Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 49, No 4, Winter 2019 (51-65)
DOI: 10.22059/ijfcs.2018.97865.653679

علوم گیاهان زراعی ایران
دورۀ ۴۹، شمارۀ ۴، زمستان ۱۳۹۷ (ص۶۵-۵۱)

بررسی تاثیر رابطه همزیستی میکوریزا آربسکولار بر جذب عناصر معدنی در گندم رقم پیشتاز

فرهاد رجالی[1*] ، اشرف اسمعیلی زاد[2] و کبری ثقفی[3]

۱. عضو هیات علمی، موسسه تحقیقات خاک وآب

۲.کارشناس ارشد، موسسه تحقیقات خاک و آب

۳. کارشناس ارشد، موسسه تحقیقات خاک و آب

(تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۵ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۶)

چکیده

به منظور بررسی تاثیر رابطه همزیستی میکوریزی بر جذب عناصر معدنی توسط گندم، آزمون گلخانه‌ای با یازده تیمار قارچی شامل دو سویه از گونه ***Glomus mossea***، دو سویه از گونه ***G. intraradices***، دو سویه از گونه ***G . clarum***، یک سویه از گونه ***G. etanicatum***، یک سویه از گونه ***G. caledonium***، یک سویه از گونه ***G. claroideum***، یک تیمار شاهد بدون قارچ و یک تیمار مخلوط از گونه‌های فوق با جمعیت برابر، با سه تکرار و در قالب طرح کاملا تصادفی در گلخانه بخش تحقیقات بیولوژی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور در پاییز ۱۳۹۳به اجرا درآمد. نتایج این تحقیق نشان داد که درصد کلونیزاسیون ریشه با افزایش معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، در زمان برداشت گیاه گندم به حدود ۵۰ درصد سیستم ریشه‌ای رسید. بیشترین وزن خشک اندام هوایی ۱۱/۸۹ گرم بود که در تیمار T_7 (***Glomus claroideum***) مشاهده شد. همزیست شدن ریشه گیاه گندم با قارچ، افزایش جذب عناصر فسفر، پتاسیم و روی و همچنین افزایش وزن خشک اندام هوایی را در سطح احتمال پنج درصد در این تحقیق نمایان ساخت. بالاترین میزان جذب فسف،ر به میزان ۲۹/۹ میلی‌گرم در گلدان، در تیمار **T4** (***Glomus intraradices***) ، بالاترین میزان جذب پتاسیم، به میزان ۱۷۵/۹۵ و ۱۷۳/۴۱ میلی‌گرم در گلدان، به ترتیب در تیمارهای **T7** (***Glomus claroideum***) و **T11** (**Mix** مخلوطی از تمامی گونه‌ها با جمعیت برابر)، و بالاترین میزان جذب روی، به میزان ۰/۹۴۷ میلی‌گرم در گلدان در تیمار **T11** (**Mix**) مشاهده شد. در بسیاری از شاخص‌های اندازه‌گیری شده، تیمار **T11** (تیمار **Mix**)، نتیجه بهتری در پی داشت که این مطلب نیز باید در تهیه مایه تلقیح‌های قارچی که در آینده برای کشت گندم مورد استفاده قرار می‌گیرد، در نظر گرفته شود شود.

واژه‌های کلیدی: تغذیه معدنی، کلونیزاسیون ریشه، گندم، میکوریزا، وزن خشک اندام هوایی.

Effect of symbiosis interaction of Mycorrhizae arbuscular on mineral uptake in wheat (*Pishtaz* cultivar)

F. Rejali [*1], A. Esmaeilizad[2] and K. Saghafi[3]

1.Scientific Staff of Soil Biology Department, Soil Biology Ph.D, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

2. M.Sc, Soil Biology Department, Student in Microbiology, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

3. M.Sc, Soil and Water Research institute, Student in Breeding, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

(Received: October 10, 2017- Accepted: January 6, 2018)

ABSTRACT

To study the effects of symbiosis interaction of Mycorrhizae arbuscular on mineral uptake in wheat (*Pishtaz* cultivar), a greenhouse study was conducted using 11 treatments (2 types *Glomus mossea*, 2 types of *G. intraradices*, 2 types of *G. clarum*, 1 type of *G. etanicatum*, 1 type of *G. caledonium*, 1 type of *G. claroideum*, 1 control treatment without mycorrhiza inoculation, a mix treatment of different species) in the greenhouse of the Biology Department of Soil and Water Research Institute in a completely randomized design. Result showed that root colonization percentage was significantly increased at wheat harvest time and reached to 50% of root system ($P<0.01$). Maximum shoot dry weight (11.89 g per pot) was obsereved in T7 (*G. claroideum*). Wheat root symbiosis with fungi increased P, K, Zn uptake and shoot dry weight (5% probability). Maximum P uptake (29.9 mg per pot) was obtained in T4 (*G. intraradices*). T7 (G. *claroideum*) and T11 (mix treatment with different species) had maximum K uptakes that were 175.95 and 173.41 mg per pot respectively. T11 with 0.947 mg Zn uptake per pot had the highest Zn uptake. T11 had better results in most of measured parameters in comparison to the other treatments, therefore, it should be considered in fungal inoculations production in future.

Keywords: Mineral nutrition, Root colonization, weight, Mycorrhiza, Shoot dry.

---

* Corresponding author E-mail: frejali@yahoo.com

مقدمه

به عقیده بسیاری از محققین، مهم‌ترین و معتبرترین تاثیر رابطه همزیستی میکوریز آربسکولار، افزایش جذب عناصر معدنی و به ویژه فسفر در گیاه میزبان می‌باشد (Martin *et al*., 2004; Fall *et al*., 2015; Khade & Rodrigues, 2009; Van der Heigden, 2006). این تاثیر، به خصوص در زمین‌هایی که فسفر محلول در خاک کم است یا در اثر خشکی، ضریب پخشیدگی عنصر فسفر بسیار کاهش یافته باشد، مشهودتر می‌باشد (Jakobsen, 1995). قارچ‌های میکوریزی، از طریق افزایش سطح جذب ریشه (Marschner,1998)و همچنین با تغییر مرفولوژی و فیزیولوژی ریشه، توانایی گیاه میزبان را در جذب عناصر معدنی افزایش می‌دهند (Cruse *et al*., 2004).

مکانیسم دیگری که به آن اشاره شده است، کاهش واکنش خاک در منطقه ریزوسفری گیاه گندم و افزایش جذب فسفر و روی می‌باشد (Mohammad *et al*., 2005).

گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریز آربسکولار، توانایی متفاوتی در گسترش هیف‌های خارج ریشه‌ای دارند (Chen *et al*., 2001) و به همین دلیل نیز تاثیر متفاوتی در افزایش جذب عناصر معدنی در گیاهان میزبان خود خواهند داشت. اطلاعات قابل قبولی در رابطه با نقش همزیستی میکوریزی در چگونگی جذب پتاسیم توسط گیاه میزبان موجود نمی‌باشد؛ با این وجود، تحقیقات صورت گرفته مشخص کرده است که جذب پتاسیم توسط گیاهان میکوریزی، به خصوص در شرایط کمبود یون پتاسیم، بهبود می‌یابد (Garcia & Zimmermann, 2014) و به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت که حدود ۱۰ درصد از کل پتاسیم جذب شده توسط گیاه میزبان، ناشی از فعالیت هیف‌های خارج ریشه‌ای قارچ‌های میکوریز آربسکولار می‌باشد (Marschner & Dell, 1994).

در مورد جذب عنصر روی نیز آنچه که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، گسترده شدن هیف‌های خارج ریشه‌ای قارچ‌های میکوریز آربسکولار و افزایش حجم خاک قابل دسترس گیاه می‌باشد. نتایج یک تحقیق نشان داده است که در ذرت کشت شده در خاک‌های آهکی، بین ۱۶ الی ۲۵ درصد روی موجود در گیاه، از طریق توسعه هیف‌های قارچ *Glomus mosseae* در خاک، جذب و منتقل شده است (Kothari *et al*., 1991). در گندم، همبستگی میان میزان روی موجود در گیاه با درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ های میکوریز آربسکولار، مثبت بوده است (Singh *et al*., 1986). همزیستی میان گندم کشت شده در یک خاک آهکی با قارچ‌های میکوریز آربسکولار و استفاده از مقادیر مناسبی از کودهای حاوی فسفر و روی، منجر به افزایش انتقال فسفر و روی، از ریشه‌ها و اندام هوایی گیاه، به سمت دانه‌ها شده است و بدین صورت، عملکرد گندم از لحاظ کمی و کیفی افزایش یافته است (Goh *et al*., 1997). در گندم کشت شده در تنش خشکی نیز گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزی، منجر به افزایش جذب روی در گیاه میزبان شده‌اند (Al-Karaki & Al-Raddad,1997; Al-Karaki *et al*., 1998; Farahmand *et al*., 2014)

همانند عنصر روی، میزان مس موجود در محلول خاک، بسیار اندک است و از طرف دیگر، ضریب پخشیدگی این عنصر در خاک نیز بسیار کم می‌باشد. این دو عامل باعث شده است تا در گیاهان میکوریزی، میزان مس جذب شده بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی باشد (Smith & Read, 1997; Kaur *et al*., 2014). در آزمون‌های مزرعه‌ای انجام شده، رابطه همزیستی میکوریزی، منجر به افزایش جذب مس در گیاه لوبیا شده است؛ لیکن چنین تأثیری در گندم مشاهده نشد (Kucey & Janzen, 1987). تأثیر رابطه همزیستی میکوریزی در جذب آهن، به شدت تحت تأثیر عواملی از قبیل نوع گیاه میزبان، گونه قارچ میکوریزی، pH خاک (Clark & Zeto, 1996) و همچنین میزان فسفر اضافه شده به خاک و درجه حرارت (Raju *et al*., 1990) قرار می‌گیرد. همچنین بررسی اثر تلقیح قارچ‌های میکوریزی در کشت گندم در مزرعه نشان داد که در تیمارهای تلقیح شده، جذب فسفر و آهن در شرایط تنش رطوبتی و در شرایط

رطوبت کافی، بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود (Al-Karaki *et al*., 2004).

گیاهان میکوریزی، معمولاً توانایی کمتری برای جذب منگنز، نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی دارند (Kothari *et al*., 1990). اگرچه در مواردی، افزایش جذب منگنز در گیاهان میزبان قارچ‌های میکوریز آربسکولار نیز دیده شده است (Clark & Zeto, 1996; Al-Karaki& Clark, 1999; Halder *et al*., 2015).

با وجود آن که کودهای شیمیایی، تاثیر به سزایی که در افزایش عملکرد گیاه ایفا می‌کنند ولی استفاده بیش از حد این نهاده‌ها، منجر به کاهش حاصلخیزی خاک و تخریب محیط زیست شده است. علاوه بر این، در حال حاضر، کارایی مصرف کودهای شیمیایی از لحاظ تئوری، به بالاترین سطح خود رسیده است،؛بدین معنی که استفاده بیش از اندازه از کودهای شیمیایی، به سختی می‌تواند عملکرد را افزایش دهد. قارچ‌های میکوریز آربسکولار، با داشتن توانایی‌های ویژه مانند افزایش سطح جذب کنندگی ریشه، افزایش حلالیت عناصر نامحلول مانند فسفر در خاک و غیره، به خصوص در مواردی که گیاه با محدودیت‌ها و تنش-های محیطی روبرو می‌باشد، میزان جذب و قابلیت دسترسی گیاه به عناصر مورد نیاز و در نتیجه رشد و عملکرد آن را هر چه بیشتر افزایش می‌دهند. هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ های میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر معدنی پرمصرف و کم مصرف در گندم رقم پیشتاز و در نهایت، تعیین موثرترین قارچ برای همزیستی با این گونه گندم بوده است.

مواد و روش‌ها

با انجام یک تحقیق گلخانه‌ای، تاثیر رابطه همزیستی میکوریزی بر جذب عناصر معدنی توسط گیاه گندم بررسی گردید. این تحقیق شامل یازده تیمار در سه تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی در جدول زیر آمده است:

تیمار	قارچ میکوریز مورد استفاده	محقق معرفی کننده
T1	Control (شاهد بدون تلقیح قارچ)	-
T2	*Glomus clarum*	Schenck & Nicolson
T3	*Glomus etunicatum*	Becker & Gerdemann
T4	*Glomus intraradices*	Shenck & Smith
T5	*Glomus mosseae*	Nicol & Gerd. Gerdman & Trappe
T6	*Glomus caledonium*	Nicol & Gerd. Trappe & Gerdman
T7	*Glomus claroideum*	Shenck & Smith
T8	*Glomus clarum*	Nicolson & Schenck
T9	*Glomus mosseae*	Nicol & Gerd. Gerdman & Trappe
T10	*Glomus intraradices*	Shenck & Smith
T11	Mix (مخلوطی از گونه های فوق با جمعیت برابر)	-

تمامی گونه‌های ذکر شده، در طی یک دوره کشت چهار ماهه، در محیط استریل حاوی ۷۵ درصد ماسه و ۲۵ درصد خاک لوم و در گلدان‌های چهار کیلوگرمی، در مجاورت ریشه گیاه ذرت تکثیر شدند.

به منظور تعیین میزان استفاده از هر مایه تلقیح، قبل از انجام آزمایش و کاشت گیاه، تعداد اسپورهای موجود در مایه تلقیح‌های آماده شده به روش الک مرطوب (Gerdemann &. Nicolson, 1963; Fang *et al*., 1983)، در دو تکرار تعیین شد. برای کاشت، ابتدا لایه‌ای از خاک سطح گلدان‌ها کنار زده شد و در مرکز هر گلدان، حفره‌ای به ارتفاع یک سانتی‌متر ایجاد گردید. سطح هر حفره با ۵۰ گرم از مایه تلقیح قارچی حاوی گونه مورد نظر پر شد و سپس با خاک گلدان پوشانده شد (Al-Karaki *et al*., 1998). گلدان‌ها در گلخانه با نور طبیعی و درجه حرارت ۲۸-۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و هفته‌ای یک بار با آب

مقطر استریل و یک بار با محلول غذایی هوگلند (Hogland & Arnon, 1950) استریل، با غلظت فسفر ۱/۲، آبیاری شدند. پس از اتمام دوره رشد، بوته‌هایذرت از سطح گلدان‌ها قطع شدند و مایه تلقیح‌های تهیه شده، تا زمان شروع آزمون، درون نایلون‌های پلاستیکی و در یخچال، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای انجام آزمون گلخانه-ای و به منظور حداقل اثرات متقابل بین قارچ‌های میکوریز آربسکولار بومی و انواعی که به صورت مایه تلقیح استفاده می‌شود، از خاک یکی از قطعات مزارع موجود در ایستگاه تحقیقات خاک و آب کرج، که چندین سال بایر بوده است، استفاده شد. نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام گرفت. خاک جمع‌آوری شده پس از هوا خشک شدن، از الک پنج میلی‌متری عبور داده شد. به خاک تهیه شده به نسبت حجمی ۲۵ درصد، ماسه اضافه شد و درون گلدان‌های چهار کیلوگرمی توزیع شدند. قبل از شروع آزمایش، خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایشگاه تعیین شد (جدول ۱). در نمونه های خاک، بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، pH و EC با استفاده از روش گل اشباع (Rhoades, 1982)، پتاسیم قابل جذب با استفاده از روش شعله سنجی (*et al*.,1982 Knudsen)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen,1954)، کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون در محیط آبی (Nelson & Sommers, 1982)، ازت معدنی خاک شامل ازت آمونیومی و نیتراتی با روش اکسید منیزیم (Page *et al*., 1982) و مقدار آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب گیاه از طریق عصاره-گیری با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی اندازه-گیری شدند (Baker & Amachar, 1982) (جدول شماره ۱). جدول رطوبتی مخلوط خاک و ماسه نیز در آزمایشگاه فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهران تعیین شد (جدول شماره ۲).

جدول ۱ - برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در آزمون (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1: Physical and chemical properties of the soil samples in test (0-30 cm depth)

Tex.	Cu	Mn	Zn	Fe	K	P	OC	T.N.V
بافت	mg.kg^{-1}						٪	
Silty loam سیلتی لوم (Clay 13%, Silt 31%, Sand 56%) (۱۳٪ رس، ۳۱٪ سیلت و ۵۶٪ شن)	1.3	4.79	1.88	1.66	204	9.48	0.5	5.05

جدول ۲- خصوصیات رطوبتی خاک

Table2: Soil moisture characteristics

Weight Moisture% درصد وزنی رطوبت						
At a pressure of 15 atmosphere در فشار ۱۵ اتمسفر	At a pressure of 10 atmosphere در فشار ۱۰ اتمسفر	At a pressure of 5 atmosphere در فشار ۵ اتمسفر	At a pressure of 3 atmosphere در فشار ۳ اتمسفر	At a pressure of 1 atmosphere در فشار ۱ اتمسفر	At a pressure of 0.33 atmosphere در فشار ۳۳/. اتمسفر	At a pressure of 0.1 atmosphere در فشار ۱/. اتمسفر
7.43	-	8.78	9.01	11.74	16.22	25.99

برای تلقیح، ۵۰ گرم از مایه تلقیح‌های مربوط به هر تیمار قارچی، به گلدان‌های مربوطه اضافه شد (Al-Karaki *et al*., 1998) . درون هر گلدان، شش بذر ضدعفونی شده و جوانه‌دار (در شرایط استریل به ترتیب شستشو با توئین ۲۰ و آب‌کشی کامل، غوطه ور شدن در الکل ۹۶ درجه به مدت ۳۰ ثانیه، خالی کردن الکل و قرار دادن بذور در محلول هیپوکلریت سدیم حاوی ۱/۵٪ کلر فعال به مدت هشت دقیقه، شش تا هشت بار شستشو با آب مقطر استریل به منظور رفع سمیت هیپوکلریت سدیم، قرار دادن بذرهای استریل

در پلیت حاوی آب – آگار و انکوباسیون در دمای ۲۵ درجه به مدت دو روز) گندم رقم پیشتاز کشت شد. با توجه به منحنی رطوبتی خاک، رطوبت وزنی گلدان ها، در حد ۸۰ درصد رطوبت مزرعه (۲۴٪ وزنی) نگهداری شد. از طریق اندازه‌گیری روزانه وزن گلدان‌ها با ترازوی دیجیتالی، رطوبت آن‌ها در طی آزمون گلخانه‌ای، در همین حد ثابت شد. گلدان‌ها در اطاق کشت با دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد و رژیم روشنایی ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی، به مدت ۶۵ روز رشد کردند. پس از گذشت دو هفته از شروع آزمایش، گلدان‌ها تنک شدند، بطوری که در هر گلدان، در نهایت چهار گیاهچه گندم نگهداری شدند و بقیه حذف گردیدند. با گذشت ۶۵ روز از شروع آزمایش (مرحله پرشدن دانه‌ها)، بوته‌های گندم موجود در سه تکرار از هر تیمار، از سطح خاک قطع شدند و پس از شستن در آب معمولی و آب مقطر، با قرار دادن اندام هوایی آن‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد (۷۲ ساعت)، خشک و وزن خشک اندام هوایی گیاه اندازه-گیری شد. همچنین با شستن خاک اطراف ریشه، نمونه‌های یک گرمی از ریشه به ظروف پلاستیکی حاوی محلول FAA (فرمالین، اسید استیک-الکل) منتقل شدند و تا زمان تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، نگهداری شدند. سپس اندام هوایی خشک شده با استفاده از آسیاب پودر شدند و غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، روی، مس، منگنز و آهن در آن‌ها، با روش-های رایج، اندازه‌گیری شد (Emami, 1996). با توجه به وزن ماده خشک و غلظت عناصر در اندام‌های هوایی، میزان جذب کل هر عنصر از حاصلضرب عملکرد در غلظت آن عنصر در گیاه محاسبه شد. در نهایت، وزن ماده خشک، درصد کلونیزاسیون ریشه و جذب کل فسفر، پتاسیم، روی، مس، منگنز و آهن توسط اندام‌های هوایی گندم، اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها، از روش دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی (جدول۳) نشان داد که تلقیح با قارچ‌های میکوریزی، موجب افزایش معنی‌دار ($P<0.05$) رشد اندام هوایی گندم شد. همچنین درصد کلونیزاسیون ریشه بوته‌های گندم تلقیح شده نسبت به شاهد تلقیح نشده افزایش یافت که این افزایش در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول۳- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی

Table3. Variance Analysis of Characteristics

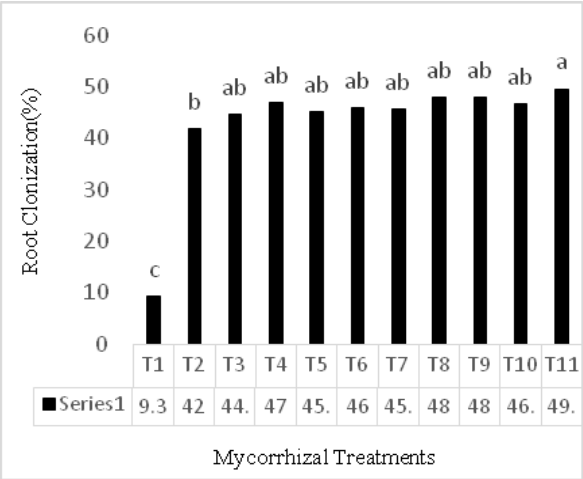
		Means Square(میانگین مربعات)							
S.O.V.	Df	Shoot Dry Weight وزن خشک اندام هوایی)	Root Colonization کلنیزاسیون ریشه با قارچ میکوریزی)	P Uptak جذب فسفر)	K Uptak جذب پتاسیم)	Zn Uptak (جذب روی)	Mn Uptak (جذب منگنز)	Fe Uptak (جذب آهن)	Cu Uptak (جذب مس)
		(g)	(%)	(mg.pot^{-1})					
Mycorrhiza	10	1.3065*	384.787**	25.921*	1156.899*	0.075*	0.0087$^{n.s}$	0.0092$^{n.s}$	0.00017$^{n.s}$
Error	22	0.1306	13.363	18.431	123.251	0.0434	0.0079	0.0082	0.00014
CV	-	3.26	8.51	5.29	7.28	5.69	8.71	2.39	3.59

ns ،** و * به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح ۱٪ و ۵٪ احتمال

*,**and ns: significant at the 5% and 1% levels of probability and non significant respectively

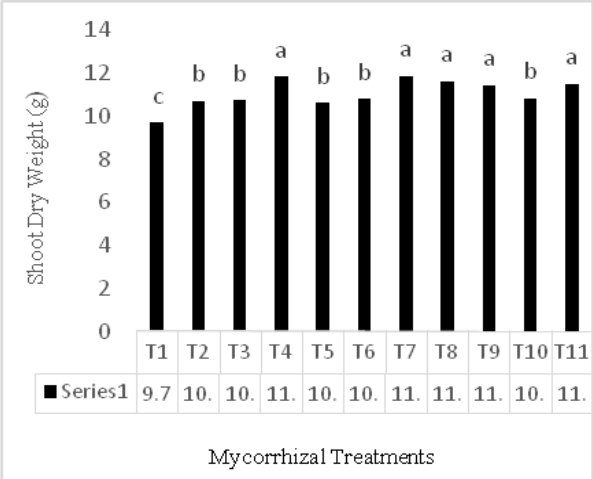
مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی صفات مورد بررسی در جدول ۴ آورده شده است. تمامی تیمارهای قارچی، موجب افزایش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون ریشه نسبت به تیمار شاهد تلقیح نشده شدند. در تمامی تحقیقات انجام شده، تلقیح با قارچ-های میکوریزی، موجب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه شده است (Al- Karaki *et al*., 1998; Farahmand *et al*., 2014) و نتایج این تحقیق نیز بر این موضوع تاکید دارد. در تیمارهای قارچی، بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه، ۴۹/۶ و ۴۲

درصد بود که به ترتیب به تیمار T_{11} و و تیمار T_2 تعلق داشت. تیمارهای T_4، T_7، T_9، T_8 و T_{11} (به ترتیب، *Glomus intraradices*، *Glomus claroideum*، *Glomus mosseae*، *Glomus clarum*)، باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی بوته‌هایگندم شدند که این افزایش، در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین وزن خشک اندام هوایی به تیمار T_7 (*Glomus claroideum*) و کمترین آن به تیمار T_5 (*Glomus mosseae*)، به ترتیب با ۱۱/۸۹ و ۱۰/۶ گرم تعلق داشت. سایر محققین نیز به تاثیر متفاوت گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزی در افزایش جذب عناصر معدنی و افزایش وزن خشک گیاهان میزبان اشاره کرده‌اند و عمدتا آن را ناشی از توانایی متفاوت گونه‌های مختلف قارچ، در گسترده کردن شبکه میسلیومی اطراف سیستم ریشه‌ای نسبت داده‌اند (Jakobsen, 1995 ; Chen *et al*., 2001).



شکل ۱- تاثیر تیمارهای میکوریزی بر کلونیزاسیون ریشه گیاه گندم

Fig 1- Effect of mycorrhizal treatments on root colonization



شکل ۲- تاثیر تیمارهای میکوریزی بر وزن خشک اندام هوایی گندم

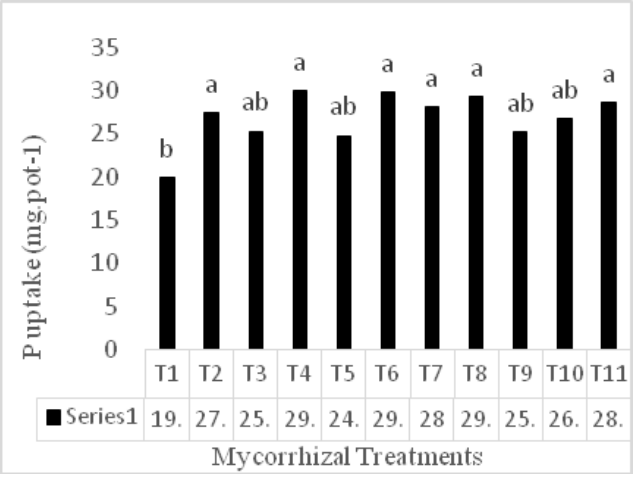
Fig 2- Effect of mycorrhizal treatments on shoot dry weight

بالاترین جذب فسفر به میزان ۲۹/۹ میلی‌گرم در گلدان، در تیمار T_4 (*Glomus intraradices*)، نسبت به تیمار T1 (شاهد تلقیح نشده) مشاهده شد. معمولا برقراری رابطه همزیستی میکوریزی، موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاه میزبان می‌شود و محققین زیادی در پژوهش‌های خود به آن اشاره کرده‌اند

که (Khade & Rodrigues, 2009; Fall *et al*., (2015 مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق می‌باشد، لیکن بر اساس نتایج برخی دیگر از پژوهش‌های صورت گرفته، با افزایش فسفر قابل جذب گیاه در خاک، از کارایی سیستم همزیستی میکوریزی در جذب این عنصر کاسته می‌شود (Marschner & Dell, 1994). بالا ترین میزان جذب پتاسیم از نظر مقدار، به ترتیب در تیمارهای T7 (*Glomus claroideum*) و T11 (Mix) نسبت به تیمار T1 (شاهد تلقیح نشده) مشاهده گردید. در پژوهش‌های صورت گرفته توسط سایر محققین، به نتایج ضد و نقیضی در ارتباط با جذب پتاسیم توسط سیستم همزیستی میکوریزی اشاره شده است. در برخی از تحقیقات، افزایش جذب پتاسیم، تنها در خاک‌هایی با واکنش اسیدی گزارش شده است (Saggin & Sigueira, 1995) و برخی دیگر، افزایش جذب پتاسیم در خاک‌های قلیایی را متاثر از گونه قارچ میکوریزی استفاده شده و نوع گیاه میزبان گزارش کرده‌اند.

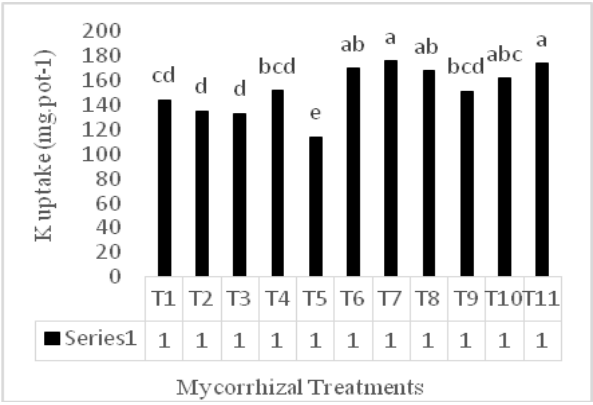
به عنوان مثال در گیاه سویای کشت شده در یک نوع خاک آهکی، تنها گونه‌های قارچی جداسازی شده از مناطق خشک، منجر به افزایش جذب پتاسیم شده‌اند (Bethlenfalvay *et al.* , 1989).

بیشترین و کمترین میزان جذب روی، ۰/۹۴۷ و ۰/۵۷ میلی‌گرم در گلدان بود که به ترتیب در تیمار T11(Mix) نسبت به تیمار T1 (شاهد تلقیح نشده) و تیمار T9 (*Glomus mosseae*) اندازه‌گیری شد.



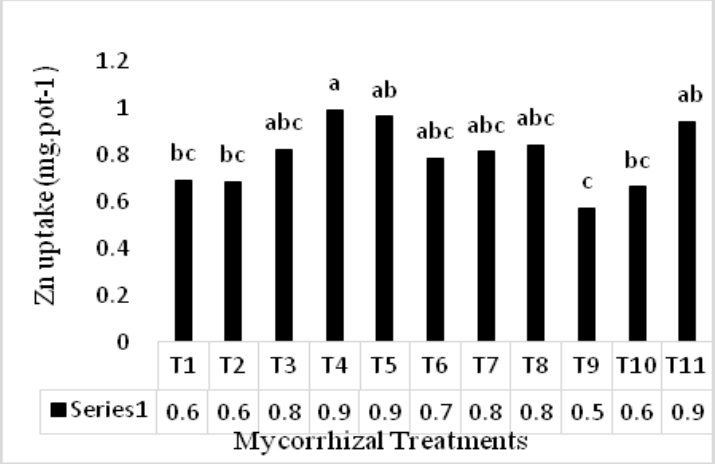
شکل ۳- تاثیر تیمارهای میکوریزی بر جذب فسفر در اندام هوایی گندم

Fig 3-Effect of mycorrhizal treatment on P uptake by shoots



شکل ۴- تاثیر تیمارهای میکوریزی بر جذب پتاسیم در اندام هوایی گندم

Fig 4-Effect of mycorrhizal treatment on K uptake by shoots



شکل ۵- تاثیر تیمارهای میکوریزی بر جذب روی در اندام هوایی گندم
Fig 5-Effect of mycorrhizal treatment on K uptake by shoots

بسیاری از محققین به نقش مثبت همزیستی میکوریزی در افزایش جذب روی توسط گیاه میزبان اشاره کرده‌اند (Cruse *et al*., 2004; Farahmand *et al*., 2014). در مواردی نیز با افزایش کودهای فسفره به خاک، رابطه همزیستی میکوریزی، منجر به کاهش جذب روی توسط گیاه میزبان شده است (Singh *et al*., 1986) از لحاظ میزان جذب منگنز در اندام هوایی گندم، تنها تفاوت میان تیمار T_7 (*Glomus claroideum*) با شاهد تلقیح نشده معنی‌دار بود و اثر سایر تیمارهای استفاده شده در این شاخص، معنی‌دار نشد. نتایج پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که رابطه همزیستی میکوریزی، معمولا تاثیری در افزایش جذب منگنز ندارد و یا آن را کاهش می‌دهد (Kothari *et al*., 1990) اما در موارد دیگر و به خصوص در شرایط تنش‌های رطوبتی، دیده شده است که همزیستی میکوریزی می‌تواند جذب منگنز را افزایش دهد (Clark & Zeto, 1996; Halder *et al*., 2015). همچنین تاثیر تیمارهای قارچی در جذب دو عنصر آهن و مس در سطوح آماری در نظر گرفته شده، معنی‌دار نشد. نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط سایر محققین نشان می‌دهد که برقراری رابطه همزیستی میکوریزی، عمدتا در شرایطی که گیاه با تنش رطوبتی روبرو باشد، می‌تواند جذب دو عنصر آهن و مس را در گیاهان میزبان افزایش دهد و در غیر این صورت، جذب این دو عنصر، افزایش نخواهد داشت (Al-(Karaki *et al*., 2004). با توجه به جدول ۴، به نظر می‌رسد که در مجموع، تیمار T_{11} (Mix) یعنی مخلوطی از گونه‌های مختلف قارچ، نسبت به بقیه قارچ‌ها، تاثیر بیشتری بر صفات اندازه‌گیری شده داشته است. بر اساس نتایج ضرایب همبستگی بین صفات (جدول ۵)، همبستگی مثبت و بالایی میان کلونیزاسیون ریشه و جذب عناصر غذایی و همچنین وزن خشک اندام هوایی وجود دارد. این نتیجه مانند بسیاری از نتایج حاصل از تحقیقات دیگر (Martin *et al*., 2004; Van der Heigden, 2006; Khade & Rodrigues, 2009; . Fall *et al*., 2015)، بیانگر یک همزیستی مسالمت آمیز، میان ریشه و تیمارهای قارچ است و این افزایش را می‌توان به قابلیت جذب و یا انتقال عناصر غذایی به وسیله هیف‌های قارچ‌های میکوریزی به اندام‌های هوایی نسبت داد. نتیجه مشابهی نیز در آزمایشی که نتیجه آن، تعامل مثبت در محتوای آب در خاک و پارامترهای رشد گیاه نی با کلونیزاسیون قارچ بود، به دست آمد که نمایانگر همبستگی مثبت میان پارامترهای زیست توده نی و کلنیزاسیون قارچ AM بود (Wang *et al*., 2015). به طور عمده علت افزایش جذب عناصر غذایی، همزمان با افزایش کلونیزاسیون ریشه، انتشار میسلیوم‌های میکوریزی مرتبط با بافت های درونی ریشه، در خاک اطراف ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی، به صورت مکمل سیستم ریشه ای گیاه است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی برای صفات مورد ارزیابی

Table4. Mean comparision of treatments if the measured traits

Cu Uptak (جذب مس)	Fe Uptak (جذب آهن)	Mn Uptak (جذب منگنز)	Zn Uptak (جذب روی)	K Uptak (جذب پتاسیم)	P Uptak (جذب فسفر)	Root Clonization (کلنیزاسیون ریشه با قارچ میکوریزی)	Shoot Dry Weight (وزن خشک اندام هوایی)	Mycorrhizal Treatments (تیمار میکوریزی)
(mg.pot^{-1})						(%)	(g)	
0.0756^{b}	0.633^{b}	0.6646^{b}	0.695^{bc}	143.891^{cd}	19.865^{b}	9.333^{c}	9.7253^{c}	T1
0.089^{ab}	0.6846^{ab}	0.7483^{ab}	0.68^{bc}	135.175^{d}	27.369^{a}	42^{b}	10.71^{b}	T2
0.098^{a}	0.701^{ab}	0.7606^{ab}	0.821^{abc}	132.851^{d}	25.169^{ab}	44.667^{ab}	10.752^{b}	T3
0.092^{ab}	0.7766^{ab}	0.8026^{ab}	0.9923^{a}	151.621^{bcd}	29.89^{a}	47^{ab}	11.8683^{a}	T4
0.0953^{ab}	0.6926^{ab}	0.698^{ab}	0.9603^{ab}	113.748^{e}	24.68^{ab}	45.333^{ab}	10.623^{b}	T5
0.094^{ab}	0.779^{ab}	0.76^{ab}	0.7768^{abc}	169.41^{ab}	29.698^{a}	46^{ab}	10.8197^{b}	T6
0.1026^{a}	0.8033^{a}	0.8396^{a}	0.8107^{abc}	175.959^{a}	27.98^{a}	45.667^{ab}	11.8963^{a}	T7
0.0953^{ab}	0.7296^{ab}	0.815^{ab}	0.8437^{abc}	167.707^{ab}	29.172^{a}	48^{ab}	11.629^{a}	T8
0.088^{ab}	0.6753^{ab}	0.758^{ab}	0.5707^{c}	150.978^{bcd}	25.08^{ab}	48^{ab}	11.467^{a}	T9
0.0863^{ab}	0.6636^{ab}	0.7126^{ab}	0.6637^{bc}	161.802^{abc}	26.604^{ab}	46.667^{ab}	10.833^{b}	T10
0.102^{a}	0.7666^{ab}	0.813^{ab}	0.947^{ab}	173.411^{a}	28.515^{a}	49.667^{a}	11.526^{a}	T11
0.0203	0.1542	0.1512	0.3531	18.799	7.2697	6.1901	0.6121	LSD

در هرستون، میانین‌های دارای حروف یکسان، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری می باشند.

Means with the same letters in the same columns are not significantly different.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه گیری شده

Table 5. Correlation coefficients of measured traits

Cu Uptake (جذب مس)	Fe Uptake (جذب آهن)	Mn Uptake (جذب منگنز)	Zn Uptake (جذب روی)	K Uptake (جذب پتاسیم)	P Uptake (جذب فسفر)	Root Clonization (کلنیزاسیون ریشه با قارچ میکوریزی)	Shoot Dry Weight (وزن خشک اندام هوایی)	
							1	Shoot Dry Weight (وزن خشک اندام هوایی)
						1	0.794**	Root Clonization (کلونیزاسیون ریشه با قارچ میکوریزی)
					1	0.879**	0.945**	P
				1	0.910**	0.705*	0.930**	K
			1	0.620*	0.757**	0.636*	0.739**	Zn
		1	0.751**	0.941**	0.957**	0.800**	0.992**	Mn
	1	0.985**	0.798**	0.934**	0.961**	0.786**	0.977**	Fe
1	0.977**	0.977**	0.802**	0.891**	0.940**	0.837**	0.969**	Cu

ns ،** و * به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح ۱٪ و ۵٪ احتمال.

*,**and ns: significant at the 5% and 1% levels of probability and non significant respectively.

افزایش جذب عناصر غذایی در گیاهان میکوریزی می‌تواند میزان فتوسنتز گیاه را نیز افزایش دهد و باعث تولید ماده خشک بیشتر، توسط گیاه شود. علاوه بر این، اثرات قارچ های میکوریزی بر بهبود روابط آبی گیاه می‌تواند مستقل از وضعیت تغذیه گیاه باشد. قارچ های میکوریزی به دلیل افزایش سطح جذب موثر ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان می‌شوند. علاوه بر این، علت تاثیر میکوریز بر هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان تلقیح نشده با میکوریز بیشتر می‌باشد. تولید هورمون‌های گیاهی مانند سایتوکنین به وسیله این قارچ های همزیست نیز می‌تواند با اثرات آن‌ها بر فرآیندهای متـابولیکی گیاه، همبستگی داشته باشد و سبب افزایش رشد سطح برگ و افزایش فتوسنتز در گیاهان تلقیح شـده می‌شود که این افزایش توان فتوسنتزی، تولید مواد کربوهیدراته برای مصرف قارچ را امکان‌پذیر می‌کند و علاوه بر افزایش ماده خشک، عملکرد گیاه را نیز افزایش می‌دهد.

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که همزیستی خوبی میان تمام تیمارهای قارچی استفاده شده با گندم به وجود آمد، به طوری که درصد کلونیزاسیون ریشه نسبت به شاهد تلقیح نشده افزایش یافت و در زمان برداشت گندم، به حدود ۵۰ درصد سیستم ریشه‌ای آن رسید. اضافه کردن مایه تلقیح قارچ، از طریق افزایش جمعیت این میکروارگانیسم‌ها در مجاورت سیستم ریشه‌ای گیاه، برقراری رابطه همزیستی را تسریع نمود و درصد کلونیزاسیون را افزایش داد. در اکثر پژوهش‌های صورت گرفته، اضافه کردن قارچ به صورت مایه تلقیح، درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه میزبان را افزایش داده است. افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه، از طریق جذب بهتر آب و مواد معدنی، که خود ناشی از افزایش سطح جذب ریشه و گسترده شدن شبکه میسلیومی قارچ در پیرامون ریشه است و به عنوان یک سیستم جذب کمکی در اختیار گیاه قرار گرفته است، باعث افزایش رشد گیاه و افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه شد، به گونه‌ای که وزن خشک اندام هوایی در سطوح آماری در نظر گرفته شده در این تحقیق، معنی‌دار شد. از آنجایی که بیشترین وزن خشک اندام هوایی و نیز بالاترین درصد کلونیزاسیون ریشه، در تیمار T11 مشاهده شد و همچنین در سایر تیمارهای قارچی اعمال شده، وزن خشک اندام هوایی بیشتر از وزن خشک شاهد تلقیح نشده بود و در تمامی تیمارهای قارچی، درصد کلونیزاسیون ریشه، به صورت معنی‌داری بیش از تیمار تلقیح نشده بود، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که رابطه مستقیمی میان افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه با افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه وجود دارد؛ این مطلب مورد تایید بسیاری از محققین می‌باشد Farahmand (Cruse *et al*., *et al*., 2014 ; Halder *et al*., 2015) 2004; . همچنین افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه نیز موجب افزایش معنی‌دار آماری جذب عناصر فسفر، پتاسیم و روی گردید. این عناصر، جزو عناصر با تحرک اندک در خاک می‌باشند و حرکت آنها به سمت ریشه، از طریق فرایند پخشیدگی صورت می‌گیرد که با کم شدن میزان رطوبت، سرعت حرکت آن‌ها در خاک به شدت کاهش می‌یابد. جذب کلیه عناصر و از جمله این سه عنصر، از طریق تارهای کشنده صورت می‌گیرد که تا فاصله دو میلی‌متری از سطح ریشه گسترده می‌شوند. در گیاهان دارای رابطه همزیستی میکوریزی، پراکنش شبکه میسلیومی قارچ در پیرامون ریشه که تا فاصله ۱۴سانتی‌متری ریشه گسترده می-شوند (Smith & Read, 1997)، موجب افزایش توانایی گیاه در جذب این عناصر می‌شود. در بسیاری از تحقیقات صورت گرفته، به وجود یک رابطه مستقیم میان افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه با قارچ و جذب عناصر معدنی اشاره شده است (Al-Karaki & Al-Raddad,1997; Al-Karaki *et al*., 1998). نتایج این تحقیق نیز نشان داد که در تیمارهایی مانند تیمار T11 که بالاترین درصد کلونیزاسیون ریشه را به خود اختصاص داده‌اند، بالاترین جذب سه عنصر فسفر، پتاسیم و روی در آنها اندازه‌گیری شده است. اما در مورد سایر عناصر بررسی شده، اختلاف جذب عناصر

میان تیمارهای تلقیح شده و تیمار شاهد معنی‌دار نشد. دو علت را می‌توان برای چنین مشاهده‌ای بیان کرد: اول خصوصیات ژنتیکی بوته گندم می‌باشد که به دلیل داشتن ریشه منشعب، به عنوان مثال در مقایسه با بوته ذرت، وابستگی کمتری به رابطه همزیستی میکوریزی دارد و عمده نیاز خود به جذب آب و عناصر معدنی را از طریق سیستم ریشه‌ای تأمین می‌نماید. دلیل دیگر، محدودیت حجم خاکی است که گیاه در آن رشد می‌کند که این مسئله در تمام تحقیقات گلخانه‌ای مشاهده می‌شود. با اتمام زمان آزمایش و خارج کردن بوته‌های گندم از گلدان‌ها، مشاهده شد که قسمت زیادی از حجم گلدان، با سیستم ریشه‌ای بوته گندم اشغال شده است و بدین صورت، گسترش سیستم ریشه‌ای و نیاز کم گیاه به دو عنصر آهن و مس در مقایسه با سایر عناصر، توانسته است نیاز گیاه به عناصر کم مصرف مثل آهن و مس را تامین نماید و سهم سیستم همزیستی قارچ در این موارد کاهش یافته است. در این آزمون، جذب فسفر و روی در تیمارهای تلقیح شده، افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد. در برخی از تحقیقات صورت گرفته، به جذب همزمان فسفر و روی در گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزی اشاره شده است (Goh *et al*., 1997; Kothari *et al*., 1991) که هماهنگ با نتایج حاصل از این تحقیق می‌باشند. همچنین در تعدادی از تحقیقات صورت گرفته، به افزایش جذب آهن و مس در تیمارهای تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزی اشاره شده است (Al-Karaki & Al-Raddad,1997; Al-Karaki *et al*., 1998) که با نتایج این تحقیق هم راستا نیست. در مورد عنصر پتاسیم، بسیاری از محققین، افزایش جذب آن را یک اثر ثانویه ناشی از افزایش جذب فسفر و افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه دانسته‌اند (Marschner & Dell, 1994) و از طرف دیگر، در همزیستی ایجاد شده بین گیاه *Agropyron repens* و قارچ *Glomus mosseae*، افزایش جذب پتاسیم به صورت یک اثر مستقیم در گیاه میزبان مشاهده شده است (Smith & Read, 1997). به نظر می‌رسد در این تحقیق نیز افزایش جذب پتاسیم به صورت یک اثر مستقیم بوده است. نتایج سایر محققین بیانگر این مطلب است که جمعیت میکروارگانیسم‌های احیا کننده منگنز در خاک ریزوسفری گیاهان میزبان قارچ‌های میکوریزی، به شدت کاهش یافته است و همین امر، در عدم کارایی سیستم همزیستی میکوریزی در جذب این عنصر دخالت دارد (Sharma & Johri, 2002). نتایج این تحقیق نیز نشان داد که سیستم همزیستی میکوریزی، تاثیر معنی‌داری در افزایش جذب منگنز در بوته گندم نداشته است.

نتیجه گیری

نتیجه نهایی این تحقیق نشان داد که اگرچه در مورد دو شاخص وزن خشک اندام هوایی و جذب فسفر، بیشتر تیمارهای قارچی استفاده شده، دارای اثر افزایشی معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد بودند، اما در سه شاخص درصد کلونیزاسیون ریشه، جذب پتاسیم و جذب روی، تیمار ترکیبی گونه‌ها، اثر بهتری نسبت به بقیه به خود اختصاص داد. بنابراین به نظر می‌رسد که در تهیه مایه تلقیح قارچی پیشنهادی برای کشت گندم، بهتر است از تیمار ترکیبی استفاده شود.

REFERENCES

1. Al-Karaki, G. N., Al-Raddad, A., & Clark, R. B. (1998). Water stress and mycorrhizal isolates effects on growth and nutrient acquisition of wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 21, 891-902.
2. Al-Karaki, G. N., & 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, 83-88.
3. Al-Karaki, G. N., & Clark, R. B. (1999). Growth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. *Journal of Plant Nutrition*, 21, 263-276.
4. Al-Karaki, G. N., McMichael, B. & Zak. J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress, *Mycorrhiza*, 14, 263-269
5. Baker, D. E., & Amachar, M. C. (1982). Nickel, copper, zinc and cadmium. In: Page A. L., Miller, R.

H., Keeney, D. R., editors. Methods of soil analysis, part 2. Madison. *American Society of Agronomy*, 323–338.

6. Bethlenfalvay, G. J., Franson R. L., Brownand, M. S. & Mibara, K. L. (1989). The *Glycne-Glomus-Bradyrhizobium* symbiosis, IX: Nutritional, morphological and physiological responses of nodulated soybean to geopgraphic isolates of the mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*. *Physilogia Plantarum*, 76, 226-232.
7. Chen, B., Christie, P. & Li, X. (2001). A modified glass bead compartment cultivation system for studies on nutrient and trace metal uptake by arbuscular mycorrhiza.*Chemosphere*, 42, 185-192.
8. Clark, R. B., & Zeto, S. K. (1996). Mineral acquisition by mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 1405-1503.
9. Cruse, C.,Green, J. J.,Watson, C. A. & Wilson, F. (2004). Functional aspects of root architecture and mycorrhizal inoculation with respect to nutrient uptake capacity.*Mycorrhiza*, 14, 177-184.
10. Emami, A. (1996). Methods of chemical analysis of plant. *Technical publication*, Soil and Water Research Institute, Tehran, 982 (1). (In Farsi).
11. Fahramand, M., Adibian, M., Sobhkhizi, A., Noori, M., Moradi, H., & Rigi, Kh. (2014). Effect of arbuscular mycorrhiza fungi in agronomy. *Journal of Novel Applied Sciences*, 3 (4), 400-404.
12. Fall1, F., Diouf, D., Fall, D., Ndoye, I., Ndiaye, Ch., Kane, A., & Mustapha Bâ, A. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on growth, and nutrient uptake of the two grass species, *Leptochloa fusca* (L.) Stapf and *Sporobolus robustus* Kunth, under greenhouse conditions. *African Journal of Biotechnology*, 14 (39), 2770-2776.
13. Fang, Y. C., McGraw, A. C., Hakam, M., & Hendrix, J. M. (1983). A procedure for isolating single-spore cultures of ertain endomycorrhizal fungi. *New Phytology*, 93, 107-114
14. Garcia., K. & Zimmermann., S. (2014). The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition. *Frontiers in Plant Science*, 5, Article 337.
15. Gee, G. W. & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. In: Klute A(ed) Methods of soil Analysis, Part 1. 2 ed., Agronomy Monograps. *American Society of Agronomy and Soil science Society*, 9, 383-411.
16. Gerdemann, J. W., Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46, 235-244.
17. Goh, T. B., Banerjee, M. R., Shihua, T. & Burton, D. L. (1997). Vesicular-arbuscular mycorrhizae mediated uptake and translocation of P and Zn by wheat in a calcareous soil. *Canadian Journal of Plant Science*, 77, 339-346.
18. Halder, M., Mujib, A. S. M, Shahjalal Khan, M., Chandra Joardar, J., Akhter, S. & Dhar, P. P. (2015). Effect of Arbuscular Mycorrhiza Fungi Inoculation on Growth and Up take of Mineral Nutrition in *Ipomoea Aquatica*. *Current World Environment*, 10(1), 67-75.
19. Hogland, D. R. & Arnon, D. I. (1950). The Water Culture Method for Growing Plants Without Soil. *Circular California Agricultural Experiment Station*, 39-347.
20. Jakobsen, I. (1995). Transport of phosphorus and carbon in VA mycorrhiza *In: Mycorrhiza, Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology*. A. Varma and B. Hock (eds). Springer – Verlag. Berlin. 297-324.
21. Kaur, R., Singh, A., & Kang, J. S. (2014). Influence of Different Types Mycorrhizal Fungi on Crop Productivity. *Current Agriculture Research Journal*, 2(1), 51-54.
22. Khade, S. W. **&** Rodrigues, B. F. (2009). Studies on Effects of Arbuscular Mycorrhizal (Am.) Fungi on Mineral Nutrition of *Carica papaya* L. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca Journal*, 37(1), 183-186.
23. Knudsen, D., Peterson, G. A. & Pratt, P. F. (1982). Lithium, sodium, and potassium. In A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney, editors. Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties. *American Society of Agronomy*, Madison, Wisconsin, USA, 225–246.
24. Kothari, S. K., Marschner, H. & Romheld, V. (1991). Contribution of VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant and Soil*, 131, 177-185.
25. Kothari, S. K., Marschner, H., & Romheld, V. (1990). Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on manganese reduction in the rhizophere and manganese concentration in maze. *New Phytologist*, 117, 649-655.
26. Kothari, S. K., Marschner, H. & Romheld, V. (1991). Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant Soil*. 131, 177-185
27. Kucey, R. M. N. & Janzen, H. H. (1987). Effect of VAM and reduced nutrient availability on growth and phosphorus and micronutrient uptake of wheat and field beans under green house. *Plant and Soil*, 104, 71-78.

28. Marschner, H. & Dell. B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159, pp. 89-102.
29. Marschner. H. (1998). Role of root growth, arbuscular mycorrhiza and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. *Field Crops Research*, 56, 203-207.
30. Martin, C. A and Stutz, J. C. (2004). Interactive effects of temperature and arbuscular mycorrhizal fungi on growth, P uptake and root respiration of *Capsicum annuum* L. *Mycorrhiza*, 14, 241-244.
31. Mohammad, M. J., Pan, W. L. & Kennedy, A. C. (2005). Chemical alteration of the rhizosphere of the mycorrhizal colonized wheat root. *Mycorrhiza*, 15, 259-266.
32. Nelson, D. W & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: page AL, Miller RH, Keenney DR (eds) Methods of soil analysis, part 2, 2nd edn. *American Society of Agronomy*, Madison, Wisconsin, 539-573.
33. Olsen, R. S. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *US Department of Agriculture*, p.939.
34. Pacovsky, R. S., & Fuller, G. (1988). Mineral and lipid composition of *Glycine-Glomus-Bradyrhizobium* symbiosis. *Physiologica plantarum*, 72, 733-746.
35. Page, A. L., Miller, R. H. & Keeney D. R, eds. (1982). Method of Soil Analysis. Part2. Chemical and Microbial properties. *American Society Agronomy Series*. ASA.SSSA. Madison, 1159 pp.
36. Raju, P. S., Clark, R. B., Ellis, J. R. & Maranville, J. W. (1990). Effects of species of VA-mycorrhizal fungi on growth and mineral uptake of sorghum at different temperature. *Plant and Soil*, 121, 165-170.
37. Rhoades, J. D. (1982). Cation exchange capacity. in A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney, editors. Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties. *American Society of Agronomy*, Madison, Wisconsin, USA, 149–158.
38. Saggin, O. J., & Siqueira, J. O. (1995). Evaluation of the symbiotic effectiveness of endomycorrhizal fungi for coffee tree. *Brazil Gournal of Soil Science*. 19, 221-228
39. Sharma, A. K. & Johri, B. N. (eds.). (2002). Arbuscular Mycorrhizae, Interaction in Plants, *Rhizosphere and Soils*. Oxford and IBH Publishing. New Delhi. P. 308.
40. Singh, J. P., Karamanous, R. E. & Stewart, J. W. B. (1986). Phosphorus-induced zinc deficiency in wheat on residual phosphorus
41. plots. *Agronomy Journal*, 78, 668-675.
42. Smith, S. E. & Read, D. J. (1997). Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press. P. 587.
43. Van der Heijden, M. G. A., Streitwolf-Engel, R., Riedl, R., Siegrist, S., Neudecker, A., Ineichen, K., Boller, T., Wiemken, A. & Sanders, I. R. (2006). The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland. *New Phytology*, 172, 739-752.
44. Wang, L., Wu, J., Ma, F., Yang, J., Li, Sh., Li, Z. & Zhang, X. (2015). Response of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Hydrologic Gradients in the Rhizosphere of Phragmites australis (Cav.) Trin ex. Steudel Growing in the Sun Island Wetland. *BioMed Research International*, 2015, Article ID 810124, http://dx.doi.org/10.1155/2015/810124, 9 p.