشند.

Mean in each column having at least a common letter are not significantly different.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و آبیاری بر روی کارآیی جذب فسفر، ازت و پتاسیم

Table 8. Mean comparison of fungus x phosphorus effects on phosphorus, nitrogen and potassium uptake efficiency

Fungus	قارچ	آبیاری (ارتفاع آب در هر دور آبیاری)		کارآیی جذب	کارآیی جذب	کارآیی جذب
		Irrigation (mm)	PUpE (gkg ⁻¹)	ازت	ازت	پتاسیم
				NUPE (gkg ⁻¹)	NUPE (gkg ⁻¹)	KUpE (gkg ⁻¹)
No application	عدم کاربرد قارچ	55.1	257.7 c	46.5 c	107.2 bc	
		46.2	260.9 c	45.4 bc	106.5 bc	
		36.1	241.6 d	40.1 c.	95.6 c	
		24.8	232.8 d	37.6 f	90.8 f	
		10.5	231.9 d	35.8 g	87.7 f	
Application	کاربرد قارچ	55.1	350.1 a	50.8 a	122.6 a	
		46.2	350.1 a	50.2 a	121.8 a	
		36.1	330.1 b	44.2 c	110.0 b	
		24.8	316.6 b	41.9 d	104.2 cd	
		10.5	314.4 b	40.6 de	101.8 d	

اعداد دارای حداقل یک حرف یکسان در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

Means in each column having at least a common letter are not significantly different.

مجموع مربعات اثر متقابل قارچ و فسفر به اجزای آن نیز حاکی از وجود روابط خطی و درجه دوم معنی‌دار بین کارآیی جذب ازت (Y) و مقدار فسفر (X) در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد قارچ بود. این روابط عبارتند از:

عدم کاربرد قارچ: $Y = 34.6 + 1.083X$

عدم کاربرد قارچ: $Y = 33.2 + 2.483X - 0.117X^2$

کاربرد قارچ: $Y = 41.1 + 0.733X$

کاربرد قارچ: $Y = 38.6 + 3.233X - 0.208X^2$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در حالت عدم کاربرد قارچ، شیب رابطه خطی بیشتر از تیمار کاربرد قارچ می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که اضافه نمودن فسفر به خاک در تیمار عدم کاربرد

گیاه شده است. از آنجایی که مقدار ازت کل گیاه با وزن خشک کل گیاه همبستگی مثبت دارد، لذا مقدار ازت کل گیاه نیز افزایش یافته و کارآیی جذب ازت نیز که حاصل تقسیم مقدار ازت کل گیاه بر مقدار ازت کل موجود در خاک و اضافه شده به خاک می‌باشد، افزایش نشان داده است. از طرف دیگر، قارچ میکوریز VA از طریق فراهم نمودن فسفر غیرقابل جذب خاک برای گیاه، به ویژه در سطوح پایین و متوسط فسفر خاک، نیاز گیاه را به این عنصر تأمین نموده است. همچنین در دو سطح فسفر صفر و ۶ گرم P₂O₅ در مترمربع، کاربرد قارچ نسبت به عدم کاربرد آن از لحاظ کارآیی جذب ازت برتری معنی‌داری داشت (جدول ۷). تجزیه

جدول ۹ - مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ، فسفر و آبیاری بر روی کارایی جذب فسفر، ازت و پتاسیم

Table 9. Mean comparison of fungus x phosphorus x irrigation effects on phosphorus, nitrogen and potassium uptake efficiency

Fungus	قارچ	فسفر P ₂ O ₅ (gm ⁻²)	آبیاری (ارتفاع آب در هر دور آبیاری) Irrigation (mm)	کارایی جذب	کارایی جذب	کارایی جذب
				فسفر PUPE (gkg ⁻¹)	ازت NUPE (gkg ⁻¹)	پتاسیم KUPe (gkg ⁻¹)
No application	عدم کاربرد قارچ	0	55.1	246.8 hij	37.7 o	85.3 kl
			46.2	257.0 hi	37.8 o	87.2 jk
			36.1	241.2 hij	32.8 q	78.0 mn
			24.8	224.5 ijk	30.3 r	72.8 n
			10.5	226.7 ijkl	27.2 s	66.5 o
	کاربرد قارچ	6	55.1	295.0 g	50.0 def	113.3 d
			46.2	294.7 g	48.0 fg	110.5 de
			36.1	269.0 gh	42.3 hm	98.3 gh
			24.8	256.8 hi	39.8 no	93.7 hi
			10.5	268.3 gh	39.5 no	95.0 hi
Application	عدم کاربرد قارچ	12	55.1	231.3 ijkl	52.0 cd	123.0 bc
			46.2	231.2 ijkl	50.5 de	121.8 bc
			36.1	214.5 jkl	45.0 hij	110.3 de
			24.8	256.8 hi	39.8 no	93.7 hi
			10.5	200.7 i	40.8 mn	101.7. fg
	کاربرد قارچ	6	55.1	421.7 ab	44.0 jklm	101.3 fg
			46.2	428.7 a	44.0 ijkl	102.7 fg
			36.1	404.2 abc	37.8 o	91.7 ij
			24.8	392.3 bcd	35.3 p	86.5 jkl
			10.5	373.2 de	33.0 q	80.8 lm
کاربرد قارچ	12	55.1	387.7 cd	56.8 a	143.3 a	
		46.2	377.8 cdc	54.8 b	139.7 a	
		36.1	357.3 cf	48.8 ef	126.8 b	
		24.8	336.5 f	45.7 hi	119.5c	
		10.5	348.2 ef	46.5 gh	120.8 bc	

اعداد دارای حداقل یک حرف یکسان در هر ستون، فاقد اختلاف معنی دار می باشد.

Means in each column having at least a common letter are not significantly different.

شدید کم آبی، افت معنی داری در این صفت نسبت به شرایط بدون تنش رخ داده است. زیرا در تنش‌های شدید کم آبی، کاهش وزن خشک کل گیاه در اثر کم شدن فتوسنتز به حدی بود که سبب کاهش سنگین مقدار ازت کل گیاه گردید و به این ترتیب، کارآیی جذب ازت را کاهش داد. همچنین در هر یک از سطوح آبیاری، اضافه نمودن فسفر به خاک سبب افزایش کارآیی جذب ازت گردید (جدول ۶). اثر متقابل قارچ، فسفر و آبیاری بر روی کارآیی جذب ازت معنی دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل اثر متقابل سه گانه فوق بر روی صفت مذکور نشان داد که در گیاه گندم همزیست با قارچ میکوریز VA شرایطی که ۵۵/۱ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری و ۶ گرم P_2O_5 در مترمربع اعمال گردید. بیشترین کارآیی جذب ازت به دست آمد، در حالی که در گیاه گندم غیرهمزیست، بالاترین میزان این صفت ناشی از مصرف ۵۵/۱ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری و ۱۲ گرم P_2O_5 در مترمربع بود. همچنین در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد قارچ، کمترین میزان کارآیی جذب ازت مربوط به شدیدترین تنش کم آبی (مصرف ۱۰/۵ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری) و عدم مصرف فسفر بود. در این شرایط نیز کاربرد قارچ نسبت به عدم کاربرد آن برتری داشت (جدول ۹).

۳- کارآیی جذب پتاسیم

در بررسی اثر قارچ میکوریز VA بر روی کارآیی جذب پتاسیم مشخص گردید که بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ از لحاظ این صفت تفاوت بسیار معنی داری وجود دارد (جدول ۴).

قارچ تأثیر بیشتری نسبت به تیمار کاربرد قارچ بر روی کارآیی جذب ازت دارد. در توجیه این نتیجه می‌توان اظهار کرد که همزیستی گیاه گندم با قارچ میکوریز VA، سبب استفاده گیاه از فسفر غیرقابل جذب خاک گردیده و این امر، واکنش گیاه را به فسفر اضافه شده به خاک از طریق کود کاهش داده است. علاوه بر این، معنی دار بودن رابطه درجه دوم نیز نشان داد که میزان افزایش کارآیی جذب ازت با افزایش مقدار فسفر به تدریج کاسته می‌شود (شکل ۵).

اثر متقابل قارچ و آبیاری بر روی کارآیی جذب ازت معنی دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و آبیاری بر روی صفت مذکور نشان داد که در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد قارچ با افزایش شدت تنش کم آبی یا به عبارتی با کاهش مقدار آب در هر دور آبیاری، از کارآیی جذب ازت کاسته شد. همچنین در هر یک از سطوح آبیاری، کاربرد قارچ نسبت به عدم کاربرد آن از نظر این صفت برتری معنی دار داشت. علاوه بر این، حتی گندم همزیست با قارچ در تنش‌های شدید کم آبی نیز کارآیی جذب ازت بالاتری از گیاه گندم غیرهمزیست در شرایط تنش ملایم نشان داد (جدول ۸). در جدول ۴ همچنین مشاهده شد که اثر متقابل فسفر و آبیاری بر روی کارآیی جذب ازت معنی دار بود. این موضوع نشان دهنده آن است که اثر فسفر بر روی این صفت مستقل از اثر آبیاری نبوده و تحت تأثیر آن واقع شده است. مقایسه میانگین اثر متقابل فسفر و آبیاری بر روی کارآیی جذب ازت نشان داد که در هر یک از سطوح فسفر، در تنش‌های

آن است که اثر قارچ بر روی کارآیی جذب پتاسیم مستقل از اثر فسفر نبوده و تحت تأثیر آن قرار گرفته است. مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و فسفر بر روی صفت مذکور نشان داد که در تیمار عدم کاربرد قارچ با افزایش مقدار فسفر، کارآیی جذب پتاسیم نیز افزایش پیدا نمود و بیشترین میزان آن در بالاترین سطح فسفر حاصل شد. در حالی که در تیمار کاربرد قارچ با افزایش مقدار فسفر، صفت مذکور نیز افزایش یافت، اما بیشترین مقدار آن از سطح متوسط فسفر به دست آمد. علاوه بر این، در دو سطح فسفر صفر و متوسط، کاربرد قارچ نسبت به عدم کاربرد آن از لحاظ این صفت برتری معنی دار داشت (جدول ۷). تفکیک مجموع مربعات اثر متقابل قارچ و فسفر به اجزای آن حاکی از وجود روابط خطی و درجه دوم، معنی دار بین کارآیی جذب پتاسیم (Y) و مقدار فسفر (X) در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد قارچ بود. این روابط عبارتند از:

$$Y = 80.317 + 2.875X \quad \text{عدم کاربرد قارچ:}$$

$$Y = 78 + 5.192X - 0.193X^2 \quad \text{عدم کاربرد قارچ:}$$

$$Y = 101.55 + 1.758X \quad \text{کاربرد قارچ:}$$

$$Y = 92.6 + 10.708X - 0.746X^2 \quad \text{کاربرد قارچ:}$$

همانطور که ملاحظه می شود در حالت عدم کاربرد قارچ، شیب رابطه خطی بیشتر از تیمار کاربرد قارچ می باشد. این موضوع نشان می دهد که اضافه نمودن فسفر به خاک در تیمار عدم کاربرد قارچ تأثیر بیشتری نسبت به کاربرد آن بر روی کارآیی جذب پتاسیم دارد. معنی دار بودن رابطه درجه دوم نیز نشان داد که میزان افزایش کارآیی جذب پتاسیم با افزایش مقدار فسفر به تدریج کاسته

به طور کلی کاربرد قارچ سبب افزایش کارآیی جذب پتاسیم نسبت به عدم کاربرد آن گردید (شکل ۶). به دلایلی که قبلاً ذکر شد این قارچ از یک سو سبب افزایش جذب پتاسیم و بالا رفتن غلظت پتاسیم گیاه و از سوی دیگر باعث افزایش وزن خشک کل گیاه گردید. به این ترتیب مقدار پتاسیم کل گیاه را افزایش داد و سبب بالا رفتن کارآیی جذب پتاسیم شد. در بررسی اثر فسفر بر روی کارآیی صفت مذکور مشاهده گردید که بین سطوح مختلف فسفر از نظر این صفت، تفاوت معنی داری وجود دارد (جدول ۴). اضافه نمودن فسفر به خاک به میزان ۶ گرم P_2O_5 در مترمربع، سبب افزایش کارآیی جذب پتاسیم گردید، در حالی که افزایش فسفر بیش از این مقدار، تغییر معنی داری در این صفت ایجاد نکرد (جدول ۵). تجزیه مجموع مربعات عامل فسفر به اجزای آن نیز نشان داد که بین کارآیی جذب پتاسیم (Y) و مقدار فسفر (X)، روابط خطی و درجه دوم معنی داری به صورت زیر وجود دارند:

$$Y = 90.933 + 2.317X$$

$$Y = 85.3 + 7.95X - 0.469X^2$$

معنی دار شدن جزء خطی نشان می دهد که کارآیی جذب پتاسیم با مقدار فسفر رابطه مستقیم دارد. علاوه بر این جزء غیرخطی نیز معنی دار بود، یعنی ارتباط درجه دوم نیز بین کارآیی جذب پتاسیم و مقدار فسفر برقرار می باشد. به طوری که از میزان افزایش کارآیی جذب پتاسیم با افزایش مقدار فسفر به تدریج کاسته می شود (شکل ۷). اثر متقابل قارچ و فسفر بر روی کارآیی جذب پتاسیم معنی دار بود (جدول ۴). این موضوع نشان دهنده

در هر یک از سطوح فسفر، در تنش‌های شدید کم آبی، کاهش معنی‌داری در کارآیی جذب پتاسیم نسبت به شرایط بدون تنش رخ داده است. همچنین در هر یک از سطوح آبیاری، اضافه نمودن فسفر به خاک سبب افزایش کارآیی جذب پتاسیم نسبت به عدم مصرف فسفر گردید (جدول ۶). اثر متقابل فارچ، فسفر و آبیاری بر روی کارآیی جذب پتاسیم معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه فوق بر روی صفت مذکور نشان داد که در گیاه گندم همزیست با فارچ در شرایطی که ۱/۵۵ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری و ۶ گرم P_2O_5 در مترمربع اعمال گردید، بیشترین کارآیی جذب پتاسیم به دست آمد، در حالی که در گیاه گندم غیرهمزیست، بالاترین میزان این صفت ناشی از مصرف ۱/۵۵ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری و ۱۲ گرم P_2O_5 در مترمربع بود. همچنین در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد فارچ، کمترین میزان کارآیی جذب پتاسیم مربوط به شدیدترین تنش کمبود آب (مصرف ۵/۱۰ میلی‌متر آب در هر دور آبیاری) و عدم مصرف فسفر بود. در این شرایط نیز کاربرد فارچ نسبت به عدم کاربرد آن برتری معنی‌دار داشت (جدول ۹).

می‌شود (شکل ۸). اثر متقابل فارچ و آبیاری بر روی کارآیی جذب پتاسیم معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل فارچ و آبیاری بر روی صفت مذکور نشان داد که در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد فارچ با افزایش شدت تنش کم آبی از کارآیی جذب پتاسیم کاسته شد. همچنین در هر یک از سطوح آبیاری، کاربرد فارچ نسبت به عدم کاربرد آن از نظر این صفت برتری معنی‌دار داشت. علاوه بر این حتی گیاه گندم همزیست با فارچ در تنش‌های شدید کم آبی نیز کارآیی جذب پتاسیم بالاتری نسبت به گیاه گندم غیرهمزیست در شرایط تنش ملایم نشان داد (جدول ۸). زیرا فارچ میکوریز VA به واسطه نقش مثبت در جذب و انتقال آب (Bowen, 1973; Reid and Bewen, 1979) همچنین جذب عناصر غذایی، در شرایط کمبود آب سبب بهبود رشد گیاه شده و از این طریق، کارآیی جذب پتاسیم را افزایش داده است. اثر متقابل فسفر و آبیاری بر روی کارآیی جذب پتاسیم معنی‌دار بود (جدول ۴). این موضوع نشان دهنده آن است که اثر فسفر بر روی این صفت مستقل از اثر آبیاری نبوده و تحت تأثیر آن واقع شده است. مقایسه میانگین اثر متقابل فسفر و آبیاری بر روی کارآیی جذب پتاسیم نشان داد که

References

ملکوتی، م. ج. و همایی، م. ۱۳۷۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک (مشکلات و راه‌حل‌ها)، چاپ اول. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

Azcon, R., Rubio, R., and Borea, J.M. 1991. Selective interaction between different species of Mycorrhizae fungi and *Rhizobium meliloti* strains and their effects on growth, N_2

- fixation (N) and nutritions of *Medicago sativa*. *New Phytologist* 117: 399-404.
- Bartlett, E.M., and Lewis, D.II. 1973.** Surface phosphatase activity of mycorrhiza roots of beech. *Soil Biology and Biochemistry* 5: 249-257.
- Bowen, G.D. 1973.** Mineral nutrition of ectomycorrhizae. pp. 77-86. In: Marks, G.C., and Kozlowski, T.T. (eds.), *Ectomycorrhiza*. Academic Press, London, New York.
- Cox, G., and Tinker, P.B. 1976.** Translocation and transfer of nutrient in V.A. Mycorrhizae. I, the arbuscule and phosphorus transfer. Quantitative ultra structural study. *New Phytologist* 77: 371-378.
- Elgala, A.M., Ishac, Y.Z., Adbel-Monem, M., El-Ghandour, I.A.I., Huang, P.M., Berthelin, J., Bollag, J.M., McGill, W.B., and Page, A.L. 1995.** Effect of single and combined inoculation with *Azotobacter* and V.A. Mycorrhiza fungi on growth and mineral nutrient contents of maize and wheat plants. *Environmental Impact of Soil Component Interaction* 2: 109-116.
- Hanks, R.J., Sisson, D.V., Hurst, R.L., and Hubbard, K.G. 1980.** Statistical analysis of results from irrigation experiment using the Line source sprinkler system. *Soil Science Society of American Journal* 44: 886-888.
- Jensen, A. 1984.** Influence of inoculation density of two VAMF and temperature/ light intensity on *Trifolium repens*. *Nord Journal of Botany* 4: 239-249.
- Kleinschmidt, G.D., and Gerdman, J.W. 1972.** Stunting of citrus of seedling in fumigated nursery soils related to the absense of Endomycorrhiza. *Phytopathology* 22: 1447-1453.
- Mikhaeel, F.T., Estefanous, A.N., and Antoun, G.G. 1997.** Response of wheat to Mycorrhizal inoculation and organic fertilization. *Bulletin of Faculty of Agriculture, University of Cairo* 48: 175-186.
- Phodes, L.H., and Gerdman, J.W. 1978.** Influence of phosphorus nutrition on sulfur uptake by V.A. Mycorrhizae of onion. *Soil Biology and Biochemistry* 10: 361-364.
- Reid, C.P.P, and Bowen, G.D. 1979.** Effect of water stress on phosphorus uptake by Mycorrhiza of *Pinus radiata*. *New Phytologist* 83: 103-108.
- Stribley, D.P. 1987.** Mineral nutrition. pp. 59-66. In: Safir, K. (ed.). *Ecophysiology of VAM plant*. CRC Press, U.S.A.

- Tarafdar, J.C., and Marschner, H. 1994a. Efficiency of VAM hyphae in utilisation of organic phosphorus by wheat plants. *Soil Science and Plant Nutrition* 40: 593-600.
- Tarafdar, J.C., and Marschner, H. 1994b. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyposphere of V.A. Mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 387-395.
- Tarafdar, J.C., and Marschner, H. 1995. Dual inoculation with *Aspergillus fumigatus* and *Glomus mossea* enhances biomass production and nutrient uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) supplied with organic phosphorus as Na-phytate. *Plant and Soil* 173: 97-102.
- Theodorou, C., and Bowen, G.D. 1970. Mycorrhizal response of radiata pine in experiments with different fungi. *Australian Journal of Agriculture Science* 34: 183-191.
- Zaghloul, R.A., Mostafa, M.H., and Amer, A.A. 1996. Influence of wheat inoculation with Mycorrhizal fungi, phosphate solubizing bacteria and Azospirillum on its growth and soil fertility. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor* 34: 611-626.