تأثیر سیستم تغذیه تلفیقی بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت علوفه‌ای در شرایط کمبود آب

حسینعلی علیخانی[1]، مهدی قورچیانی[2*]

تاریخ دریافت: 91/9/1 تاریخ پذیرش: 92/9/6

1-دانشیار گروه مهندسی علوم خاک و آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

2- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

* مسئول مکاتبه: E-mail: mghorchiani@ymail.com

چکیده

مطالعه حاضر به منظور بررسی تأثیر تغذیه تلفیقی قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* به عنوان کود زیستی و مصرف فسفر از منابع سوپرفسفات تریپل و خاک فسفات به عنوان کود شیمیایی بر جذب عناصر غذایی و میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در شرایط کمبود آب انجام گرفته است. این پژوهش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار به اجرا در آمد. فاکتورها عبارت از آبیاری (آبیاری پس از 60 و120 میلیمتر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی؛ ترکیب قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* (کاربرد توأم قارچ میکوریز و باکتری، کاربرد باکتری، کاربرد قارچ میکوریز و عدم کاربرد قارچ میکوریز و باکتری) در کرت‌های فرعی و تیمار کود شیمیایی فسفره (عدم مصرف کود شیمیایی فسفره، مصرف 50% کود سوپر فسفات تریپل مورد نیاز براساس نتایج آزمون خاک و مصرف سنگ فسفات) در کرت‌های فرعی فرعی بودند. صفات مورد بررسی شامل جذب نیتروژن، پتاسیم، فسفر، آهن، روی، منگنز و مس، عملکرد ماده خشک علوفه و درصد کلنیزاسیون ریشه بود. تیمار تنش کمبود آب و کاربرد توأم قارچ و باکتری حل کننده فسفات جذب نیتروژن، روی، منگنز و مس را نسبت به تیمار آبیاری نرمال و عدم استفاده از ریزجانداران حل کنندهٔ فسفات به ترتیب به میزان 7/75، 12/8، 1/41 و 27/76 درصد افزایش داد، البته این افزایش تنها برای نیتروژن، روی و مس معنی‌دار بود. همچنین، نتایج برهمکنش کود شیمیایی فسفره و ریزجانداران حل کنندهٔ فسفات نیز نشان داد که کارایی کود سوپر فسفات تریپل همراه با ریزجانداران حل کنندهٔ فسفات در صفات اندازه‌گیری شده نسبت به سنگ فسفات بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: خاک فسفات، سودوموناس فلورسنس، فسفر، عناصر غذایی، کلنیزاسیون

Effect of Incorporation Nutrient System on Nutrient Uptake and Yield of Forage Maize under Water Deficit Condition

HA Alikhani[1], M Ghorchiani[2]*

Recieved: November 21, 2012 Accepted: November 27, 2013
[1]Assoc. Prof., Department of Soil and Water Sci. Engin., Campus of Agriculture and Natural Resources, Karaj, Tehran University, Iran
[2] MSc. Student, Depart. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Abureyhan, Tehran University Iran
*Corresponding Author: mghorchiani@ymail.com

Abstract

This study investigated the effect of incorporation of arbuscular mycorrhiza (AM) fungus and *Pseudomonas florescence* bacterium as biological fertilizer and consumption of phosphorus from triple superphosphate and rock phosphate resources as chemical fertilizer on uptake of nutrients and yield of forage maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. This research was conducted split-split plots in randomized complete block design with three replications. Treatments consisted of irrigation, (irrigation after of 60 and 120 mm evaporation from class A evaporation pan) in main plots, combined of AM fungus and *Pseudomonas florescence* bacterium (co-application of AM fungus and *Pseudomonas florescence* bacterium, application *Pseudomonas florescence* bacterium, application AM fungus and non-application AM fungus and *Pseudomonas florescence* bacterium) in sub plots and phosphate chemical fertilizer (without consumption of phosphate chemical fertilizer (control), consumption 50% triple superphosphate fertilizer needed based on soil-test results and consumption rock phosphate) in sub sub plots. In this study some characteristics such as Concentrations of N, K, P, Fe, Zn, Mn and Cu, dry matter yield and root colonization percent were assessed. Water deficit stress and co-application of AM fungus and *Pseudomonas florescence* bacterium increased concentrations of N, Zn, Mn and Cu by 7.75%, 12.8%, 1.41% and 27.76% than normal irrigation and non-application of phosphate solubilizing microorganisms however, this increase only for N, Zn and Cu were significant. Also, the results of interaction between phosphate chemical fertilizer and phosphate solubilizing microorganisms showed that efficiency of super phosphate triple fertilizer with phosphate solubilizing microorganisms on investigated traits was more than rock phosphate.

Keywords: Colonization, Nutrient, Phosphorus, *Pseudomonas florescence*, Rock Phosphate

مقدمه

ذرت علوفه‌ای به عنوان گیاهی با توانایی تولید و سازگاری بالا در بیشتر مناطق کشور یکی از مهمترین گیاهان زراعی است که دارای سهم 70-65 درصدی در ترکیب جیرهٔ غذایی طیور و علوفهٔ سیلویی برای تغذیهٔ دام است (رضایی و همکاران 1387).

کشور ایران با داشتن تنوع آب و هوایی مناسب، از جمله مناطق مستعد تولید این گیاه است. ولی با توجه به شرایط اقلیمی آن، کمبود آب یکی از عوامل مهم محدود کنندهٔ کشت ذرت است. تنش کم آبی علاوه بر اثر منفی بر عملکرد، باعث بروز یا تشدید سایر تنش‌ها به ویژه تنش کمبود عناصر غذایی در گیاه می‌شود. تنش خشکی باعث اختلال در روند جذب و تجمع عناصر غذایی می‌شود که علاوه بر تلفات کود، کاهش عملکرد دانه و علوفه را به دنبال دارد (ساجدی و همکاران 1389). همچنین، به دلیل قلیایی بودن بیشتر خاک‌های ایران و در نتیجه واکنش فسفر با کلسیم، این عنصر به سرعت به شکل فسفات‌های نامحلول و غیرقابل دسترس تبدیل می‌شود و در نتیجه کمبود فسفر نیز یکی دیگر از عوامل مهم محدود کنندهٔ کشت ذرت به شمار می‌آید (قورچیانی و همکاران 1390). این در حالی است که مصرف بی رویه کودهای شیمیایی فسفر برای رفع این مشکل نه تنها سبب افزایش تولید محصول نمی‌شود، بلکه موجب ایجاد اشکال در جذب عناصر غذایی کم مصرف توسط گیاهان به ویژه در خاک‌های آهکی می‌شود (امیر آبادی و همکاران 1389). در حال حاضر سیستم‌های کشاورزی با نهادهٔ کم در تلفیق با کودهای زیستی به دلیل حفاظت از منابع طبیعی، کاهش تخریب محیط زیست و افزایش هزینهٔ کودها به منظور حفظ توازن زیستی خاک برای به حداکثر رساندن روابط زیستی مطلوب سیستم‌های کشاورزی و به حداقل رساندن استفاده از مواد و عملیاتی که این روابط را بر هم می‌زنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (بومسما و وین 2008 و پانوار و همکاران 2008). در این راستا کاربرد کودهای زیستی به ویژه قارچ‌های میکوریزی و باکتری‌های محرک رشد گیاه، یکی از مهم‌ترین راهبردها در مدیریت تلفیقی تغذیهٔ گیاه در سیستم کشاورزی پایدار با نهاده کافی به صورت تلفیق مصرف کودهای شیمیایی با کاربرد ریزجانداران مفید به شمار می‌آید (انگون و همکاران2010 و توحیدی مقدم و همکاران 1387).

تحقیقات متعدد نشان داده است که همزیستی میکوریز آربسکولار مزایای زیادی را برای رشد بسیاری از گیاهان زراعی به دلیل توسعهٔ گسترده ریشه و بهره‌برداری کارآمدتر از عناصر غذایی در بر دارند (کاهیلتو و همکاران 2009 و انگون و همکاران2010). قارچ میکوریز به ویژه در شرایطی که گیاهان زراعی از نظر تغذیه‌ای دچار تنش شده‌اند، ابزاری کارامد در افزایش دسترسی به عناصر غذایی به شمار می‌رود. بهبود انتقال عناصر غذایی به بافت گیاه از طریق افزایش سطح جذب ریشه‌ها توسط گسترش میسلیوم‌های قارچ به فضای خارج فرا ریشه‌ای خاک صورت می‌گیرد که به افزایش میزان جذب فسفر، نیتروژن، گوگرد، پتاسیم، کلسیم، روی، آهن، مس و انتقال آب منجر خواهد شد (بومسما و وین 2008) و این امر به طور عمده از طریق افزایش جذب و انتقال یون‌های عناصر غذایی مانند PO^{-}_{4}، NH^{+}_{4}، Zn^{2+} و Cu^{2+} که در شرایط عدم حضور قارچ‌های میکوریزی به آرامی انتشار می‌یابند صورت می‌گیرد (سوبرامانیان و همکاران 1997 و سوبرامانیان و همکاران 2008).

در بین باکتری‌های حل کنندهٔ فسفات، جنس *سودوموناس* یکی از مهمترین باکتری‌های حل کنندهٔ فسفات در گیاهان است (عبدالجلایل و همکاران 2007) که به دلیل تولید طیف گسترده‌ای از ترکیبات تحریک کنندهٔ رشد گیاه مانند تولید اکسین، تولید آنزیم ACC-دآمیناز، تولید سیدروفور، اسید سالیسیلیک و کیتیناز بطور غیر مستقیم باعث افزایش رشد گیاه نیز

می‌شوند (سلطانی‌طولارود و همکاران 1386). از طرفی، برخی از باکتری‌های گونه *سودوموناس فلورسنس* به دلیل توانایی در توسعه میکوریزی به عنوان باکتری‌های کمک کنندهٔ میکوریز نیز شناخته می‌شوند (گاربای 1994). خلیلی و همکاران (1389) مشاهده کردند که کاربرد باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* متحمل به تنش خشکی نسبت به عدم کاربرد باکتری سبب افزایش و بهبود رشد و زیست‌توده گندم در شرایط تنش خشکی می‌گردد. در مطالعه‌ای که بر روی امکان بهبود تحمل به خشکی ذرت با استفاده از همزیستی میکوریز آربسکولار صورت گرفت، بومسما و وین (2008) بیان داشتند که رابطه همزیستی بین میکوریز آربسکولار و ریشه گیاه ذرت به میزان قابل توجهی به رشد و تغذیه گیاه کمک می‌کند و باعث افزایش عملکرد ذرت می گردد. آنان این واکنش‌های مثبت در بهره‌وری ایجاد شده توسط کلنیزاسیون میکوریز آربسکولار را به افزایش جذب یون‌های کم تحرک خاک از قبیل فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، آهن، روی، مس و منگنز توسط میکوریز آربسکولار و انتقال آنها به گیاه نسبت دادند. کوتهری و همکاران (1990) در بررسی تأثیر میکوریز آربسکولار و ریزجانداران فراریشه‌ای روی جذب عناصر معدنی توسط گیاه ذرت در خاک‌های آهکی بیان داشتند که کلنیزاسیون میکوریزایی باعث افزایش جذب فسفر، مس و روی در هر دو اندام هوایی و ریشه گشت، آنان افزایش فراهمی فسفر، روی و مس در گیاهان میکوریزی را به دلیل افزایش جذب این عناصر توسط هیف‌های میکوریزی و افزایش انتقال آنها به گیاه میزبان دانستند. با توجه به اینکه کشور ما جز مناطق خشک و نیمه خشک جهان است، به نظر می‌رسد با استفاده بهینه از منابع آبی، تقویت مکانیسم‌های مقاومت به تنش خشکی و افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط کمبود عناصر غذایی و تشدید کمبود آن به علت سایر تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی در گیاهان زراعی بتوان بر روی تولید پایدار محصولات زراعی گام برداشت. هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر تغذیه تلفیقی قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* به عنوان کود زیستی و مصرف بهینه‌ی فسفر (سوپرفسفات تریپل و خاک فسفات) به عنوان کود شیمیایی بر روی جذب برخی عناصر غذایی و میزان عملکرد مادهٔ خشک ذرت علوفه‌ای در شرایط کمبود آب بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال زراعی 1389 در مزرعه‌ای واقع در کرج با مختصات جغرافیایی 35 درجه و 48 دقیقه عرض شمالی و 51 درجه و 10 دقیقه طول شرقی و ارتفاع 1312 متر از سطح دریا با اقلیم نیمه خشک، متوسط بارندگی سالیانه 251 میلیمتر و دارای بافت خاک لوم رسی (جدول 1) به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار به اجرا در آمد.

فاکتورها عبارت از سطوح آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل (I_1) پس از60 و کم آبیاری (I_2) پس از 120 میلیمتر تبخیر از تشت تبخیـــر کلاس A) در کرت‌های اصلی، ترکیب قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* در چهار سطح (عدم کاربرد باکتری *سودوموناس فلورسنس* و قارچ میکوریز آربسکولار (شاهد) (M_0B_0)، کاربرد توأم باکتری *سودوموناس فلورسنس* و قارچ میکوریز آربسکولار (M_1B_1)، کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار (M)، کاربرد باکتری *سودوموناس فلورسنس* (B)) در کرت‌های فرعی و کود شیمیایی فسفر در سه سطح (عدم مصرف کود شیمیایی فسفره (شاهد) (P_0)، مصرف 50% کود سوپر فسفات تریپل مورد نیاز براساس نتایج آزمون خاک، جدول 1 (37/5 کیلوگرم در هکتار) (P_1) و مصرف خاک فسفات براساس کمیت فسفر مصرفی از منبع سوپر فسفات تریپل (44/5 کیلوگرم در هکتار) (P_2)) در کرت‌های فرعی فرعی

بودند. کود سوپرفسفات تریپل و خاک فسفات در این بررسی به ترتیب دارای 46 و 39 درصد فسفر از منبع P_2O_5 بود.

عملیات تهیه زمین با اجرای یک شخم و دو دیسک عمود بر هم قبل از کاشت انجام شد. به منظور عدم تداخل تیمارهای شاهد و میکروبی نیز یک خط نکاشت بین تیمارهای کرت فرعی قرار داده شد. عملیات کاشت در 25 خرداد ماه 1389 و با استفاده از بذور ذرت (*Zea mays* L.) رقم تری وی کراس 524 انجام گرفت.

بذور به صورت کپه‌ای و با قرار دادن دو تا سه بذر سالم در محل کشت، کاشت گردید و در مرحله سه تا چهار برگی تنک شدند. تا زمان استقرار گیاهچه‌ها تمام واحدهای آزمایشی همزمان آبیاری شدند و در تاریخ 15 تیر ماه، تنش کم آبی در واحدهای آزمایش واجد آن بر مبنای تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A شروع و تا پایان فصل رشد اعمال شد. آبیاری‌ها توسط پمپ انجام می‌گرفت و حجم آب مورد نیاز هر کرت به وسیلهٔ کنتور اندازه‌گیری شد. داده‌های تشت تبخیر به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی واقع در مزرعه دریـــافت می‌شد. همزمان با کاشت، کودهای نیتروژنی و پتاسیمی نیز بر مبنای آزمون خاک و مطابق با توصیه کودی برای ذرت به صورت نواری به ترتیب به میزان 60 کیلوگرم پتاسیم خالص از منبع سولفات پتاسیم و160 کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره به خاک داده شد. میزان 60 کیلوگرم نیتروژن خالص همزمان با کاشت و 100 کیلوگرم دیگر نیز در دو نوبت به ترتیب در مرحله 7-6 برگی و مرحله ظهور کامل گل آذین نر به صورت سَرک و به نسبت مساوی در اختیار گیاه قرار گـــــرفت (بای‌بوردی و همکاران 1379 و نوری اَظهر و اِحسان زاده 1386).

قارچ میکوریزی نیز از طریق کشت تله‌ای با گیاه سورگوم و با اسپورهای قارچ *گلوموس موسه* در آزمایشگاه بیولوژی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد. زاد مایه میکوریزی به صورت مخلوطی از اسپور، هیف، ریشه‌های کلنیزه شده گیاه سورگوم و ماسه بادی با مقدار کلنیزاسیون 70 درصد و میانگین اسپور 12 عدد در هر گرم بستره بود، قبـل از کاشت حدود شش گرم از زادمایه میکوریزی در حفره کاشت بذور قرار داده شد.

جدول1- نتایج آزمون خاک محل آزمایش

pH	قابلیت هدایت الکتریکی dS/m	ماده آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (السن) mg/kg	پتاسیم قابل استفاده mg/kg	جمعیت باکتری‌های حل کننده فسفات CFU/g Soil	تعداد اسپور قارچ میکوریزآربوسکولار در هر گرم خاک	کلاس بافت
8/3	1/62	0/73	0/071	13/5	124	160	3	لوم رسی

باکتری مورد استفاده در این بررسی از گونهٔ *سودوموناس فلورسنس*، سویهٔ شماره 33 بود که دارای توان بالای حل کنندگی فسفات‌های نامحلول معدنی و آلی، تولید اکسین، آنزیم ACC-دآمیناز و سیدروفور بود (ملک زاده 1389) و از بانک ژن گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد، بذور پس از قرار گرفتن در سوسپانسیون باکتری با جمعیت 1×10^8 باکتری زنده و فعال در هر میلی‌لیتر ($CFU\ ml^{-1}$) پس از 48 ساعت در مزرعه کشت شدند (ملک‌زاده 1389).

برای اندازه گیری عملکرد ماده خشک علوفه در مرحله شیری-خمیری (اسنیمان و جابرت 1996 و نباتی و رضوانی مقدم 1385) از وسط هر کرت فرعی فرعی (از دو ردیف وسط)، با رعایت حاشیه 10 بوته انتخاب و

پس از قرار گرفتن در دمای 60 درجه سانتی‌گراد به مدت 72 ساعت عملکرد علوفه خشک اندازه گیری شد.

میزان نیتروژن براساس روش کجلدال (امامی 1375)، فسفر با روش نیتروونادومولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Shimadzu, JapanUV-3100) و پتاسیم نیز با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (ملک‌زاده 1389). میزان عناصر مس، منگنز، آهن و روی در اندام هوایی گیاهان به روش خاکستر خشک و حل کردن در اسید کلریدریک 2 نرمال و با دستگاه جذب اتمی مدل (Shimadzu, Japan A-670)، (کاتنی 1980) در آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشکده مهندسی فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران اندازه‌گیری شد.

شمارش جمعیت باکتری‌های حل کننده فسفات و شمارش تعداد اسپور قارچ میکوریز آربوسکولار در هر گرم خاک نیز براساس روش زارعی (1387) انجام گرفت. همچنین، برای محاسبه درصد کلنیزاسیون ریشه در مرحله تاسل‌دهی از ریشه‌های نازک گیاه به اندازه تقریبی یک گرم نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه ریشه‌های ریز و ظریف انتخاب و پس از شستشو با آب مقطر تا زمان رنگ آمیزی در لوله‌های آزمایش حاوی محلول تثبیت کنندهٔ فرمالین-اسید استیک-الکل (FAA) با نسبت 5-5-90 نگهداری شدند. رنگ آمیزی با محلول لاکتوگلیسرول-جوهر آبی انجام گرفت (زارعی 1387) و درصد کلنیزاسیون ریشه نیز با روش تقاطع خطوط شبکه محاسبه گردید (کورمانیک و مک گراو 1982).

تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS نسخه 9/1 انجام پذیرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد توسط نرم افزار MSTAT-C محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری برای صفات میزان جذب آهن و عملکرد مادهٔ خشک علوفه در سطح احتمال یک درصد و برای سایر صفات در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول2). نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد نشان داد که بیشترین مقدار صفات اندازه‌گیری شده به جز جذب عنصر پتاسیم در شرایط آبیاری نرمال بدست آمد (جدول3). تیمار تنش ملایم نسبت به شرایط آبیاری نرمال جذب نیتروژن، فسفر، آهن، روی، منگنز و مس، عملکرد مادهٔ خشک و کلنیزاسیون ریشه را به ترتیب به میزان 13/7، 28/73، 16/21، 19/07، 16/21، 16/30، 19/7 و 18/5 درصد کاهش و جذب پتاسیم را 11/59 درصد افزایش داد (جدول3).

به نظر می‌رسد تحرک کم عنصر فسفر و عناصر کم مصرف در شرایط تنش خشکی علت کاهش میزان جذب این عناصر باشد (علیزاده 1384). بروز تنش خشکی باعث افزایش جذب پتاسیم گردید. افزایش جذب پتاسیم در شرایط تنش خشکی به دلیل مکانیسم جذب فعال این عنصر است، در واقع گیاه به منظور افزایش مقاومت به خشکی خود بر خلاف پدیدهٔ انتشار با صرف انرژی غلظت پتاسیم را در ریشه و اندام هوایی گیاه بالا می‌برد (بندان‌نژاد و ساکی‌نژاد 1388). در هنگام تنش خشکی گیاه با مصرف انرژی، غلظت شیرهٔ سلولی را در سلـــول‌های ریشه و اندام‌های هوایی خود بر خلاف پدیده‌ی انتشار بالا برده و به این طریق مقاومت به خشکی را افزایش می‌دهد. افزایش جذب پتاسیم باعث تأثیر مثبت بر فتوسنتز، افزایش رشد، افزایش سرعت انتقال مواد فتوسنتزی، افزایش بیشتر پروتئین، تنظیم باز و بسته شدن روزنه، کاهش تعرق و افزایش جذب آب بوسیلهٔ گیاه می‌شود (ساجدی و همکاران 1389).

اثر قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودموناس فلورسنس* بر روی تمام صفات جذب

عناصر معدنی، عملکرد مادهٔ خشک علوفه و کلنیزاسیون ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول2). بیشترین مقادیر این صفات نیز از تیمار کاربرد توأم قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودموناس فلورسنس* بدست آمد (جدول3). این نتایج حاکی از یک رابطهٔ هم افزایی مثبت بین قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری حل کننده فسفات‌های نامحلول بود که کاربرد توأم آنها باعث بهبود جذب عناصر در اندام هوایی گیاه و عملکرد علوفه ذرت شد. همچنین، در کاربرد مجزای این دو ریزسازواره مشاهده شد که قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به باکتری *سودموناس فلورسنس* از توانایی بیشتری در افزایش جذب عناصر و زیست توده گیاه برخوردار بوده است و میزان این افزایش برای تمام صفات مورد بررسی نیز معنی‌دار بود (جدول 3). جذب عناصر غذایی توسط گیاه نه تنها به فراهمی عناصر غذایی در محلول خاک بلکه به کارایی سیستم‌های ریشه برای جذب این عناصر نیز بستگی دارد (بورکرت و رابسون 1994). لیو و همکاران (2000) بیان داشتند گیاهان همزیست با میکوریز عناصر غذایی فلزی بیشتری را از طریق هیف‌های خارجی خود جـــذب می‌کنند که این امر به علت افزایش سطح تماس بیشتر نسبت به ریشه‌های گیاه و کاهش فاصلهٔ انتشـــار یون‌های فلزی نظیر آهن و منگنز تا محل جذب است.

اثر متقابل قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودموناس فلورسنس* و آبیاری برای غلظت پتاسیم و عملکرد مادهٔ خشک در سطح احتمال یک درصد و برای سایر صفات در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول2). بیشترین مقادیر این صفات در شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم خشکی با استفاده از کاربرد توأم قارچ و باکتری بدست آمد؛ البته بیشترین میزان درصد پتاسیم مربوط به تیمار تنش ملایم و کاربرد توأم قارچ و باکتری بود (شکل 1). در کاربرد مجزای این دو ریزسازوارهٔ حل کننده فسفات‌های نامحلول نیز، قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به باکتری *سودموناس فلورسنس* در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم تاثیر بیشتری بر افزایش صفات مورد بررسی داشت. همچنین تیمار تنش خشکی و کاربرد توأم قارچ و باکتری حل کنندهٔ فسفات جذب عناصر نیتروژن، روی، منگنز و مس را نسبت به تیمار آبیاری نرمال و عدم استفاده از ریزسازواره‌های حل کننده فسفات به ترتیب به میزان 7/75، 12/8، 1/41 و 27/76 درصد افزایش داد، البته این افزایش تنها برای عناصر نیتروژن، روی و مس معنی‌دار بود (شکل 1).

احتشامی و همکاران (1387) نشان دادند که کاربرد توأم قارچ میکوریزی و باکتری حل کننده فسفات سبب افزایش جذب فسفر و نیتروژن، درصد کلنیزاسیون ریشه، کارایی مصرف آب و عملکرد دانه ذرت تحت شرایط تنش خشکی گردید.

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در بررسی سیستم تغذیه تلفیقی بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت علوفه‌ای در شرایط کمبود آب

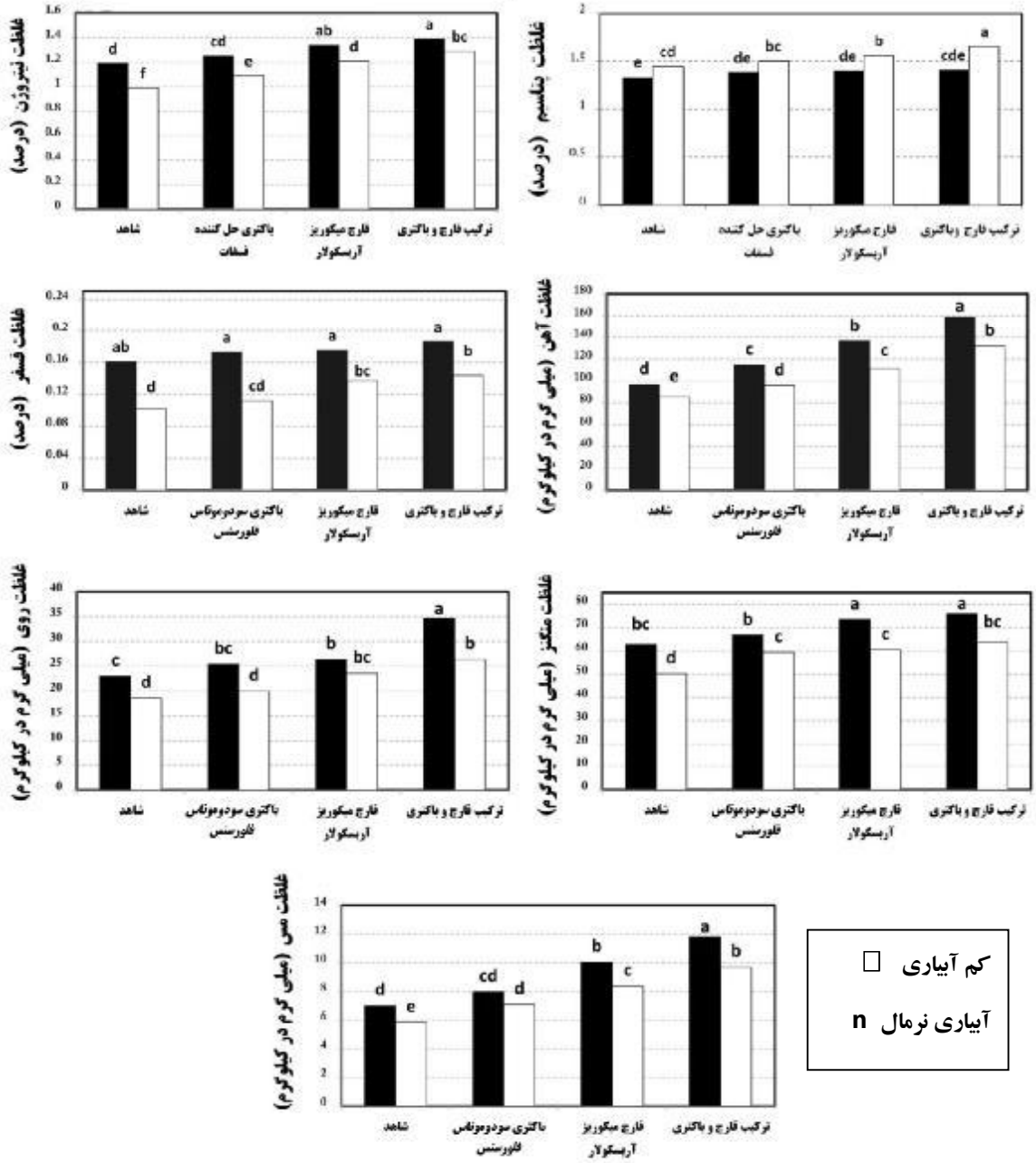
		میانگین مربعات								
منابع تغییر	df	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	آهن	روی	منگنز	مس	عملکرد ماده خشک	کلنیزاسیون ریشه
بلوک	2	0/7*	0/06 ns	0/0007ns	146/8ns	43/2ns	104/54ns	49/5*	7/52ns	16/7ns
آبیاری (I)	1	0/5*	0/5*	0/04*	7585/01**	490/9*	2300/7*	38/2*	170/8**	1060*
خطای اصلی	2	0/009	0/02	0/002	72/7	8/7	80/1	1/98	0/39	21/40
ترکیب قارچ میکوریز و باکتری *سودموناس*(MB)	3	0/19**	0/06**	0/004**	10004/16**	318/1**	600/8**	65/4**	37/6**	3343/4**
MB ×I	3	0/01*	0/02**	0/0006*	704/7*	21/7*	31/9*	1/3*	1/41**	62/7*
خطای فرعی	12	0/003	0/002	0/0001	64/14	4/6	8/7	0/27	0/17	13/66
کودشیمیایی فسفره (P)	2	0/3**	0/07**	0/008**	14298/3**	370/5**	2221/9**	22/4**	49/7**	274/3**
I ×P	2	0/009*	0/0003 ns	0/0006**	80/6 ns	1/6ns	578/8**	0/03ns	2/61 ns	6/7ns
MB ×P	6	0/002ns	0/005*	0/0002*	285/4*	10/1ns	13/5ns	0/67*	0/4ns	19/2ns
MB×I ×P	6	0/002 ns	0/001 ns	0/00002 ns	436/3**	3/0ns	36/1*	0/97**	0/61ns	7/6ns
خطای فرعی فرعی	32	0/003	0/002	0/00008	111/33	2/7	14/9	0/25	0/48	11/8
ضریب تغییرات%	-	4/6	2/87	6/02	9/07	6/6	6/03	5/9	5/09	9/1

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 1% و 5% و غیر معنی‌دار.

جدول 3-مقایسه میانگین‌ها اثرات اصلی صفات اندازه گیری شده در بررسی سیستم تغذیه تلفیقی بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت علوفه‌ای در شرایط کمبود آب

تیمار	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	آهن	روی	منگنز	مس	عملکرد ماده خشک	کلنیزاسیون ریشه
	درصد			میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک				تن در هکتار	درصد
آبیاری (I)									
آبیاری نرمال (I_1)	1/29a	1/38b	0/174a	126/64a	27/36a	69/69a	9/2a	15/07a	41/7a
تنش ملایم (I_2)	1/12b	1/54a	0/124b	106/11b	22/14b	58/39b	7/7b	12/0b	34/0b
ترکیب قارچ میکوریز و باکتری *سودموناس*(MB)									
شاهد (M_0B_0)	1/09d	1/52d	0/132d	91/01d	20/8d	56/4d	6/41d	11/9d	19/4d
کاربرد قارچ میکوریز (M_0B_1)	1/17c	1/47c	0/143c	105/2c	22/7c	63/0c	7/52c	12/9c	36/3c
کاربرد باکتری *سودوموناس*(M_1B_0)	1/23b	1/44b	0/157b	123/8b	25/0b	66/9b	9/20b	14/0b	45/7b
ترکیب کاربرد قارچ و باکتری (M_1B_1)	1/34a	1/39a	0/165a	145/4a	30/5a	69/8a	10/7a	15/28a	50/1a
کودشیمیایی فسفره (P)									
شاهد (P_0)	1/09c	1/40c	0/131c	94/6c	29/0a	53/42c	7/63c	12/25c	41/5a
سوپر فسفات تریپل (P_1)	1/33a	1/52a	0/169a	142/8a	25/3b	72/17a	9/52a	15/09a	34/9c
خاک فسفات (P_2)	1/21b	1/45b	0/148b	111/8b	24/0b	66/5b	8/26b	13/26b	37/2b

در هرستون، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال 5% است.



شکل 1- اثر متقابل سطوح آبیاری و ترکیب ریزسازواره های حل کننده فسفات بر میزان غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، آهن، روی، منگنز و مس در اندام هوایی ذرت علوفه‌ای. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

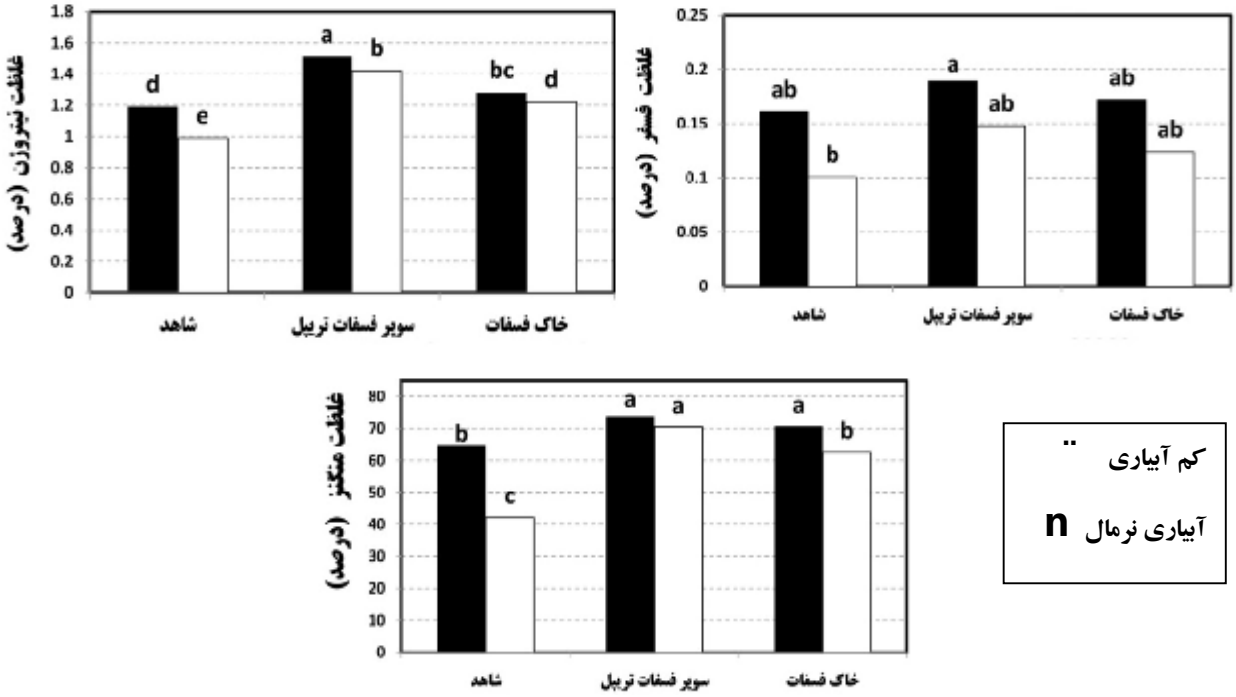
یافته‌های آنها نشان داد که ریزسازواره‌های حل کنندهٔ فسفات‌های نامحلول به دلیل تأثیر هم افزایی بر افزایش رشد و جذب عناصر غذایی بویژه فسفر در ذرت، افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه و نیز افزایش سطح تماس و جذب ریشـــــه از خاک می‌توانند منجر به افزایش تحمل گیاه در شرایط تنش کم آبی گردند. خلیلی و همکاران (1389) نیز علت کاهش اثر تنش خشکی و افزایش رشد گیاهان به واسطـــــه‌ی مایه‌زنی با باکتری

سودوموناس را تولید متابولیت‌های مؤثر بر رشد گیاه، مانند هورمون‌های گیاهی (اکسین، سیتوکینین و جیبرلین)، افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول همانند فسفر و پتاسیم از طریق تولید اسیدهای آلی و معدنی، تولید سیدروفورها، افزایش فراهمی عناصر کم مصرف بویژه آهن، تولید آنزیم ACC-دآمیناز مؤثر بر کاهش تاثیر منفی اتیلن تنشی، به ویژه در شرایط تنش‌های محیطی دانستند.

اثر کود شیمیایی فسفره بر روی تمام صفات از جمله بر میزان جذب عناصر غذایی اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول2). کود سوپرفسفات تریپل نسبت به سنگ فسفات و تیمار شاهد، باعث افزایش معنی‌دار کلیه صفات به جز میزان جذب عنصر روی در اندام هوایی شد (جدول3). میزان افزایش غلظت عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم، فسفر، آهن، منگنز و مس در اندام هوایی گیاه با استفاده از مصرف بهینهٔ کود سوپرفسفات تریپل نسبت به مصرف خاک فسفات به ترتیب به میزان 9/02، 4/6، 12/42، 21/7، 17/24، 7/85 و 13/23 بود. سوبرامانیان و همکاران (2008) بیان داشتند که افزایش سطوح مصرف کود فسفر باعث کاهش میزان جذب عنصر روی در اندام هوایی ذرت می‌شود؛ این محققان علت این امر را اثرات آنتاگونیست این عناصر در حضور یکدیگر دانستند. همچنین این نتایج با نتایج بدست آمده از بررسی راجا و همکاران (1990) و امیر آبادی و همکاران (1388) که گزارش کردند افزایش کودهای فسفره جذب عناصر روی، همزیستی میکوریزی و کلنیزاسیون ریشه را کاهش می‌دهد، مطابقت داشت.

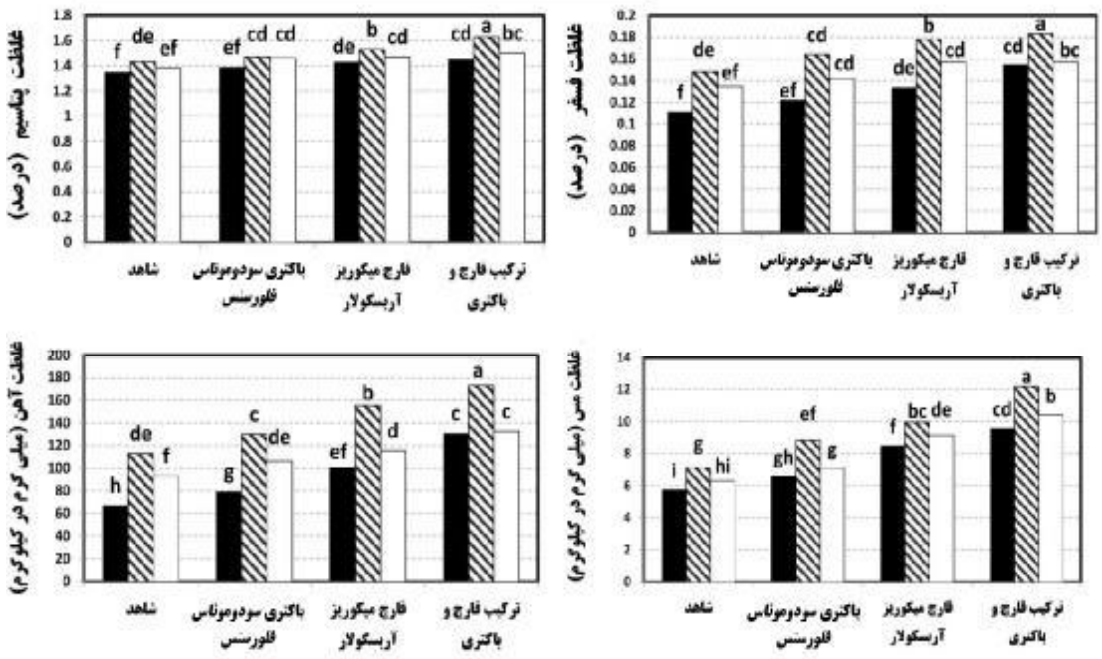
اثر متقابل کود شیمیایی فسفره و آبیاری تنها برای میزان جذب عناصر پتاسیم، فسفر، منگنز و عملکرد ماده خشک معنی‌دار بود (جدول2). مقایسه میانگین‌ها کود شیمیایی فسفره در سطوح مختلف آبیاری در رابطه با این صفات نشان داد که بیشترین مقدار این صفات مربوط به تیمار آبیاری نرمال و استفاده از کود سوپر فسفات تریپل بود (شکل 2).

همچنین، اثر متقابل کود شیمیایی فسفره و قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* برای صفات پتاسیم، فسفر، آهن، روی و مس معنی‌دار بود (جدول2). نتایج مقایسه میانگین‌ها این صفات نشان داد که بیشترین مقادیر جذب این عناصر مربوط به تیمار کود سوپر فسفات تریپل و کاربرد توأم قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* بود (شکل 3). در بررسی برهمکنش کود زیستی و کود شیمیایی فسفر مشخص شد در شرایطی که نیمی از کود شیمیایی فسفر مورد نیاز گیاه ذرت براساس نتایج آزمون خاک توسط منابع کودی سوپر فسفات تریپل و خاک فسفات تأمین شود، استفاده از قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* به عنوان کودهای زیستی مکمل، همراه با مصرف بهینه‌ی سوپر فسفات تریپل مزیت نسبی بیشتری نسبت به خاک فسفات در افزایش عملکرد ماده خشک ذرت خواهد داشت (شکل 3). به عقیده لیو و همکاران (2000) تأثیر فسفر بر روی مس و روی را می‌توان از دو منظر مورد بررسی قرار داد. آنها معتقد هستند که گیاهان رشد یافته در شرایط کمبود فسفر از هیف‌های خارجی بیشتری برخوردارند بنابراین پتانسیل جذب عناصر مس و روی در این گیاهان بیشتر است. از سوی دیگر، افزایش محتوی فسفر در اندام هوایی در نتیجه سطوح بالای فسفر خاک می‌تواند منجر به افزایش اندازه مخزن عناصر مس و روی گردد که این امر به نوبه خود می‌تواند موجب القای جذب و انتقال بیشتر این عناصر به اندام هوایی گیاه گردد.



شکل 2- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود شیمیایی فسفر بر روی غلظت نیتروژن، فسفر و منگنز در اندام هوایی گیاه ذرت علوفه‌ای.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

این محققان مشاهده کردند که میزان عنصر مس در اندام هوایی گیاه بر اثر افزایش سطوح فسفر از 12 تا 58 درصد افزایش یافت. ایرانی‌پور و همکاران (1385) در بررسی تأثیر باکتری‌های حل کنندهٔ فسفات و ماده آلی بر قابلیت جذب فسفر از منبع خاک فسفات بیان داشتند که کاربرد خاک فسفات به تنهایی تاثیر مثبت و معنی‌داری بر افزایش عملکرد محصول ذرت نداشت که از دلایل آن به بالا بودن pH خاک فسفات مورد استفاده در تحقیق و کم بودن میزان مواد آلی خاک و ظرفیت بافری نسبتاً قابل توجه خاک اشاره کردند. این محققان بیان داشتند که حداکثر عملکرد مادهٔ خشک، کارایی جذب فسفر از منبع کودی و کارایی زراعی نسبی از تیمار مصرف منبع خاک فسفات و باکتری حل کنندهٔ فسفات بدست آمد که دلایل آن را تاثیر مثبت باکتری حل کنندهٔ فسفات در انحلال خاک فسفات و تأمین فسفر مورد نیاز گیاه در طول فصل کشت دانستند. به نظر می‌رسد که به دلیل اینکه فسفر موجود در ترکیب کودی خاک فسفات نسبت به سوپر فسفات تریپل نیاز به انرژی بیشتری برای انحلال آن از فرم نامحلول به صورت محلول و قابل دسترس برای گیاه را دارد (زراعی و همکاران 2006) و از آنجایی که اسیدهای آلی مترشحه از ریزجانداران حل کننده فسفات و سایر فاکتورهای دخیل در این امر منبعی برای این فرایند به شمار می‌روند، بنابراین می‌توان اظهار داشت که دلیل افزایش صفات مورد بررسی در این پژوهش توسط کاربرد توأم ریزجانداران حل کننده فسفات در شرایط مصرف بهینه‌ی کود سوپرفسفات تریپل به دلیل تجمیع اثرات مثبت این دو ریزجانداران در انحلال فسفات‌های



" ، خاک فسفات؛ **"** ، سوپر فسفات تریپل؛ **n**، شاهد

شکل 3- اثر متقابل ترکیب ریزجانداران حل کننده فسفات و کود شیمیایی فسفر بر روی غلظت پتاسیم، فسفر ، آهن و مس در اندام هوایی گیاه ذرت علوفه‌ای. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

نامحلول معدنی از منبع کودی سوپر فسفات تریپل نسبت به خاک فسفات بوده است. از طرفی در بررسی که توسط برخی از محققان انجام گرفته است حداکثر میزان فسفر قابل دسترس که باعث توقف همزیستی میکوریزی می‌شود برای گونه‌های مختلف گیاهی و قارچ میکوریزی بین 50 تا 140 میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک گزارش شده است، این محققان حد بهینهٔ فسفر خاک برای برقراری همزیستی را بین 15-20 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک گزارش کردند (آمیجی و همکاران 1989، موسه 1973، ابوت و رابسون 1978 و شویبرت و هیمن 1978).

نتیجه‌گیری کلی

در حقیقت در همکاری بین ریزجانداران فراریشه‌ای، به دلیل غنای تغذیه‌ای در این محیط، امکان بهتر شدن محدودیت‌های تغذیه‌ای از طریق مزایای این نوع همکاری فراهم می‌شود، ولی کود دِهی همانند آنچه که در کشاورزی فشرده و با مصرف بالای نهاده‌های شیمیایی مانند فسفر مرسوم است، می‌تواند مزایا و کارایی همزیستی ریزسازواره‌هایی نظیر قارچ‌های میکوریزی را کاهش دهد. در این شرایط به دلیل افزایش سطوح فسفولیپیدها در گیاه، ترشحات ریشه، نفوذ پذیری غشا و در ادامه کلنیزاسیون ریشه کاهش می‌یابد. این نوع راهبرد که توسط قارچ‌های میکوریزی در شرایط افزایش رقابت انجام می‌گیرد باعث کاهش مزایای همزیستی میکوریزی برای گیاهان میزبان می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که

کاربرد ریزجانداران حل کنندهٔ فسفات‌های نامحلول در تلفیق با کودهای شیمیایی فسفره مبتنی بر یک نظام زراعی کم نهاده می‌تواند با کاهش مصرف کودهای شیمیایی اثرات منفی ناشی از مصرف این کودها را در بوم نظام‌های زراعی کاهش دهد و از طریق افزایش جذب عناصر کم تحرک در اندام هوایی گیاه باعث افزایش عملکرد گیاه ذرت علوفه‌ای گردد.

تشکر و قدر دانی

بدینوسیله از زحمات سرکار خانم محمدی کارشناس آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشکده مهندسی فناوری کشاورزی و جناب آقای مهندس دشتکی مدیر مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران که در انجام این تحقیق نویسندگان را یاری نموده‌اند کمال تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

احتشامی م، آقاعلیخانی م، چائی چی م و خاوازی ک، 1387. تاثیر کودهای زیستی فسفاته بر خواص کمی و کیفی ذرت دانه‌ای سینگل کراس 704 در شرایط تنش کم آبی. مجله علوم گیاهان زراعی جلد چهلم، شماره 1، صفحه‌های 15 تا 26.

امامی ع، 1375. روش های تجزیه گیاه. جلد اول. موسسه تحقیقات آب و خاک نشریه شماره 982.

امیرآبادی م، رجالی ف، اردکانی مر و برجی م، 1388. تاثیر کاربرد مایه تلقیح ازتوباکتر و قارچ میکوریزی بر جذب برخی عناصر معدنی توسط ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس 704) در سطوح مختلف فسفر. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک آب). جلد بیست و سوم، شماره 1، صفحه‌های 107 تا 115.

ایرانی‌پور ر، ملکوتی م ج، عابدی م ج و السادات سجادی ا، 1386. اثرات اصلی خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر شاخص های عملکرد محصول ذرت و اثرات باقیمانده آن بر عملکرد محصول جو. مجله علوم خاک و آب، جلد بیست و یک، شماره 2، صفحه‌های 195 تا 205.

بای‌بوردی م، ملکوتی م ج، مکری ه و نفیسی م، 1379. تولید و مصرف بهینه کود شیمیایی در راستای اهداف کشاورزی پایدار. نشر آموزش کشاورزی.

بندان‌نژاد ش و ساکی‌نژاد ط، 1388. اثر سطوح مختلف پتاسیم بر مولفه‌های عملکردی و تنظیم فشار اسمزی گیاه ذرت در شرایط آب و هوایی اهواز. فصلنامه تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد اول، شماره 2، صفحه‌های 17 تا 25.

توحیدی‌مقدم ح، نصری م، پاک‌نژاد ف و زاهدی ح، 1386. بهینه سازی مصرف کودهای شیمیایی فسفات با کاربرد باکتری های حل کننده فسفات در زراعت ارقام دانه ای ذرت. فصلنامه دانش کشاورزی ایران، جلد چهارم، شماره 4، صفحه‌های 413 تا 420.

خلیلی ر، علیخانی ح، زارعی م و رحمت پور س، 1389. بررسی تاثیر سویه‌های سودوموناس فلورسنس بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی. صفحه‌های 15 تا 20. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان. اصفهان، صفحه‌های 15 تا 20.

رضایی ر، چراتی‌آرائی ع، اکبری نودهی د، مبصر ح ر و رمضانی م، 1387. تأثیر دور آبیاری و کاربرد مقادیر نیتروژن بر عملکرد علوفه خشک و راندمان مصرف آب ذرت سینگل کراس 704 در استان مازندران. یافته‌های نوین کشاورزی، سال سوم، شماره 2 صفحه‌های 122 تا 135.

زارعی م، 1387. بررسی تنوع قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار درخاک‌های آلوده به فلزات سنگین وکارآیی آنها در گیاه پالایی. رساله دکتری خاکشناسی، پردیس کشاورزی ومنابع طبیعی دانشگاه تهران.

ساجدی ن، اردکانی مر، ساجدی ع و بهرامی ع، 1389. جذب برخی عناصر غذایی تحت تأثیر میکوریزا، سطوح مختلف روی و تنش خشکی در ذرت. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد هشتم، ،شماره 5، صفحه‌های 784 تا 791.

سلطانی‌طولارود ا ع، صالح راستین ن، خاوازی ک، اسدی‌رحمانی ه و عباس‌زاده دهجی پ، 1386. جداسازی و بررسی صفات محرک رشد گیاهی برخی از سودوموناس‌های فلورسنت بومی خاک‌های ایران. مجله علوم خاک و آب، جلد بیست و یک، شماره 2، صفحه‌های 288 تا 296.

علیزاده ا، 1384. بررسی اثر مقادیر مختلف نیتروژن و تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد و میزان جذب عناصر غذایی و نیز مطالعه مزیستی میکوریزایی در ذرت. رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز.

قورچیانی م، اکبری غ، علیخانی ح، زارعی م و اله‌دادی ا، 1390. اثر قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری سودوموناس فلوروسنس بر ویژگی‌های بلال، میزان کلروفیل و عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش رطوبتی. مجله دانش آب و خاک، جلد بیست و یک، شماره 1، صفحه‌های 97 تا 114.

نباتی ج و رضوانی‌مقدم پ، 1389. اثر فواصل آبیاری بر عملکرد و خصوصیات مورفولوژیکی ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، جلد چهل و یک، شماره 1، صفحه‌های 179 تا 186.

نوری اظهر ج و احسان زاده پ، 1386. بررسی روابط شاخص‌های رشد و عملکرد پنج هیبرید ذرت در دو رژیم آبیاری در منطقه اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد یازدهم، شماره 41، صفحه‌های 261 تا 271.

ملک زاده ا، 1389. بررسی برهمکنش بین باکتری محرک رشد گیاه (PGPR) و قارچ مکیوریز وزیکولار آربسکولار بر شاخص های رشد و جذب عناصر سنگین نیکل و کادمیوم در گیاه ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک شناسی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشگاه تهران.

Abbott LK and Robson AD, 1978. Growth of subterranean clover in relation to the formation of endomycorrhizal by introduced and indigenous fungi in a field soil. New Phytologist, 81: 575-585.

Abdul Jaleel C, Manivannan P, Sankar B, Kishorekumar A, Gopi R, Somasundaram R and Panneerselvam R, 2007. *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and jmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. Colloids Surf, B: Biointerfaces, 60: 7–11.

Amijee F, Tinker PB and Stribley DP, 1989. The development of endomycorrhizal root systems. VII. A detailed study of effects of soil phosphorus on colonization. New Phytologist, 111: 435-446.

Boomsma CR and Vyn TJ, 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. Field Crops Research, 108:14–31.

Bürkert Band Robson AD, 1994. Zn uptake in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) by three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a root-free sandy soil. Soil Biology Biochemistry, 26 :1117-1124.

Cottenie A, 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. FAO Soils Bulletin, No. 38/2.

Garbaye J, 1994. Helper bacteria: a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. New Phytologist., 128: 197-210.

Kahiluoto H, Ketoja E and Vestberg MC, 2009. Contribution of arbuscular mycorrhiza to soil quality in contrasting cropping systems. Agriculture Ecosystems and Environment, 134: 36-45.

Kormanik PP and McGraw AC, 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: Paul St (Ed.), Methods and principles of mycorrhizal research, NC sheed. American Psychopathological Society, 37-45.

Kothari SK, Marschnerf H and Romheld V, 1990. Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on acquisition of mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil. New Phytologist., 116: 637-645.

Liu A, Hamel C, Hamilton RI, Ma BL and Smith DL, 2000.Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. Mycorrhizae, 9: 331-336.

Mosse B, 1973. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhizae. IV. In soil given additional phosphate. New Phytologist., 72: 127-136.

Muthukumar T, Udaiyan K and Manian S, 1994. Role of edaphic factors on VAM fungal colonization and spore populations in certain tropical wild legumes. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science, 71: 33-42

Ngwene B, George E, Claussen W and Neumann E, 2010. Phosphorus uptake by cowpea plants from sparingly available or soluble sources as affected by nitrogen form and arbuscular-mycorrhiza-fungal inoculation. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 173: 353–359.

Panwar J, Yadav RS, Yadav BK and Tarafdar JC, 2008. Arbuscular mycorrhiza: a dynamic microsymbiont for sustainable agriculture. Siddiqui ZA, Akhtar MS and Futai K, (Eds). In: Mycorrhizae: Sustainable agriculture and forestry, Springer Science + Business Media B.V.

Raja PS, Clark RB, Ellis JR and Maranville JW, 1990. Mineral uptake and growth of sorghum colonized with VA mycorrhiza at varied soil phosphorus levels. Journal of Plant Nutrition, 13: 843 – 859

Schuybert A and Hayman DS, 1978. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhizae. XVI. Effectiveness of different endophytes at different levels of soil phosphate. New Phytologist, 103: 79-80.

Snyman LD and Joubert HW, 1996. Effect of maturity stage and method of preservation on the yield and quality of sorghum. Animal Feed Science and Technology, 57: 63-73.

Subramanian KS, Charest C, Dwyer LM and Hamilton RI, 1997. Effects of arbuscular mycorrhiza on leaf water potential, sugar content and P content during drought and recovery of maize. Canadian Journal of Botony, 75: 1582–1591

Subramanian KS, Bharathi CA and Jegan O, 2008. Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. Biology and Fertility of Soils, 45:133–144 .

Verbruggen E and Toby-Kiers E, 2010. Evolutionary ecology of mycorrhizal functional diversity in agricultural systems. Evolutionary Application, 547–560.

Zarei M, Saleh-Rastin N, Alikhani HA and Aliasgharzadeh N, 2006. Responses of lentil toco-inoculation with phosphate-solubilizing rhizobial strains and arbuscular mycorrhizal fungi. Journal of Plant Nutrition, 29: 1509–1522.