

بر ویژگی‌های بلال، *Pseudomonas fluorescence* اثر قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری

میزان کلروفیل و عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش رطوبتی

مهدی قورچانی^{1*}، غلامعباس اکبری²، حسینعلی علیخانی³، ایرج اله دادی²، مهدی زارعی⁴

تاریخ دریافت: 89/7/26 تاریخ پذیرش: 89/10/15

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
 - 2- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
 - 3- دانشیار، گروه مهندسی علوم خاک و آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران
 - 4- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
- * مسئول مکاتبه Email: mghorchiani@ymail.com

چکیده

به منظور بررسی اثرات قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری سودوموناس فلوروسنس بر ویژگی‌های بلال، میزان کلروفیل و عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش رطوبتی، آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها عبارت از آبیاری در دو سطح: آبیاری پس از 60 و 120 میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A؛ ترکیب قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *Pseudomonas fluorescence* در چهار سطح: کاربرد توام قارچ میکوریز آربسکولار - باکتری حل‌کننده فسفات، کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات، کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار و عدم کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار - باکتری حل‌کننده فسفات و تیمار کود شیمیایی فسفره در سه سطح: عدم مصرف کود شیمیایی فسفره، مصرف 50% کود سوپر فسفات تریپل مورد نیاز براساس نتایج آزمون خاک و مصرف سنگ فسفات (براساس کمیت فسفر مصرفی از منبع سوپر فسفات تریپل) بودند. صفات مورد بررسی شامل عملکرد دانه، وزن خشک کل گیاه، تعداد کل دانه در بلال، وزن خشک بلال، وزن خشک چوب بلال، وزن خشک پوشش بلال، طول بلال، طول کچلی بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال، عمق دانه، درصد دانه، درصد چوب، میزان کلروفیل برگ بلال و درصد کلنیزاسیون ریشه بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح آبیاری، سطوح قارچ میکوریز آربسکولار - باکتری *Pseudomonas fluorescence* و همچنین سطوح کود شیمیایی فسفره در همه صفات به جز صفات عمق دانه، درصد دانه و درصد چوب بلال معنی دار بود. در سطوح قارچ میکوریز آربسکولار - باکتری *Pseudomonas fluorescence* بیشترین مقدار صفات بجز درصد دانه و درصد چوب بلال مربوط به کاربرد توام قارچ میکوریز آربسکولار - باکتری *Pseudomonas fluorescence* بود. بعلاوه تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم خشکی یک رابطه هم‌افزایی بین قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *Pseudomonas fluorescence* در اکثر صفات مورد بررسی مشاهده شد. همچنین نتایج بر همکنش کود شیمیایی فسفره و ریزموجودات حل‌کننده فسفات نیز نشان داد که کارایی کود سوپر فسفات تریپل همراه با ریزموجودات حل‌کننده فسفات در صفات اندازه‌گیری شده نسبت به سنگ فسفات بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: باکتری *Pseudomonas fluorescence*، تنش رطوبتی، درصد کلنیزاسیون ریشه، قارچ میکوریز آربسکولار، میزان کلروفیل

Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and *Pseudomonas fluorescence* Bacterium on the Ear Traits, Chlorophyll Content and Yield of *Zea Maize* under Moisture Stress Conditions

M Ghorchiani^{1*}, G Akbari², HA Alikhani³, I Allahdadi² and M Zarei⁴

Received: 13 October 2010 Accepted: 5 January 2011

¹MSc Student, Dept. of Agron. and Plant Breeding, Campus of Abureyhan, University of Tehran, Iran

²Assoc. Prof., Dept. of Agron. and Plant Breeding, Campus of Abureyhan, University of Tehran, Iran

³Assoc. Prof., Dept. of Soil and Water Sci. Engin., Campus of Agric. and Natural Resour., Karaj, University of Tehran, Iran

⁴Assist. Prof., Dept. of Soil Sci., Campus of Agric., University of Shiraz, Iran

*Corresponding author: mghorchiani@ymail.com

Abstract

In order to evaluate the effect of arbuscular mycorrhizal fungus and *Pseudomonas fluorescence* on ear traits, chlorophyll content and yield of maize under moisture stress condition, an experiment was conducted as split-split plot arrangement based on randomized complete block design with three replications. Treatments consisted of two levels of irrigation: irrigation after 60 and 120 mm evaporation from class A evaporation pan; combination of arbuscular mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescence* at four levels and phosphate chemical fertilizer at three levels. In this study some characteristics such as grain yield, total dry weight of plant, total number of grain per ear, ear dry weight, cob dry weight, husk dry weight, ear length, seed abortion, ear diameter, cob diameter, grain depth, grain percent, cob percent, leaf chlorophyll content of ear and root colonization percent were assessed. Analysis of variance of data showed that the effects of irrigation levels, levels of arbuscular mycorrhizal fungus-*Pseudomonas fluorescence* and phosphate fertilizer levels in all traits except grain depth, grain percent and cob percent were significant. At the levels of arbuscular mycorrhizal fungus-*Pseudomonas fluorescence* bacterium, maximum amount of all traits except grain percent and cob percent were related to co-application of arbuscular mycorrhizal fungus and phosphate solubilizing bacterium. In addition, under normal irrigation and mild drought stress conditions a synergistic relationship between arbuscular mycorrhizal fungus and *Pseudomonas fluorescence* on most of investigated traits were observed. Also, the results of interaction between phosphate fertilizer and phosphate solubilizing microorganisms showed that efficiency of super phosphate triple fertilizer with phosphate solubilizing microorganisms on investigated traits was more than that of rock phosphate.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, Chlorophyll content, Moisture stress, *Pseudomonas fluorescence* bacterium, Root colonization percent

مقدمه

بیش از 82 درصد زمین‌های کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان واقع شده است، که متوسط بارندگی آن در حدود 250 میلیمتر است که کمتر از یک سوم متوسط بارندگی جهان می‌باشد (860 میلیمتر)، بعلاوه همین مقدار بارندگی از یک توزیع مناسب مکانی و زمانی نیز برخوردار نیست (امیری و اسلامیان 2010). همچنین در بسیاری از خاک‌های ایران به دلیل بالا بودن pH و فراوانی یون کلسیم، به رغم فراوانی برخی از عناصر غذایی مانند فسفر، مقدار محلول و قابل جذب این عناصر، کمتر از مقدار لازم برای تامین رشد مناسب گیاه است. روش متداول برای مقابله با این کمبود استفاده از کودهای شیمیایی فسفره است که علاوه بر هزینه‌ی زیاد و بازدهی کم، آلودگی‌های زیست محیطی را نیز به دنبال دارند (راشی پور و علی‌اصغر زاد 1386).

کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا تقلیل چشمگیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه حل مطلوب جهت غلبه بر این مشکلات به شمار می‌آید. کودهای زیستی حاوی مواد نگهدارنده‌ای با جمعیت متراکم یک یا چند نوع ارگانسیم مفید خاکزی و یا بصورت فرآورده متابولیک این موجودات می‌باشند که به منظور بهبود حاصلخیزی خاک و عرضه مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در یک سیستم کشاورزی پایدار به کار می‌روند (درزی و همکاران 1387). بسیاری از قارچ‌ها و باکتری‌ها توانایی حل کردن فسفات‌های نامحلول را دارند (اختر و سیدیکویی 2009)، هر چند تعداد باکتری‌ها از قارچ‌های حل‌کننده فسفات بیشتر است، ولی در برخی موارد قارچ‌ها توانایی بیشتری برای انجام این عمل دارند (اردکانی 1378).

رابطه همزیستی بین قارچ میکوریز آربسکولار و ریشه‌های گیاه میزبان به میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی گیاه را افزایش می‌دهد (آگه 2001). این واکنش‌های مثبت ایجاد شده توسط همزیستی میکوریز آربسکولار را به افزایش جذب یون‌های کم تحرک خاک از قبیل فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، آهن، روی، مس و منگنز توسط قارچ میکوریز

آربسکولار و انتقال آنها به گیاه میزبان نسبت می‌دهند (لیو و همکاران 2000)؛ همچنین این همزیستی سبب افزایش جذب و انتقال عناصر متحرک نظیر نیتروژن معدنی به ویژه در شرایط تنش خشکی نیز می‌شود (آزکون و همکاران 1996 و لیو و همکاران 2007). از آنجایی که تحرک عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی پایین می‌باشد، میکوریز آربسکولار می‌تواند تاثیر زیادی روی رشد و نمو تمام اندام‌های گیاه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری نرمال داشته باشد (بومسما و وین 2008).

در میان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، چندین گونه از باکتری‌های جنس سودوموناس به عنوان کارآمدترین باکتری‌های حل‌کننده فسفات شناخته شده‌اند که استفاده از آنها به صورت کودهای زیستی باعث بهبود وضعیت تغذیه‌ای خاک، ترشح مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی و کنترل بیماری‌های خاک زاد می‌شود (هنری و همکاران 2008 و ویاژ و گولاتی 2009). همچنین باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌توانند فسفات‌های نامحلول، مانند سنگ فسفات را به شکل محلول و قابل دسترس برای رشد گیاه تبدیل کنند (هان و لی 2005). حمیدی و همکاران (1386) مشاهده کردند که افزوده شدن باکتری گونه *Pseudomonas fluorescence* به دیگر باکتری‌ها باعث افزایش اثر مثبت مایه‌زنی باکتریایی بذر بر عملکرد دانه و اجزای آن در دورگ‌های ذرت مورد مطالعه شده است از این رو آنها نتیجه گرفتند که موثرترین باکتری مورد بررسی باکتری گونه *Pseudomonas fluorescence* است.

آتیا (1999) ضمن اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای در دو منطقه مشاهده کرد که مایه‌زنی خاک با گونه‌ای از قارچ میکوریز از جنس گلوموس و باکتری گونه *Pseudomonas fluorescence* و تیمار مصرف کود سوپر فسفات تریپل و سنگ فسفات، سبب افزایش عملکرد دانه، میزان پروتئین و عناصر معدنی دانه ذرت و کارایی مصرف کود معدنی می‌شود. احتشامی و همکاران (1387) در بررسی که بر روی اثر مایه‌زنی بذر با باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریز بر تحمل ذرت به تنش کم آبی انجام دادند دریافتند که در تمام

فسفره با حالیت بالا (کود سوپرفسفات تریپل) و حالیت پایین (کود سنگ فسفات) مبتنی بر یک نظام زراعی کم نهاده روی زیتوده کل گیاه، ویژگی‌های بلال، عملکرد دانه، میزان کلروفیل برگ بلال و درصد کلنیزاسیون ریشه ذرت تحت شرایط تنش رطوبتی به منظور تعیین کارایی ریزموجودات حل کننده فسفات‌های نامحلول روی صفات فوق بوده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی 1388 در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در

ویژگی‌های اندازه گیری شده، تیمارهای تلقیح بذر با قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری حل کننده فسفات‌های نامحلول، در کلیه سطوح آبیاری بالاتر از تیمارهای کود شیمیایی و تیمار شاهد قرار گرفتند؛ یافته‌های آنها نشان داد که ریزموجودات حل کننده فسفات‌های نامحلول به دلیل تاثیر هم افزایی بر افزایش رشد و جذب عناصر غذایی بویژه فسفر در ذرت، افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه و نیز افزایش سطح تماس و جذب ریشه از خاک می‌توانند منجر به افزایش تحمل گیاه در شرایط تنش کم آبی گردند.

هدف از اجرای این تحقیق، بررسی تاثیر قارچ میکوریز آربسکولار، باکتری *Pseudomonas fluorescence* و نیز کودهای شیمیایی

جدول 1- نتایج آزمون خاک محل آزمایش

کلاس بافت	پتاسیم قابل استفاده mg kg ⁻¹	فسفر (السن) mg kg ⁻¹	نیتروژن کل (%)	ماده آلی (%)	قابلیت هدایت الکتریکی dS/m	pH
لوم رسی	124	13/5	0/071	0/73	1/62	8/3

آربسکولار (M_1B_0)، کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescence* و عدم کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار (M_0B_1) و نیز عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescence* - قارچ میکوریز آربسکولار (M_0B_0) و تیمار کود شیمیایی فسفره در سه سطح شامل: عدم مصرف کود شیمیایی فسفره (شاهد) (P_0)، مصرف 50% کود سوپر فسفات تریپل مورد نیاز براساس نتایج آزمون خاک، (جدول 1) به میزان 37/5 کیلوگرم در هکتار (P_1) و مصرف سنگ فسفات به میزان 44/5 کیلوگرم در هکتار براساس کمیت فسفر مصرفی از منبع سوپر فسفات تریپل (P_2) بود (جدول 2).

عملیات تهیه زمین مطابق عرف منطقه با اجرای یک شخم و دو دیسک عمود بر هم قبل از کاشت اجرا شد.

دولت آباد کرج و در زمینی به مساحت 2850 متر مربع به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار به اجرا درآمد. خاک مورد استفاده دارای بافت لوم رسی، pH= 8/3، قابلیت هدایت الکتریکی 1/62 دسی زیمنس بر متر و ماده آلی 0/73 درصد بوده است (جدول 1).

فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش شامل آبیاری در دو سطح، (I_1) آبیاری نرمال پس از 60 و (I_2) آبیاری همراه با تنش ملایم پس از 120 میلی متر تبخیر عمقی از تشتک تبخیر کلاس A؛ سطوح باکتری *Pseudomonas fluorescence* و قارچ میکوریز آربسکولار در چهار سطح شامل: کاربرد توأم باکتری *Pseudomonas fluorescence* - قارچ میکوریز آربسکولار (M_1B_1)، عدم کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescence* و کاربرد قارچ میکوریز

جدول 2- توصیف تیمارها در بررسی اثرات قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری سودوموناس فلوروسنس بر ویژگی‌های بلال، میزان کلروفیل و عملکرد ذرت در شرایط تنش رطوبتی

I	آبیاری (I) :
I ₁	آبیاری نرمال
I ₂	تنش ملایم
ریزموچودات حل کننده فسفات‌های نامحلول (MB) :	
M ₁ B ₁	کاربرد توام قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری <i>Pseudomonas fluorescense</i>
M ₁ B ₀	کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار
M ₀ B ₁	کاربرد باکتری <i>Pseudomonas fluorescense</i>
M ₀ B ₀	عدم کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری <i>Pseudomonas fluorescense</i> (شاهد)
کود شیمیایی فسفره (P) :	
P ₀	عدم مصرف کود شیمیایی فسفره (شاهد)
P ₁	مصرف 50% کود سوپر فسفات تریپل مورد نیاز براساس نتایج آزمون خاک، جدول 1 (به میزان 37/5 کیلوگرم در هکتار)
P ₂	مصرف سنگ فسفات (به میزان 44/5 کیلوگرم در هکتار) براساس کمیت فسفر مصرفی از منبع سوپر فسفات تریپل

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.

قارچ میکوریزی مورد استفاده در این تحقیق از طریق کشت تله گلدانی با گیاه سورگوم و با اسپورهای قارچ گلوموس موسه در آزمایشگاه بیولوژی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج تهیه شد. زاد مایه میکوریزی به صورت مخلوطی از اسپور، هیف، ریشه-های کلنیزه شده گیاه سورگوم و ماسه بادی با مقدار کلینزاسیون 70 درصد و میانگین اسپور 12 عدد در هر گرم بستره بود، قبل از کاشت حدود پنج تا شش گرم از زاد مایه میکوریزی به ازای هر بذور در حفره کاشت بذور در عمق سه تا چهار سانتی متری قرار داده شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد و ویژگی‌های بلال پس از فرا رسیدن مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه، با رعایت حاشیه از هر کرت فرعی فرعی، 10 بوته انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری گردید. وزن خشک صفات مورد بررسی نیز پس از قرار گرفتن در آون در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 48 ساعت، اندازه‌گیری شد.

هر واحد آزمایشی شامل 5 خط کاشت با فاصله 75 سانتی متری و به طول 5 متر بود. به منظور عدم تداخل تیمارهای شاهد و میکروبی نیز یک خط نکاشت بین تیمارهای کرت فرعی قرار داده شد.

عملیات کاشت در خرداد ماه و با استفاده از بذور ذرت رقم تری وی کراس 524، با نام تجاری ماکسیما انجام گرفت. بدین صورت که بذور به صورت کپه‌ای و با قرار دادن 2 الی 3 بذر سالم در روی پشته‌های 75 سانتی‌متری و به فاصله 20 سانتی متر در روی ردیف کشت، کاشته و در مرحله 3-4 برگگی تنک شدند. همزمان با کاشت بذور، بلافاصله کودهای نیتروژنی و پتاسیمی بر مبنای آزمون خاک و مطابق با توصیه کودی برای ذرت بصورت نواری به خاک داده شد. علاوه بر این نیتروژن در دو نوبت دیگر نیز بصورت سرک در اختیار گیاه قرار گرفت.

باکتری حل کننده فسفات از جدایه *Pseudomonas fluorescense* بود که از بانک ژن گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج تهیه شد، بذور پس از قرار گرفتن در

مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ذرت در دو سطح سلولی و کل گیاه اثر می‌گذارد و اکتنش‌های سطح سلولی در پاسخ به تنش خشکی موجب: 1- تجمع آب‌سزیک اسید 2- کاهش رشد و تقسیم سلولی 3- تنظیم اسمزی 4- تجمع پرولین 5- فتواکسیداسیون کلروفیل 6- کاهش فعالیت آنزیم‌ها و به همین ترتیب و اکتنش‌ها در سطح گیاه در پاسخ به تنش خشکی باعث: 1- کاهش گسترش سطح برگ، ساقه، ریشه و سرانجام کاهش تولید دانه 2- بسته شدن روزنه‌ها 3- کاهش فتوسنتز 4- کاهش جذب مواد فتوسنتزی در اندام‌های در حال رشد 5- تسریع پیری برگ 6- تأخیر رشد ابریشم (کاکل بلال) و افزایش سقط دانه 7- افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی 8- انتقال مجدد و تخلیه پی در پی ذخایر ساقه (مواد فتوسنتزی) (بومسما و وین 2008) و در نهایت منجر به کاهش زیتوده اندام هوایی و عملکرد دانه گیاه می‌گردد.

ویژگی‌های بلال رابطه مستقیمی با عملکرد دانه ذرت دارد، دلیل کاهش اجزای بلال در تیمار تنش رطوبتی، عدم وقوع حداکثر پتانسیل رشدی بلال‌ها به علت تأخیر در مرحله رشد بلال و کاهش مواد پرورده فراهم جهت رشد بلال می‌باشد، نتایج تحقیقات انجام شده بر روی ذرت نشان داده که افزایش فواصل آبیاری به لحاظ اثر منفی بر تلقیح و پر شدن دانه‌ها موجب افزایش طول کچلی بلال می‌گردد که بروز ناهنجاری‌هایی چون افزایش فاصله زمانی گرده افشانی و ظهور ابریشم‌ها، عدم پذیرش دانه‌های گرده توسط ابریشم‌ها به لحاظ محتوای رطوبت کم آنها و عدم تکامل ابریشم‌ها دلایل اصلی عدم لقاح و پر نشدن دانه‌ها و افزایش طول کچلی انتهایی بلال در شرایط تنش خشکی می‌باشند (مسجدی و همکاران 1387).

همچنین از عدد SPAD که توسط دستگاه¹ اندازه گیری شد، به عنوان شاخصی برای میزان کلروفیل برگ بلال در مرحله پر شدن دانه استفاده گردید. نحوه اندازه‌گیری به این صورت بود که 10 بوته از هر کرت فرعی فرعی به صورت تصادفی انتخاب و میزان کلروفیل در برگ بلال (مجیدیان و همکاران 1387) و در سه نقطه از برگ (نوک، وسط و قاعده برگ) تعیین و میانگین آن برای هر کرت ثبت شد.

برای محاسبه درصد کلنیزاسیون ریشه از ریشه‌های نازک گیاه به اندازه تقریبی یک گرم نمونه برداری و به آزمایشگاه منتقل شد و پس از رنگ آمیزی با محلول لاکتوگلیسرول-جوهر آبی با روش تقاطع خطوط شبکه (کورمانیک و مک گراو 1982) درصد کلنیزاسیون ریشه محاسبه شد.

داده‌ها با نرم افزار SAS تجزیه شدند و مقایسه میانگین‌ها نیز با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال 5 درصد توسط نرم افزار MSTATC محاسبه گردیدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده نشان داد که بین سطوح مختلف آبیاری در کلیه صفات مورد بررسی به جز صفات عمق دانه، درصد دانه و درصد چوب بلال اختلاف آماری معنی دار وجود دارد (جدول 3). نتایج مقایسه میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد نشان داد که بیشترین مقدار صفات اندازه گیری شده در شرایط آبیاری نرمال بدست می‌آید (جدول 4).

تیمار تنش ملایم نسبت به شرایط آبیاری نرمال عملکرد دانه، وزن خشک کل گیاه، تعداد کل دانه در بلال، وزن خشک کل بلال، طول بلال، میزان کلروفیل برگ بلال و درصد کلنیزاسیون ریشه را بترتیب به میزان 18/82، 19/24، 23/75، 19/40، 17/55، 19/48 و 18/46 درصد کاهش داد (جدول 4). تنش خشکی روی خصوصیات

¹ -SPAD-502, Minolta, Japan

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در بررسی اثرات قارچ میکوریز آریسکولار و باکتری سودوموناس فلوروسنس بر ویژگی‌های بلال، میزان کلروفیل و عملکرد ذرت در شرایط تنش رطوبتی

میانگین مربعات							df	منابع تغییرات *
طول بلال	وزن خشک پوشش بلال	وزن خشک چوب بلال	وزن خشک کل بلال	تعداد کل دانه در بلال	عملکرد دانه	وزن خشک کل گیاه		
5/8ns	0/2ns	5/8ns	214/4ns	15112/2*	0/5ns	212/5ns	2	بلوک
201/7*	104/7**	409/2**	17063/1**	223974/5**	48/7**	36508/3**	1	I
47/2**	50/0**	57/6**	5279/8**	70177/9**	14/5**	10297/6**	3	MB
4/9 ns	12/4*	8/1*	287/8ns	3312/1ns	1/9*	361/6ns	3	MB × I
25/5**	10/9*	48/0**	6751/6**	52730/7**	22/3**	11875/5**	2	P
0/5ns	1/4ns	11/4*	734/3**	9944/7**	1/8*	875/6**	2	I × P
1/6ns	3/0ns	9/1*	89/5ns	2012/4ns	0/4ns	139/0ns	6	MB × P
0/9ns	2/8ns	6/7*	234/6ns	1/0ns	0/7ns	278/8ns	6	MB × I × P
1/3	3/3	2/8	134/1	1621	0/5	152/4	32	خطا
6/6	18/8	9/4	8/1	9/7	9/4	5/8	-	ضریب تغییرات %

ادامه جدول 3.

میانگین مربعات								df	منابع تغییرات *
کلنیزاسیون ریشه	میزان کلروفیل برگ بلال	درصد چوب	درصد دانه	عمق دانه	قطر چوب بلال	قطر بلال	طول کچلی		
16/7ns	174/7*	5/7ns	10/0ns	0/001ns	0/2 ns	0/2ns	0/05ns	2	بلوک
1060*	1296/6**	6/8ns	16/7ns	0/05ns	2/0*	3/5*	12/9**	1	I
3343/4**	421/6**	1/8ns	2/2ns	0/001ns	0/7**	0/7**	1/2**	3	MB
62/7*	23/8ns	11/9**	36/7**	0/005ns	0/1*	0/05*	0/2*	3	MB × I
274/3**	72/4**	5/9 ns	16/1ns	0/01ns	0/8**	1/1**	1/9**	2	P
6/7ns	8/2ns	0/8ns	1/0ns	0/005ns	0/1ns	0/2*	0/4*	2	I × P
19/2ns	14/9*	5/8ns	8/3ns	0/01ns	0/1**	0/1*	0/6**	6	MB × P
7/6ns	19/3**	4/7ns	5/6ns	0/03ns	0/05ns	0/1ns	0/5**	6	MB × I × P
11/8	4/9	2/8	5/3	0/01	0/03	0/05	0/1	32	خطا
9/1	5/7	13/5	2/8	21/3	7/3	6/2	21/3	-	ضریب تغییرات %

* توصیف تیمارها در جدول 2، **، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 1% و 5% و غیرمعنی‌دار.

عملکرد دانه، وزن خشک کل گیاه، وزن خشک بلال، طول کچلی بلال و درصد کلنیزاسیون ریشه معنی دار بود (جدول 4).

فسفر از عوامل مهم در دانه بندی و شکل‌گیری دانه در ذرت است بنابراین به نظر می‌رسد باکتری *Pseudomonas fluorescence* با انحلال فسفات‌های نامحلول خاک، امکان دریافت فسفر را برای گیاه بیشتر کرده و باعث افزایش تعداد کل دانه در بلال می‌شود (حمیدی 1385). قارچ میکوریز آربسکولار نیز به دلیل افزایش سطح ریشه‌ها از طریق نفوذ میسلیوم قارچ در خاک و در نتیجه دسترسی گیاه به حجم بیشتری از خاک سبب جذب بیشتر آب و مواد غذایی شده (اسمیت و همکاران 2003)، که این امر موجب فتوسنتز بیشتر، بهبود رشد گیاه و در نتیجه باعث افزایش زیتوده گیاه و عملکرد دانه ذرت می‌گردد. زارعی و همکاران (2006) در آزمایشی که بر روی واکنش گیاه عدس به مایه زنی با سویه‌های باکتری *سودموناس فلورسنس* و قارچ میکوریزی گیاه و در نتیجه باعث افزایش زیتوده گیاه و عملکرد دانه ذرت می‌گردد. زارعی و همکاران (2006) در آزمایشی که بر روی واکنش گیاه عدس به مایه زنی با سویه‌های باکتری *سودموناس فلورسنس* و قارچ میکوریزی آربسکولار انجام دادند، مشاهده کردند که یک رابطه همکاری مثبت بین قارچ‌های میکوریزی و بعضی از سویه‌های باکتری برقرار است که عملکرد گیاه عدس را افزایش می‌دهد. ثمربخش (1385) اظهار داشت که طول بلال، وزن بلال، وزن چوب بلال و قطر بلال گیاهان کلنیزه شده با قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به گیاهان کلنیزه نشده با قارچ میکوریز آربسکولار بیشتر است. بهزاد (1387) گزارش کرد که استفاده از باکتری‌های تحریک کننده رشد گیاه بر روی صفات عملکرد دانه، تعداد کل دانه در بلال، عملکرد بلال، عملکرد بلال تک بوته، میزان کلروفیل برگ پرچم تاثیر

نتایج این آزمایش در رابطه با کاهش عملکرد گیاه ذرت در اثر تنش خشکی با نتایج بدست آمده توسط زیونگ و همکاران (2002) و مجیدیان و همکاران (1387) نیز مطابقت داشت.

تنش رطوبتی در این بررسی باعث کاهش میزان کلروفیل برگ بلال در مرحله پر شدن دانه شد. کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی توسط خزاعی و همکاران (1384) در گیاه ارزن و توسط غلام حسینی و همکاران (1387) در گیاه آفتابگردان نیز گزارش شده است. میسرا و اسریکاستاواتا (2000) نشان دادند که تنش کم آبی باعث تخریب کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌شود. صالحی و همکاران (1382) اظهار داشتند که آنزیم‌های کلروفیل‌لاز و پراکسیداز از عوامل موثر در کاهش کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی هستند. ارل و دیویس (2003) نیز بیان داشتند که میزان کلروفیل در طول دوره تنش خشکی کاهش و پس از آبیاری مجدد افزایش می‌یابد.

اثر قارچ میکوریز آربسکولار-باکتری *سودموناس فلورسنس* تنها روی صفات عمق دانه، درصد دانه و درصد چوب معنی دار نبود، در حالی که بر روی بقیه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول 3). بیشترین مقادیر صفات نیز از تیمار کاربرد توام قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودموناس فلورسنس* بدست آمد (جدول 4). این نتایج حاکی از یک رابطه هم افزایی مثبت بین قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری حل کننده فسفات‌های نامحلول بود که کاربرد توام آنها باعث افزایش صفات مورد بررسی شد. همچنین در کاربرد مجزای این دو ریزموجود مشاهده شد که قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به باکتری *سودموناس فلورسنس* از توانایی بیشتری در افزایش عملکرد و خصوصیات اندازه گیری شده برخوردار بوده است و اختلاف این دو تیمار در صفات مهم یعنی

جدول 4- مقایسه میانگین اثرات اصلی صفات اندازه گیری شده در بررسی اثرات اصلی قارچ میکوریز آریسکولار و باکتری سودوموناس فلوروسنس بر ویژگی های بلال، میزان کلروفیل و عملکرد ذرت در شرایط تنش رطوبتی

تیمار*	وزن خشک کل گیاه (g/plant)	عملکرد دانه (t/ha)	تعداد کل دانه در بلال	وزن خشک کل بلال (g/plant)	وزن خشک چوب بلال (g/plant)	وزن خشک پوشش بلال (g/plant)	طول بلال (cm)	طول کچلی (cm)
I	234/4a	8/5a	469/4a	158/7a	20/1a	10/8a	18/8a	0/9a
I ₁	189/3b	6/9b	357/9b	127/9b	15/3b	8/4b	15/5b	1/8b
I ₂	182/6d	6/7d	334/3c	122/4d	15/5d	7/7c	15/4c	1/7c
MB	204/2c	7/3c	405/7b	137/8c	17/2c	9/1b	16/6bc	1/4b
M ₀ B ₀	222/3b	8/0b	429/9b	150/8b	18/5b	9/9b	17/4b	1/2a
M ₀ B ₁	238/2a	8/8a	484/9a	162/2a	19/75a	11/7a	19/3a	1/1a
M ₁ B ₀	191/1c	6/8c	372/4c	127/7c	16/5c	9/1b	16/3b	1/6a
M ₁ B ₁	235/3a	8/7a	464/6a	161/0a	19/5a	10/4a	18/3a	1/0b
P	209/2b	7/6b	404/0b	141/2b	17/5b	9/5ab	16/9b	1/4a
P ₀								
P ₁								
P ₂								

ادامه جدول 4.

تیمار	قطر بلال (cm)	قطر چوب بلال (cm)	عمق دانه (cm)	درصد دانه	درصد چوب	میزان کلروفیل برگ بلال	کلنیزاسیون ریشه (%)
I	3/9a	2/8a	0/54a	81/2a	12/8a	43/1a	41/7a
I ₁	3/4b	2/5b	0/50a	80/3a	12/2a	34/7b	34/0b
I ₂	3/4d	2/4d	0/52a	80/7a	12/9a	32/5c	19/4d
MB	3/6c	2/5c	0/51a	80/9a	12/5a	39/0b	36/3c
M ₀ B ₀	3/7b	2/7b	0/52a	81/2a	12/2a	40/0b	45/7b
M ₀ B ₁	3/9a	2/9a	0/53a	80/4a	12/3a	44/2a	50/1a
M ₁ B ₀	3/5b	2/5b	0/50a	79/8b	13/0a	37/4b	41/5a
M ₁ B ₁	3/9a	2/8a	0/53a	81/6a	12/0a	40/8a	34/9c
P	3/6b	2/6b	0/52a	80/8ab	12/5a	38/5b	37/2b
P ₀							
P ₁							
P ₂							

* توصیف تیمارها در جدول 2.

اندازه گیری نمودند و به این نتیجه رسیدند که هرچه مقدار کلروفیل بیشتری از برگ در طول زمان کاهش یابد نشان دهنده پیری بیشتر برگ است. و این که عملکرد دانه ذرت با پیری زودرس برگ در مرحله پر شدن دانه رابطه مستقیم دارد (بازنیگر و همکاران 2000 و داسیلوا و همکاران 2005). از این رو می‌توان بیان داشت که بهبود میزان کلروفیل برگ بلال در این بررسی در تیمار مایه زنی با ریز موجودات حل کننده فسفات نسبت به تیمار عدم مایه زنی با ریز موجودات حل کننده فسفات با تاخیر در پیری برگ بلال و افزایش فتوسنتز، مواد فتوسنتزی لازم برای پر شدن دانه و افزایش عملکرد دانه ذرت را فراهم کرده است. تانگ و همکاران (2009) در بررسی خود روی گیاه ذرت مشاهده کردند که مایه‌زنی ذرت با قارچ میکوریز آربسکولار سنتز کلروفیل در گیاه را بهبود بخشید و فتوسنتز گیاه را نیز افزایش داد، که با نتایج بدست آمده از این بررسی در رابطه با افزایش کلروفیل برگ بلال نیز مطابقت داشت.

اثر متقابل قارچ میکوریز آربسکولار-باکتری سودمونس فلورسنس و آبیاری روی صفات درصد دانه و درصد چوب در سطح احتمال یک درصد و در صفات عملکرد دانه، وزن خشک چوب بلال، وزن خشک پوشش بلال، طول کچلی بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال و درصد کلنیزاسیون ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول 3). بیشترین مقادیر صفات مورد بررسی در شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم خشکی در اکثر صفات از جمله عملکرد دانه و درصد کلنیزاسیون ریشه با استفاده از کاربرد توام قارچ و باکتری بدست آمد؛ البته بیشترین میزان درصد دانه و کمترین میزان درصد چوب نیز مربوط به تیمار تنش ملایم و کاربرد قارچ میکوریز بود (جدول 5). در کاربرد مجزای این دو ریز موجود حل کننده فسفات‌های نامحلول نیز، قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به باکتری سودمونس فلورسنس در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم تاثیر بیشتری در افزایش اکثر صفات مورد بررسی داشت. همچنین تیمار تنش خشکی و استفاده از ریز موجودات حل کننده فسفات توانست وزن خشک کل گیاه، عملکرد دانه، تعداد کل دانه در بلال، وزن خشک

معنی‌داری داشته است، همچنین وی اظهار داشت که افزوده شدن باکتری *Pseudomonas fluorescence* به دیگر باکتری‌ها موجب افزایش اثرات مثبت آنها در صفات مورد بررسی ذرت شده است.

چنگ و لر (2008) پیشنهاد دادند که احتمالاً اتیلن و ACC می‌توانند در ایجاد پوکی در ذرت نقش داشته باشند، از آنجا که دانه‌ها در مراحل اولیه رشد به اتیلن حساس می‌باشند و ACC پیش ماده تولید اتیلن در مسیر سنتز اتیلن می‌باشد، از این رو می‌توان چنین استنباط کرد که باکتری‌های تحریک کننده رشد گیاه از طریق تولید آنزیم ACC-دآمیناز، موجب تجزیه ACC و در نتیجه کاهش غلظت اتیلن در گیاه شده و اثرات منفی ناشی از افزایش اتیلن در گیاه را کاهش داده و باعث کاهش درصد کچلی بلال می‌شوند.

در این بررسی بیشترین درصد کلنیزاسیون ریشه از کاربرد توام قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری سودمونس فلورسنس حاصل شد، و پس از آن به ترتیب در کاربرد جداگانه قارچ میکوریز آربسکولار و کاربرد جداگانه باکتری سودمونس فلورسنس نسبت به تیمار شاهد درصد کلنیزاسیون ریشه بیشتر بود (جدول 4). احتشامی و همکاران (1388) مشاهده کردند که استفاده از زادمایه میکوریزی سبب افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه می‌شود اما استفاده از زاد مایه باکتری حل کننده فسفات باعث کاهش معنی دار درصد کلنیزاسیون ریشه نسبت به تیمار شاهد شده است، همچنین آنها مشاهده کردند که برهمکنش قارچ و باکتری باعث افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه شده است. به نظر می‌رسد دلیل افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه در تیمار کاربرد توام قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری سودمونس فلورسنس، اثر هم افزایی این دو ریز موجود حل کننده فسفات روی یکدیگر می‌باشد.

برخی از محققان اظهار داشتند که می‌توان میزان کلروفیل را به عنوان شاخصی برای اندازه گیری میزان دوام سبزینه برگ (تاخیر پیری برگ) مورد استفاده قرار داد (بتران و همکاران 2003، کامپوس و همکاران 2004 و آروس و همکاران 2008). ایوانز و همکاران (2003) برای بررسی شدت پیری برگ، میزان کلروفیل برگ را

وزن خشک کل گیاه، عملکرد دانه، تعداد کل دانه در بلال، وزن خشک کل بلال و میزان کلروفیل، را بترتیب به میزان 11/09، 12/64، 13/04، 12/29، 5/63 و درصد کاهش داد.

از آنجایی که فسفر عامل مهمی در گرده افشانی ذرت می‌باشد با کمبود آن گرده افشانی گیاه به تعویق افتاده و به طور ناقص انجام می‌شود و در نتیجه باعث پوکی و عدم تشکیل دانه در بلال می‌گردد (خدابنده 1377). همچنین از آنجایی که فسفر نقش مهمی در فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان مانند فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته و انتقال خصوصیات ژنتیکی ایفا می‌کند (مهرورز و چایچی 2008)، افزایش جذب فسفر و انتقال آن به سلول‌های گیاه، سبب بهبود رشد و افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی گشته و در نتیجه در مرحله پر شدن دانه شیره پرورده کافی به بلال انتقال یافته و باعث کاهش طول کچلی بلال و افزایش تعداد دانه در بلال می‌گردد.

اثر متقابل کود شیمیایی فسفره و آبیاری تنها در صفات عملکرد دانه، تعداد کل دانه در بلال، وزن خشک چوب، قطر بلال، طول کچلی بلال، وزن خشک کل گیاه و وزن خشک بلال معنی دار بود (جدول 3). مقایسه میانگین 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 می‌باشد (جدول 5). همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم بیشترین مقدار اکثر صفات اندازه‌گیری شده از جمله عملکرد، وزن خشک کل گیاه، و وزن خشک بلال، میزان کلروفیل برگ بلال با استفاده از کاربرد کود سوپر فسفات تریپل بدست می‌آید و اختلاف آن با تیمار سنگ فسفات در صفات مذکور نیز معنی‌دار بود.

بلال، طول بلال، میزان کلروفیل و درصد کلنیزاسیون ریشه را نسبت به تیمار آبیاری نرمال و عدم استفاده از ریزموجودات حل کننده فسفات به ترتیب به میزان 2/43، 1/29، 10/12، 2/73، 8/43، 11/71 و 124/27 درصد افزایش دهد، البته این افزایش تنها برای صفت درصد کلنیزاسیون ریشه معنی دار بود (جدول 5).

پیکون (2003) و لیو و همکاران (2007) اظهار داشتند که اثرات مثبت قارچ میکوریز آربسکولار روی رشد و نمو گیاه میزبان در شرایط کمبود رطوبت قابل توجه می‌باشد. در بررسی‌هایی که توسط سوبرامانیان و همکاران (1995) و آمریان و همکاران (2001) صورت گرفت مشاهده شد که کلنیزاسیون میکوریز آربسکولار روی روابط آب گیاه، فتوسنتز و رشد گیاه ذرت در مرحله پس از گلدهی در شرایط تنش رطوبتی تاثیر می‌گذارد، و با تاخیر در پیری برگ و همچنین افزایش دسترسی به مواد غذایی و انتقال مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن در طی دوره تشکیل بلال و نمو دانه (راجکان و تولنار 1999) باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. ابدالی (1382) اظهار داشت که کاربرد قارچ میکوریزی نسبت به عدم کاربرد آن در شرایط تنش رطوبتی سبب افزایش، طول بلال، تعداد کل دانه در بلال و عملکرد دانه ذرت می‌شود. سانچز-دیاز و هانروپیا (1994) و سوبرامانیان و همکاران (1997) دریافتند که تنش خشکی اسیمیلایسیون قند را به میزان 32-35 درصد در ساقه‌های گیاهان میکوریزی نشده و تا 50-66 درصد در ساقه‌های گیاهان میکوریزی شده در ارقام حساس و مقاوم به تنش خشکی افزایش می‌دهد. افزایش تولید قند نه تنها باعث افزایش بالقوه سطح برگ می‌شود بلکه باعث کاهش فتواکسیداسیون کلروفیل نیز می‌گردد.

اثر کود شیمیایی فسفره تنها روی صفات عمق دانه، درصد دانه و درصد چوب معنی دار نبود (جدول 3). کود سوپر فسفات تریپل نسبت به سنگ فسفات و تیمار شاهد، باعث افزایش معنی دار کلیه صفات بجز وزن خشک پوشش بلال، عمق دانه، درصد دانه و درصد چوب و کاهش معنی‌دار طول کچلی بلال شد (جدول 4). همچنین نتایج جدول 4 نشان داد که تیمار کودی سنگ فسفات نسبت به تیمار کودی سوپر فسفات تریپل صفات

جدول 5- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات اندازه گیری شده در بررسی اثرات قارچ میکوریز آریسکلار و باکتری سودوموناس فلوروسنس بر ویژگی‌های بال، میزان کلروفیل و عملکرد ذرت در شرایط تنش رطوبتی

کلیت‌اسید رشد (g)	میزان کلروفیل برگ بال	درصد چوب	درصد دانه	عمق دانه (cm)	قطر بال (cm)	طول کجی بال (cm)	طول بال (cm)	وزن خشک پوش بال (g/plant)	وزن خشک چوب بال (g/plant)	وزن خشک بال (g/plant)	وزن خشک کل بال (g/plant)	تعداد کل دانه در بال	عملکرد دانه (t/ha)	وزن خشک کل کمره (g/plant)	نمابر [*]
2.8 e	36.7 d	13.0 ab	8.3 bc	0.85 a	3.7 cd	1.3 c	16.6 cd	9.1 b	17.8 b	13.0 cd	37.7 cd	377.7 cd	0.77 b	1.05 f c	M ₀ B ₀ z1
3.1 a c	42.4 bc	12.8 ab	8.1 bc	0.82 a	3.8 bc	0.9 d	16.8 abc	11.0 a	19.4 b	10.2 bc	37.0 bc	370.9 b	0.81 b	1.17 a b	M ₀ B ₁ z1
5.0 f ab	50.8 ab	13.7 a	9.1 c	0.84 a	3.9 ab	0.8 e	19.0 ab	11.8 a	21.8 a	11.8 a	47.0 ab	470.3 b	0.84 b	1.39 a b	M ₁ B ₀ z1
5.4 a	47.8 a	11.9 bc	8.1 ab	0.87 a	4.1 a	0.8 de	20.0 a	11.7 a	21.0 a	11.0 a	50.4 a	504.4 a	0.9 a	1.66 a	M ₁ B ₁ z1
1.8 f e	28.3 e	12.8 ab	8.1 abc	0.88 a	3.2 e	2.1 a	14.2 d	9.4 c	13.2 d	10.9 f	19.1 f e	191.4 e	0.7 e	1.09 a e	M ₀ B ₀ z2
3.8 d	30.5 d	12.4 ab	8.1 abc	0.80 a	3.3 e	1.8 b	14.0 d	7.4 bc	10.0 c	12.2 e	24.0 d	240.4 d	0.8 d	1.81 d	M ₀ B ₁ z2
4.1 c	34.1 d	10.7 c	8.2 a	0.81 a	3.0 d	1.7 b	10.2 d	8.3 b	10.1 c	14.0 d	24.0 cd	240.0 cd	0.7 c	1.05 d c	M ₁ B ₀ z2
3.6 f b	31.0 c	12.7 ab	9.1 c	0.88 a	3.8 bc	1.4 c	18.8 c	10.7 a	18.0 b	14.2 cd	41.0 cd	410.4 bc	0.7 abc	1.10 f c	M ₁ B ₁ z2
Pz1															
3.9 a	41.0 c	13.1 a	9.3 b	0.82 ab	3.02 f	1.1 f	16.7 a	10.4 b	18.1 c	13.9 c	41.0 c	410.2 c	0.7 d c	1.09 f c	P ₀ z1
3.8 f Bc	40.4 a	12.2 a	8.1 ab	0.88 a	3.1 f	1.0 d	16.1 a	11.8 a	22.3 a	11.7 a	52.9 a	529.9 a	0.9 a	1.64 a a	P ₁ z1
4.0 f b	33.0 b	13.0 a	8.1 ab	0.84 ab	3.2 a	1.1 f	18.0 b	10.4 b	19.9 b	10.4 b	49.2 b a	492.0 b a	0.8 b	1.28 d b	P ₂ z1
3.7 a c	33.8 e	12.8 a	8.0 ab	0.88 a b	3.3 a	1.1 a	14.4 a	7.8 c	14.7 e	11.9 a e	31.9 e	319.0 e	0.7 e	1.12 f e	P ₀ z2
3.1 f d	36.2 d	11.8 a	8.1 a	0.89 ab	3.02 f	1.0 d	16.9 b	9.0 c	16.2 d	13.9 c	38.0 f d	380.4 d	0.7 c	1.05 a c	P ₁ z2
3.3 f d	34.0 e	12.0 a	8.1 ab	0.80 ab	3.02 f	1.1 f	10.5 c	8.8 c	10.1 de	14.0 dc	30.8 de	308.8 de	0.8 d	1.89 a d	P ₂ z2

* توصیف تیمارها در جدول 2.

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال 5/100 می‌باشد.

□

منابع فسفر محلول و قابل دسترس به سهولت در اختیار گیاه میزبان قرار گیرد کاهش می یابد، یعنی اثرات مثبت قارچ میکوریز آربسکولار روی رشد و نمو گیاه میزبان در شرایط پایین بودن حاصلخیزی خاک قابل توجه است. در مجموع تحت شرایط غلظت های پایین عناصر غذایی در خاک، بهبود در تغذیه معدنی گیاهان زراعی توسط همزیستی میکوریز آربسکولار را می توان به عواملی نظیر: 1- جذب عناصر غذایی قابل دسترس از طریق همزیستی میکوریزی 2- اختلاف جذب فسفر در هیف و ریشه از طریق میل بالا به این عنصر (ثابت میکائلیس کوچکتر) 3- تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در ریشه های کلنیزه شده توسط قارچ میکوریز آربسکولار 4- ایجاد تغییرات در شرایط ادافیک خاک (مانند اسیدیته و سایر متغیرهای خاک) جهت ایجاد شرایط مطلوب برای کلنیزاسیون قارچ میکوریز آربسکولار، حلالیت و تحرک عناصر غذایی 5- تاثیر روی جوامع میکروبی خاک (مانند فعالیت های باکتری های کمی میکوریز آربسکولار) 6- چرخه عناصر غذایی نسبت داد (جیاسون و همکاران 2008). توحیدی مقدم و همکاران (1386) اظهار داشتند که مایه زنی بذور ذرت با باکتری های حل کننده فسفات می تواند مصرف کودهای شیمیایی فسفره را به میزان 50 درصد کاهش دهد، ساندارا (2002) نیز میزان کاهش کودهای شیمیایی فسفره در مایه زنی با باکتری های حل کننده فسفات را بین 50-75 درصد گزارش کرد.

نتیجه گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد ریزموجودات حل کننده فسفات های نامحلول در تلفیق با کودهای شیمیایی فسفره مبتنی بر یک نظام زراعی کم نهاده می تواند با کاهش مصرف کودهای شیمیایی اثرات منفی ناشی از مصرف این کودها را در بوم نظام های زراعی کاهش دهد، علاوه بر آن این ریزموجودات با استفاده از مکانیسم های پیچیده می توانند اثرات تنش های زیست محیطی از جمله تنش رطوبتی را به حداقل برسانند، همچنین اثر هم افزایی که بین قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *Pseudomonas fluorescens*

ابدالی (1382) اظهار کرد در سطوح مختلف آبیاری، کاربرد فسفر نسبت به عدم کاربرد آن عملکرد دانه بیشتری را تولید می نماید وی عنوان کرد که با توجه به محدودیت انتشار فسفر در خاک با افزایش شدت تنش خشکی، کاربرد فسفر به دلیل افزایش فسفر قابل دسترس خاک سبب بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه شده و با افزایش تولید مواد فتوسنتزی، میزان مواد ذخیره ای بیشتر شده و افزایش این مواد در مرحله زایشی باعث افزایش تعداد دانه و وزن هزار دانه و عملکرد دانه ذرت می شود.

همچنین اثر متقابل کود شیمیایی فسفره و قارچ میکوریز آربسکولار-باکتری سودوموناس فلوروسنس تنها برای صفات وزن خشک چوب، طول کچلی بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال و میزان کلروفیل برگ بلال معنی دار بود (جدول 3). نتایج مقایسه میانگین این صفات نشان داد که بیشترین مقادیر قطر چوب بلال و میزان کلروفیل برگ بلال مربوط به تیمار کود سوپر فسفات تریپل و کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری سودوموناس فلوروسنس و بیشترین مقدار وزن چوب بلال و قطر بلال مربوط به تیمار کود سوپر فسفات تریپل و کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار و همچنین کمترین طول کچلی بلال نیز مربوط به تیمار سوپر فسفات تریپل و کاربرد باکتری سودوموناس فلوروسنس و عدم کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار بود (جدول 6). نتایج این آزمایش نشان داد در شرایطی که نیمی از کود شیمیایی فسفره مورد نیاز گیاه ذرت براساس نتایج آزمون خاک توسط منابع کودی سوپر فسفات تریپل و سنگ فسفات تامین شود، استفاده از قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *Pseudomonas fluorescens* به عنوان کودهای زیستی مکمل، همراه با کود سوپر فسفات تریپل (با حلالیت بالاتر) مزیت نسبی بیشتری نسبت به سنگ فسفات (با حلالیت پایین تر) در افزایش اکثر صفات مورد بررسی در این آزمایش خواهد داشت.

جفیرز (1987) اظهار نمود که در اکثر موارد، افزایش جذب و بهبود تغذیه فسفر اولین علامت افزایش رشد و عملکرد در گیاهان میکوریزی است بنابراین افزایش رشد و نمو در رابطه با همزیستی میکوریزی، زمانی که

میکوریز آربسکولار) می تواند با افزایش فسفر قابل دسترس در خاک به کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفره در راستای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار کمک بسزایی نماید.

تشکر و قدر دانی

بدین وسیله از زحمات جناب آقای مهندس دشتکی مدیر محترم مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و بویژه سرکار خانم مهندس محمدی کارشناس محترم آزمایشگاه بیولوژی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را به عمل می آوریم.

در این آزمایش مشاهده شد توانست اکثر صفات از جمله عملکرد دانه، زیتوده کل گیاه، وزن خشک بلال، طول بلال، میزان کلروفیل برگ بلال، درصد کلنیزاسیون ریشه ذرت را بیش از سایر تیمارها افزایش دهد؛ باکتری *Pseudomonas fluorescence* در این آزمایش در سطحی پایین تر از قارچ میکوریز آربسکولار توانست جذب فسفر و اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را بهبود ببخشد، در حقیقت استفاده از قارچهای میکوریز آربسکولار که با دارا بودن هیفها و میسلیمهای درون و برون ریشه ای منطقه تخلیه ریشه را برای جذب آب و مواد غذایی گسترش می دهند به همراه استفاده از باکتری های حل کننده فسفات نظیر باکتری سودوموناس فلوروسنس (باکتری های کمکی

منابع مورد استفاده

- ابدالی ر، 1382. بررسی تاثیر کاربرد میکوریز و مقادیر فسفر در سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی خصوصیات مرفولوژیکی ذرت پاپ کورن. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.
- احتشامی م، آقاعلیخانی م، چائی چی م و خاوازی ک، 1387. تاثیر کودهای زیستی فسفات بر خواص کمی و کیفی ذرت دانه ای سینگل کراس 704 در شرایط تنش کم آبی. مجله علوم گیاهان زراعی، جلد 40، شماره 1. صفحات 15-26.
- اردکانی م ر، 1378. قارچهای میکوریز و اهمیت همزیستی آنها با گیاهان. فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک سال اول، شماره 3 و 4. صفحات 229 تا 239.
- بهباد ا، 1387. بررسی تاثیر کاربرد باکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت هیبرید دبل کراس (DC 370). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.
- توحیدی مقدم 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 4 شماره 4. صفحات 413 تا 420.
- ثمر بخش س، 1385. تاثیر سموم قارچ کش بر کارایی همزیستی سویه های مختلف قارچ میکوریز آربسکولار با گیاه ذرت پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.
- حمیدی ا، 1385. جنبه های اگرواکولوژیک کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد دانه و علوفه سیلویی دو رگ های دیر رس ذرت. رساله دکتری دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

حمیدی ا، اصغرزاده ا، چوگان ر، دهقان شعار م، قلاوند ا و ملکوتی م ج، 1386. بررسی کاربردهای کودهای ریزوباکتریایی افزایش دهنده رشد گیاه (PGPR) در زراعت ذرت با نهاده کافی. مجله علوم محیطی سال چهارم، شماره 4. صفحات 20 تا 1

خداپنده ن، 1377. غلات. انتشارات دانشگاه تهران.

خرزاعی ح، محمد آبادی ع ا و برزوئی ا، 1384. بررسی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک انواع ارزن در رژیم های مختلف آبیاری. مجله پژوهشهای زراعی ایران، جلد 3، شماره 1. صفحه های 35 تا 44.

راثی پور ل، و علی اصغرزاد ن، 1386. اثرات متقابل باکتری های سودموناس فلورسنس و (*Bradyrhizobium japonicum*) بر شاخص های رشد، غده بندی و جذب برخی عناصر غذایی در سویا. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال یازدهم، شماره 4 الف. صفحه های 53 تا 63.

درزی م، قلاوند ا و رجالی ف، 1387. بررسی اثر کاربرد میکوریزا، ورمی کمپوست و کود فسفات زیستی بر گلهی، عملکرد بیولوژیک و همزیستی ریشه در گیاه دارویی رازیانه. مجله علوم زراعی ایران، جلد 10 شماره 1. صفحه های 88 تا 109.

صالحی م، کوچکی ع و نصیری محلاتی م، 1382. میزان نیتروژن و کلروفیل برگ به عنوان شاخصی از تنش خشکی در گندم. مجله پژوهشهای زراعی ایران، جلد اول شماره 2. صفحه های 199 تا 205.

غلام حسینی م، قلاوند ا و جمشیدی ا، 1387. تاثیر رژیم های آبیاری و تیمارهای کودی بر عملکرد دانه و غلظت عناصر در برگ و دانه آفتابگردان. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره 79. صفحه های 91 تا 100.

مجیدیان م، قلاوند ا، کریمیان ن و کامکار حقیقی ع ا، 1387. تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن، کود دامی و آب آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، جلد اول، شماره دوم. صفحه های 67 تا 85.

مسجدی ع، شکوه فر ع و علوی فاضل م، 1387. تعیین مناسبترین دور آبیاری ذرت تابستانه (هیبرید SC.704) و بررسی اثر تنش خشکی بر محصول با استفاده از اطلاعات تشت تبخیر کلاس A. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره 46، صفحه های 543 تا 550.

Akhtar MS and Siddiqui ZA, 2009. Effects of phosphate solubilizing microorganisms and *Rhizobium sp.* on the growth, nodulation, yield and root-rot disease complex of chickpea under field condition. African J Biotechnol 8 (15): 3489-3496.

Amerian MR, Stewart WS and Griffiths H, 2001. Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays* L.). Asp Applied Bio 63:73-76.

Amiri MJ and Eslamian SS, 2010. Investigation of climate change in Iran. J Environ Sci Technol 4: 208-216.

Araus JL, Slafer AG, Royo C and Serret MD, 2008. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. Crit Rev Plant Sci 27: 377-412.

Attia M, 1999. The efficiency improvements of mineral fertilizers used and maize yield by arbuscular mycorrhizal fungi and plant-promoting rhizobacteria. Annals Agri Sci 5:41-44.

- Auge´ RM, 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhizae* 11: 3-42.
- Azcon R, Gomez M and Tobar R, 1996. Physiological and nutritional responses by *Lactuca sativa* L. to nitrogen sources and mycorrhizal fungi under drought conditions. *Biol Fert Soils* 22: 156-161.
- Banziger M, Edmeades GO, Beck D and Bellon M, 2000. Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize, from theory to practice. CIMMYT, Mexico DF.
- Betran FJ, Beck D, Banziger M, Edmeades GO, 2003. Secondary traits in parental inbreds and hybrids under stress and non-stress environments in tropical maize. *Field Crops Res* 83: 51-65.
- Boomsma CR and Vyn TJ, 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Res* 108: 14-31.
- Campos H, Cooper M, Habben JE, Edmeades GO and Schussler JR, 2004. Improving drought tolerance in maize. *Field Crops Res* 90: 19-34.
- Cheng CY and Lur HS, 2008. Ethylene may be involved in abortion of the maize caryopsis. *Physiol. Plantarum*. 98(2): 245-252.
- Da-Silva PRF, Luiz Strieder M, Da Silva Coser RP, Rambo L, Sangoi L, Argenta G, Forsthofer EL, Da Silva AA, 2005. Grain yield and kernel crude protein content increases of maize hybrids with late nitrogen side-dressing. *Sci Agric (Piracicaba, Braz.)* 62(5): 487-492.
- Earl HJ and Davis RF, 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron J* 95: 688-696.
- Evans EJ, Gemmill JM, Werner P, and Williams E, 2003. Physiological factors contributing to yield enhancement in winter apetalous oilseed rape (*Brassica napus* L.). In proceeding of the 11th International rapeseed Congress, Copenhagen, Denmark.
- Giasson P, Karam A, and Jaouich A, 2008. Arbuscular mycorrhizae and alleviation of soil stresses on plant growth. Pp. 99-134. In Siddiqui ZA, Akhtar MS and Futai K (Eds) *Mycorrhizae: sustainable agriculture and forestry*. Springer Science + Business Media B.V.
- Han HS, and Lee KD, 2005. Phosphate and potassium solubilizing bacteria affect on mineral uptake, soil availability and growth of eggplant, *Research J Agri Biol Sci* 1(2):176-180.
- Henri F, Laurette NN, Annette D, John Q, Wolfgang M, François-Xavier E and Dieudonné N, 2008. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated from acidic soils of Cameroon. *African J Microb Res* 2: 171-178.
- Jeffries P, 1987. Use of mycorrhizae in agriculture. *Crit Rev Biotechnol* 5: 319-357.
- Kormanik PP and McGraw AC, 1982. Quantification of Vesicular-arbuscular Mycorrhizae in Plant Roots. Pp. 37-45. In: Paul St (Ed.). *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. NC Sheed, American Phytopathological Society.
- 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.

- Liu A, Plenchette C and Hamel C, 2007. Soil nutrient and water providers: how arbuscular mycorrhizal mycelia support plant performance in a resource limited world. Pp. 37–66. In: Hamel C and Plenchette C, (Eds.) Mycorrhizae in Crop Production. Haworth Food & Agricultural Products Press, Binghamton, NY.
- Mehrvarz S and Chaichi MR, 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barely (*Hordeum vulgare* L.). American-Eurasian J Agric & Environ Sci 3(6): 855-860.
- Misra A, and Sricastatva NK, 2000. Influence of water stress on Japanese mint. J Herbs Spices Med Plants 7: 51-58.
- Picone C, 2003. Managing mycorrhizae for sustainable agriculture in the tropics. Pp. 95-132. In: Vandermeer JH (Ed.). Tropical Agro ecosystems. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Rajcan I and Tollenaar M, 1999. Source: sink ratio and leaf senescence in maize: Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. Field Crops Res 60: 245–253.
- Sanchez-Diaz M and Honrubia M, 1994. Water relations and alleviation of drought stress in mycorrhizal plants. Pp. 167–178. In: Gianinazzi S and Schuepp H (Eds.). Impact of arbuscular mycorrhiza on sustainable agriculture and natural ecosystems. Birkhauser Verlag, Basel, Switzerland.
- Smith SE, Smith FA and Jacobsen I, 2003. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plant irrespective of growth responses. Plant Physiol 133: 16–20.
- Subramanian KS, Charest C, Dwyer LM, and Hamilton RI, 1995. Arbuscular mycorrhiza and water relations in maize under drought stress at tasselling. New Phytol 129: 643–650.
- 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. Can J Bot 75: 1582–1591.
- Sundara B, Natarajan V and Hari K, 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yield. Field Crops Res 77: 43 49.
- Vyas P and Gulati A, 2009. Stress tolerance and genetic variability of phosphate solubilizing *Pseudomonas fluorescent* from the cold deserts of the trans-Himalayas. Microb Ecol 58: 425-434.
- Tang M, Chen H, Huang JC, Tian ZQ, 2009. AM fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays* L. seedlings under diesel stress. Soil Biol Biochemistry 41: 936–940.
- Xiong L, Schumaker KS and Zhu JK, 2002. Cell signaling during cold, drought, and salt stress. Plant Cell 14: 165-183.
- Zarei M, Saleh-Rastin N, Alikhani HA and Aliasgharzadeh N, 2006. Responses of lentil to co-Inoculation with phosphate-solubilizing *Rhizobial* strains and arbuscular mycorrhizal fungi. J Plant Nutr 29: 1509–1522.