تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر شاخص‌های رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای تحت شرایط کم آبیاری در منطقه کرج

غلامعباس اکبری[1]، مهدی قورچیانی [*2]، حسینعلی علیخانی[3]، ایرج اله دادی[4]، مهدی زارعی[5]

تاریخ دریافت : 90/04/28 تاریخ پذیرش: 91/03/07

[1]- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

[2]- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زاعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

[3]- دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران.

[4]- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

[5]- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

*مسئول مکاتبه: Email: mghorchiani@ymail.com

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کود زیستی و شیمیایی فسفر بر روند شاخص‌های رشد، عملکرد زیستی و عملکرد دانه ذرت تحت شرایط کم آبیاری در منطقه کرج، آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری (آبیاری کامل و کم آبیاری) در کرت‌های اصلی، کود زیستی فسفاته (کاربرد توأم باکتری *سودوموناس فلورسنس* و قارچ میکوریز، کاربرد قارچ میکوریز، کاربرد باکتری *سودوموناس فلورسنس* و شاهد) در کرت‌های فرعی و کود شیمیایی فسفر (سوپر فسفات تریپل، سنگ فسفات و شاهد) در کرت‌های فرعی فرعی بودند. نتایج آزمایش نشان داد که حداکثر شاخص سطح برگ معادل 3/9 با 1350 درجه روز رشد و سرعت رشد محصول معادل 3/4 گرم بر مترمربع بر درجه روز رشد پس از 1150 درجه روز از تیمار کاربرد توأم قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* در شرایط آبیاری کامل بدست آمد. در کل، کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* نسبت به شاهد باعث افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و در نهایت عملکرد زیستی و عملکرد دانه ذرت در هر دو شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری گشت. همچنین کاربرد توأم قارچ و باکتری به ترتیب باعث افزایش 5/1 و 11/7 درصدی شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول در شرایط مصرف سوپرفسفات تریپل نسبت به سنگ فسفات گشت. عملکرد دانه و عملکرد زیستی نیز به ترتیب به میزان 15 و 13/6 درصد، در کاربرد توأم قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* همراه با مصرف سوپر فسفات تریپل نسبت به تیمار کاربرد توأم این ریزجانداران همراه با مصرف سنگ فسفات بیشتر بود. در کل نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* باعث کاهش اثرات منفی ناشی از تنش رطوبتی بر صفات مورد بررسی گردید. همچنین کاربرد این ریزجانداران در تلفیق با کودهای شیمیایی فسفر منجر به افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد دانه و کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفر گردید.

واژه‌های کلیدی: ذرت، سنگ فسفات، *سودوموناس فلورسنس*، کم آبیاری، میکوریز

Effect of Biological and Chemical Phosphate Fertilizers on Growth Indices and Grain Yield of Maize under Deficit Irrigation Conditions in Karaj Region

Gh Akbari*[1], M Ghorchiani[2], HA Alikhani[3], I Allahdadi[4], M Zarei[5]

Received:19 July 2011 Accepted:27 May 2012
[1-]Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Abureyhan, Univ. of Tehran, Iran.
[2-] MSc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Abureyhan, Univ. of Tehran, Iran.
[3-]Assoc. Prof., Dept.of Soil Sci. Eng., Campus of Agric. and Natural Resources, Karaj, Univ. of Tehran, Iran.
[4-]Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Abureyhan, Univ. of Tehran, Iran.
[5-]Assist.Prof. Dept. of Soil Sci., College of Agriculture, Univ. of Shiraz , Iran
*Corresponding author: Email: mghorchiani@ymail.com

Abstract

In order to study the effect of biological and chemical phosphate fertilizers on growth trend, physiologic indices and biological and grain yield of maize under deficit irrigation conditions in Karaj region, an experiment was conducted as split-split plot arrangement based on randomized complete blocks design with three replications. The experiment treatments were included: irrigation (full and deficit irrigation), phosphate biological fertilizer (co-application of mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* bacteria, application of *Pseudomonas fluorescens* bacteria, application of mycorrhizal fungi and control) and chemical phosphate fertilizer (optimized consumption of triple superphosphate, consumption of rock phosphate and control). The results showed that the maximum leaf area index was equal to 3.9 with 1350 GDD and maximum crop growth rate was equal to 3.4 g m^{-2} with 1150 GDD obtained with co-application of mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* bacteria treatment under full irrigation condition. Application of mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* bacteria compared to the control treatment increased leaf area index, crop growth rate, relative growth rate and biological and grain yield of maize under both full and deficit irrigation conditions. The co- inoculation of seeds with fungi and bacteria increased 5.13 and 11.76 percent leaf area index and crop growth rate in terms of the optimized consumption of triple superphosphate than rock phosphate, respectively. Grain yield and biological yield at co-application of AM fungi and *Pseudomonas fluorescens* along with optimum consumption of triple superphosphate were also higher by 15% and 13.6%, respectively, than application of microbial inoculants along with consumption of rock phosphate. Overally, results of this experiment showed that application of mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* bacteria reduced negative effects of stress on investigated traits. Application of microorganisms along with balanced consumption of phosphorus chemical fertilizers also increased growth indices and grain yield and reduced consumption of phosphorus chemical fertilizers.

Keywords: Deficit irrigation, Maize, Mycorrhiza, *Pseudomonas fluorescens*, Rock phosphate

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) از لحاظ میزان تولید بعد از گندم، رتبه دوم و مکان سوم را بعد از گندم و برنج، از نظر سطح زیر کشت دارد (فاتح و همکاران 1385). کشور ایران با داشتن تنوع آب و هوایی مناسب، از جمله مناطق مستعد تولید این گیاه است اما با توجه به شرایط اقلیمی آن، کمبود آب یکی از عوامل مهم محدود کننده کشت ذرت می‌باشد. همچنین به دلیل قلیایی بودن بیشتر خاک‌های ایران و در نتیجه واکنش فسفر با کلسیم، این عنصر سریعاً به فرم فسفات‌های نامحلول و غیر قابل دسترس تبدیل می‌شود، و در نتیجه کمبود فسفر یکی دیگر از عوامل مهم محدود کننده کشت ذرت است (زارعی و همکاران 2006).

در همین راستا کم آبیاری می‌تواند یکی از راهکارهای مناسب و مطلوب در صرفه‌جویی آب و تولید محصول در شرایط کمبود آب باشد (کریمی و همکاران 1388). از طرفی روند افزایش مستمر تقاضا و قیمت محصولات، کشاورزان را مجبور به کاربرد روش‌های مدیریتی فشرده کرده است که هدف اساسی آن افزایش تولید محصولات زراعی است (بورگارد و همکاران 2008). این شیوه کشاورزی برای جبران کمبود عناصر در خاک، با مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی علاوه بر هزینه بالا، به دلیل بازدهی کم و بر هم زدن تعادل عناصر غذایی خاک می‌تواند باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی شود (سیدیکویی و پیچتل 2008). امروزه یکی از عوامل مهم در افزایش تولید محصول ذرت، مدیریت بهینه‌ی مصرف کودهای شیمیایی است. در این راستا کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا تقلیل چشمگیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه‌حل مطلوب جهت غلبه بر این مشکلات به شمار می‌آید (راثی پور و علی اصغرزاد 1386، درزی و همکاران 1387). کودهای زیستی به دلیل سازگاری بالا با محیط زیست و کاهش مصرف کودهای شیمیایی نه تنها اثرات سوء این کودها را کاهش می‌دهند، بلکه کاربرد آنها در قبل، طول و بعد از تنش‌های محیطی، می‌تواند اثر تنش را در گیاه تعدیل کند و عملکرد را افزایش دهد (یار محمودی و همکاران 1389).

قارچ‌های میکوریزی و باکتری‌های حل کننده فسفات مناسب‌ترین جایگزین کودهای شیمیایی و سازگارترین کودهای زیستی با محیط زیست در کشاورزی پایدار می‌باشند، که به دلیل اثرات جداگانه و متقابل روی یکدیگر و گیاهان میزبان، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته‌اند (گاربای 1994، فرانکو کوئرا و همکاران 2010). همزیستی میکوریزی با تعدیل شرایط تنش‌های رطوبتی توسط تغییر روابط آب گیاه و افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی، باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌گردند (بومسما و وین 2008). باکتری‌های حل کننده فسفات نظیر باکتری‌هایی از جنس *سودوموناس*، نیز از طریق انحلال منابع فسفات‌های نامحلول آلی و معدنی باعث افزایش دسترسی به فسفر محلول برای گیاه می‌گردند، از طرفی بسیاری از این باکتری‌ها نیز به نوبه خود از طریق ساخت متابولیت‌های ثانویه مانند تنظیم کننده‌های رشد گیاه و ترکیبات فعال زیستی روی رشد گیاه پیامد مثبت دارند (شیرمردی و همکاران 1389). بررسی‌ها نشان داده است که قارچ‌های میکوریزی می‌توانند روی رشد، جمعیت و فعالیت باکتری‌های جنس *سودوموناس* اثر بگذارند، از طرفی مواد تنظیم کننده رشد که توسط این باکتری‌ها در محیط فراریشه ترشح می‌شود، باعث توسعه میکوریزی می‌گردد (گارابای 1994). از این رو به نظر می‌رسد همکاری متقابل این ریزجانداران می‌تواند باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان میزبان گردد.

تغییرات رشد گیاه در شرایط مزرعه با شاخص‌های رشدی متفاوتی اندازه‌گیری می‌شود. در میان شاخص‌های رشد، سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ اهمیت بیشتری در بررسی فیزیولوژی تولید ماده خشک گیاهی دارند (احسان زاده و زارعیان بغدادی 1382). شناخت و بررسی این

شاخص‌های رشد در تجزیه و تحلیل کمی عوامل تأثیرگذار بر عملکرد نهایی از اهمیت بالایی برخوردار است. برای مثال نتایج تحقیقات محققین نشان داده است که همبستگی مثبتی بین شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک وجود دارد، به طوری که افزایش شاخص سطح برگ گیاه با افزایش جذب نور و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتزی باعث افزایش عملکرد اقتصـــادی می‌گردد (نوری اظهر و احسان زاده 1386، ساجدی و اردکانی 1386). خرم دل و همکاران (1387) نیز بیان داشتند که مایه‌زنی بذور سیاهدانه با کودهای زیستی باعث افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ، حداکثر تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول و در نتیجه عملکرد گیاه در مقایسه با شاهد می‌گردد.

مطالعه جنبه‌های مختلف همزیستی میکوریزی و باکتری‌های حل کننده فسفات با گیاه ذرت، می‌تواند اتکا به نهاده‌های شیمیایی در این گیاه را کاهش دهد. با توجه به تحقیقات انجام شده، هدف از انجام این پژوهش، بررسی برهمکنش کودهای زیستی فسفاته همراه با مصرف کود شیمیایی فسفر در راستای تحقق اهداف کشاورزی پایدار و تحت شرایط کم آبیـــاری بر شاخص‌های فیزیولوژیک ذرت و ارتباط آن با عملکرد زیستی و عملکرد دانه ذرت بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال زراعی 1388 در مزرعه‌ای واقع در دولت آباد 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 کرت-های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار به اجرا در آمد.

آبیاری در دو سطح: آبیاری کامل (I_1) پس از60 و کم آبیاری (I_2) پس از 120 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در کرت‌های اصلی، کود زیستی فسفاتی 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 فسفر (شاهد) (P_0)، مصرف 50% کود سوپر فسفات تریپل مورد نیاز براساس نتایج آزمون خاک در جدول 1 (37/5 کیلوگرم در هکتار) (P_1) و مصرف سنگ فسفات براساس مقدار فسفر مصرفی از منبع سوپر فسفات تریپل (44/5 کیلوگرم در هکتار) (P_2) در کرت‌های فرعی فرعی بودند (جدول 2). سنگ فسفات مورد استفاده از منبع آسفوردی یزد بود که از آزمایشگاه بیولوژی و بیوتکنولوژی گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد. کود سوپرفسفات تریپل و سنگ 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 اجرا شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول پنج متر با فاصله بیـن ردیف‌های کاشت 75 و فاصله دو بوته روی ردیف کاشت 20 سانتی متر بود. عملیات کاشت در 25 خرداد ماه 1388 و با استفاده از بذور ذرت رقم تری وی کراس 524 انجام گرفت. بذور به صورت کپه‌ای و با قرار دادن دو الی سه بذر سالم روی محل کشت، کاشت گردید و در مرحله سه تا چهار برگی تنک شدند. تا زمان استقرار گیاهچه‌ها تمام واحدهای آزمایشی همزمان آبیاری گردیدند و در تاریخ 15 تیر ماه، تنش کم آبی در واحد-های آزمایش واجد آن بر مبنای تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A شروع و تا پایان فصل رشد اعمال گردید. داده-های 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 و 160 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 6-7 برگی و مرحله ظهور کامل گل آذین نر به صورت سرک و به نسبت مساوی در اختیار گیاه قرار گرفت (بای‌بوردی و همکاران 1379، نوری اظهر و احسان زاده 1386).

باکتری مورد استفاده در این بررسی از گونه *سودوموناس فلورسنس*، سویه 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 (CFU ml^{-1}) باکتری زنده و فعال در هر میلی‌لیتر پس از 48 ساعت در مزرعه کشت شدند.

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

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

جدول 2- توصیف فاکتورهای مورد مطالعه

آبیاری	I
آبیاری کامل	I_1
کم آبیاری	I_2
کود زیستی فسفر	MB
کاربرد توام قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس*	M_1B_1
کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار	M_1B_0
کاربرد باکتری *سودوموناس فلورسنس*	M_0B_1
عدم کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری *سودوموناس فلورسنس* (شاهد)	M_0B_0
کود شیمیایی فسفر	P
عدم مصرف کود شیمیایی فسفر (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
مصرف سنگ فسفات (به میزان 44/5 کیلوگرم در هکتار) براساس کمیت فسفر مصرفی از منبع سوپر فسفات تریپل	P_2

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 کرج تهیه شد. زادمایه 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، قبل از کاشت حدود شش گرم از زاد مایه میکوریزی در حفره کاشت بذور قرار داده شد. انتخاب چهار بوته به طور تصادفی و با رعایت حاشیه، 30 روز پس از کشت آغاز

و با فواصل 15 روز ادامه یافت (ساجدی و اردکانی 1386). به طور کلی، در طول فصل رشد شش مرحله نمونه برداری انجام گرفت. برای محاسبه شاخص‌های فیزیولوژیک در این بررسی از دو صفت سطح برگ و ماده خشک کل گیاه استفاده گردید (ساجدی و اردکانی 1386، کریمی و همکاران 1388)، بدین صورت که سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[1]، تعیین گردید. وزن خشک اندام هوایی نیز پس از قرار گرفتن نمونه‌ها در آون تهویه‌دار در دمای 70 درجه سلسیوس به مدت 48 ساعت، با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. از آنجایی که رشد گیاه با حرارت بیشتر از زمان در ارتباط می‌باشد (اولسن و همکاران 1993) کلیه شاخص‌های فیزیولوژیک رشد براساس شاخص حرارتی درجه روز رشد[2] (GDD) بیان شد. محاسبه GDD نیز با استفاده از میانگین درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر روزانه و با احتساب عدد 10 درجه سلسیوس به عنوان صفر پایه (Tb) و ماکزیمم درجه حرارت 35 درجه سلسیوس برای ذرت و از طریق رابطه زیر محاسبه شد (صابری و همکاران 1385).

$$GDD = \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{Tmax + Tmin}{2} - Tb\right] \qquad [1]$$

برای محاسبات شاخص‌های رشد براساس تحقیق برخی از محققان چنین فرض شد که تغییرات وزن خشک کل گیاه و شاخص سطح برگ از چند جمله‌ای درجه دو پیروی می‌کند (صابری و همکاران 1385، کریمی و همکاران 1388). در این پژوهش مدل‌های زیر دارای بیشترین ضریب تبیین (R^2) برای پیش‌بینی تغییرات وزن خشک کل گیاه (TDW) و شاخص سطح برگ (LAI) نسبت به شاخص دمایی (GDD) بودند.

$$TDW = \exp(a + bGDD + cGDD^2) \qquad [2]$$

$$LAI = \exp(a' + b'GDD + c'GDD^2) \qquad [3]$$

در معادلات بالا، TDW و LAI به ترتیب وزن خشک کل گیاه و شاخص سطح برگ، GDD شاخص دمایی براساس درجه روز رشد و a، b، c، a´، b´ و c´ ثابت‌های معادلات می‌باشند (جدول 3).

سرعت رشد نسبی (RGR) و سرعت رشد گیاه (CGR) نیز از طریق معادلات زیر در هر واحد حرارتی (GDD) محاسبه گردید (صابری و همکاران 1385، کریمی و همکاران 1388).

$$RGR = d(\ln TDW)/dGDD = b + 2cGDD \qquad [4]$$

$$CGR = RGR \times TDW = (b + 2cGDD) \times \exp(a + bGDD + cGDD^2) \qquad [5]$$

برای اندازه‌گیری عملکرد زیستی و عملکرد دانه پس از فرا رسیدن مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه، با رعایت حاشیه از هر کرت فرعی فرعی (به مساحت 19 متر مربع)، 10 بوته انتخاب و صفات مورد نظر اندازه گیری گردید.

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

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

اثر برهمکنش کود زیستی فسفاته در سطوح مختلف آبیاری روی روند شاخص سطح برگ نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ معادل 3/9 در شرایط آبیاری کامل و 3/6 در شرایط کم آبیاری با کسب 1350 درجه روز رشد از تیمار کاربرد توأم قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* و کمترین مقدار آن در همین مرحله در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب با شاخص سطح برگی معادل 3/3 و 3/0 مربوط به تیمار شاهد بود، مقایسه شاخص سطح برگ در سطوح مختلف کود زیستی در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری نشان دهنده افزایش این پارامتر در تیمارهای

[1] Delta T-Devices UK. (ΔT Area Meter MK2)
[2] Growth degree days

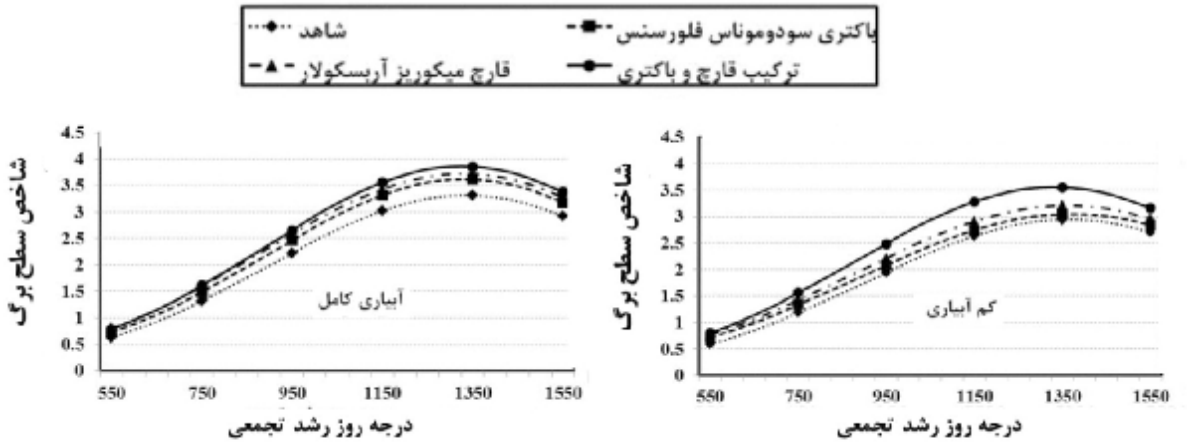
واجد کاربرد قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* بود (شکل 1). دلیل کاهش شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد در سطوح مختلف کود زیستی تحت شرایط کم آبیاری نسبت به شرایط آبیاری کامل را می‌توان به کاهش مواد فتوسنتزی برای رشد و توسعه سلول های برگ (بانزیگر و همکاران 2000) و افزایش پیری برگ (بتران و همکاران 2003) در شرایط تنش کمبود آب نسبت داد. همچنین افزایش سطح برگ سبز تحت شرایط تنش کم آبی در گیاهان کلنیزه شده با قارچ میکوریز نسبت به گیاهان کلنیزه نشده را می‌توان به کاهش پیری برگ به واسطه افزایش تولید کلروفیل یا کاهش تخریب آن (فتواکسیداسیون) و در کل در نتیجه بهبود وضعیت آب گیاه در اثر همزیستی میکوریزی دانست (بومسما و وین 2008).

جدول3- معادلات برازش داده شده وزن خشک کل گیاه و شاخص سطح برگ برای محاسبه شاخص‌های فیزیولوژیک ذرت در سطوح برهمکنش آبیاری در کود زیستی (I×MB)، آبیاری در کود شیمیایی فسفر (I×P) و کود شیمیایی فسفر در کود زیستی (P×MB)

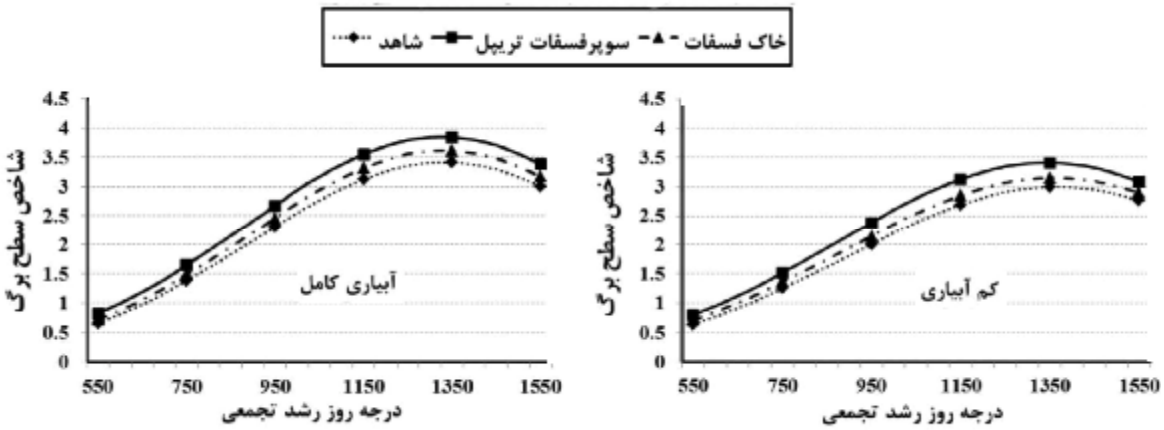
		TDW	R^2	LAI	R^2
I×MB					
I_1	شاهد	$Y= \exp(-3.0098+0.0140GDD-0.0000047099GDD^2)$	96	$Y= \exp(-3.6007+0.0072GDD-0.0000026945GDD^2)$	96
	باکتری سودوموناس فلورسنس	$Y= \exp(-2.3479+0.0129GDD-0.0000042651GDD^2)$	96	$Y= \exp(-3.3862+0.0070GDD-0.0000026399GDD^2)$	96
	قارچ میکوریز آربسکولار	$Y= \exp(-2.2610+0.0128GDD-0.0000042406GDD^2)$	97	$Y= \exp(-3.1593+0.0067GDD-0.0000025360GDD^2)$	95
	ترکیب قارچ و باکتری	$Y= \exp(-2.2268+0.0128GDD-0.0000042148GDD^2)$	97	$Y= \exp(-3.2972+0.0070GDD-0.0000026478GDD^2)$	96
I_2	شاهد	$Y= \exp(-2.8549+0.0136GDD-0.0000046450GDD^2)$	95	$Y= \exp(-3.4289+0.0066GDD-0.0000024258GDD^2)$	94
	باکتری سودوموناس فلورسنس	$Y= \exp(-2.4213+0.0131GDD-0.0000044183GDD^2)$	96	$Y= \exp(-2.9267+0.0059GDD-0.0000021527GDD^2)$	94
	قارچ میکوریز آربسکولار	$Y= \exp(-2.3344+0.0129GDD-0.0000042810GDD^2)$	96	$Y= \exp(-2.8794+0.0059GDD-0.0000021865GDD^2)$	94
	ترکیب قارچ و باکتری	$Y= \exp(-2.2436+0.0128GDD-0.0000042953GDD^2)$	97	$Y= \exp(-3.0746+0.0065GDD-0.0000024535GDD^2)$	95
I× P					
I_1	شاهد	$Y= \exp(-2.6681+0.0134GDD-0.0000044970GDD^2)$	97	$Y= \exp(-3.5278+0.0071GDD-0.0000026833GDD^2)$	97
	سوپر فسفات تریپل	$Y= \exp(-2.1964+0.0127GDD-0.0000041470GDD^2)$	97	$Y= \exp(-3.1507+0.0068GDD-0.0000025568GDD^2)$	96
	خاک فسفات	$Y= \exp(-2.4833+0.0132GDD-0.0000044132GDD^2)$	97	$Y= \exp(-3.4086+0.0071GDD-0.0000026564GDD^2)$	96
I_2	شاهد	$Y= \exp(-2.8177+0.0136GDD-0.0000046547GDD^2)$	96	$Y= \exp(-3.2225+0.0063GDD-0.0000023199GDD^2)$	95
	سوپر فسفات تریپل	$Y= \exp(-2.2159+0.0128GDD-0.0000042720GDD^2)$	97	$Y= \exp(-2.9398+0.0062GDD-0.0000023113GDD^2)$	95
	خاک فسفات	$Y= \exp(-2.3587+0.0129GDD-0.0000043050GDD^2)$	96	$Y= \exp(-3.0509+0.0062GDD-0.0000022752GDD^2)$	95
P× MB					
P_0	شاهد	$Y= \exp(-3.4041+0.0146GDD-0.0000050584GDD^2)$	96	$Y= \exp(-3.8895+0.0073GDD-0.0000027172GDD^2)$	96
	باکتری سودوموناس فلورسنس	$Y= \exp(-2.8654+0.0137GDD-0.0000046447GDD^2)$	96	$Y= \exp(-3.4248+0.0067GDD-0.0000024723GDD^2)$	96
	قارچ میکوریز آربسکولار	$Y= \exp(-2.4379+0.0130GDD-0.0000043263GDD^2)$	96	$Y= \exp(-3.1837+0.0065GDD-0.0000023990GDD^2)$	95
	ترکیب قارچ و باکتری	$Y= \exp(-2.3913+0.0130GDD-0.0000043529GDD^2)$	97	$Y= \exp(-3.1264+0.0066GDD-0.0000024776GDD^2)$	95
P_1	شاهد	$Y= \exp(-2.6184+0.0133GDD-0.0000044312GDD^2)$	96	$Y= \exp(-3.3712+0.0069GDD-0.0000025999GDD^2)$	96
	باکتری سودوموناس فلورسنس	$Y= \exp(-1.9934+0.0124GDD-0.0000040707GDD^2)$	97	$Y= \exp(-2.8062+0.0060GDD-0.0000022216GDD^2)$	95
	قارچ میکوریز آربسکولار	$Y= \exp(-2.1918+0.0127GDD-0.0000041910GDD^2)$	97	$Y= \exp(-2.8760+0.0063GDD-0.0000023355GDD^2)$	94
	ترکیب قارچ و باکتری	$Y= \exp(-2.0701+0.0126GDD-0.0000041474GDD^2)$	97	$Y= \exp(-3.1880+0.0069GDD-0.0000026216GDD^2)$	96
P_2	شاهد	$Y= \exp(-2.8331+0.0136GDD-0.0000045795GDD^2)$	95	$Y= \exp(-3.3521+0.0066GDD-0.0000024006GDD^2)$	94
	باکتری سودوموناس فلورسنس	$Y= \exp(-2.3790+0.0130GDD-0.0000043536GDD^2)$	96	$Y= \exp(-3.3162+0.0068GDD-0.0000025475GDD^2)$	96
	قارچ میکوریز آربسکولار	$Y= \exp(-2.2715+0.0128GDD-0.0000042665GDD^2)$	97	$Y= \exp(-3.0321+0.0064GDD-0.0000023747GDD^2)$	95
	ترکیب قارچ و باکتری	$Y= \exp(-2.2539+0.0128GDD-0.0000042578GDD^2)$	96	$Y= \exp(-3.2438+0.0068GDD-0.0000025492GDD^2)$	96

LAI: شاخص سطح برگ، TDW: وزن خشک کل گیاه (گرم در گیاه)، R^2: ضریب تبین. توصیف تیمارها در جدول 2.

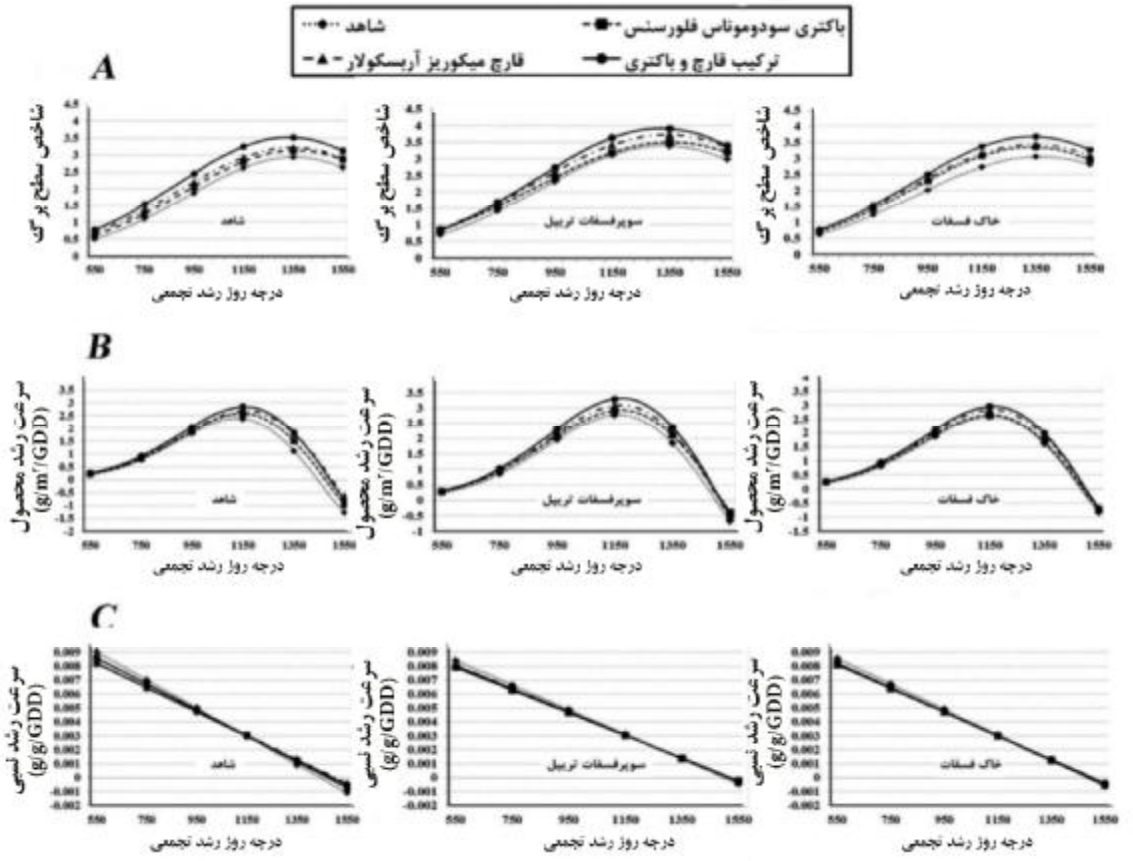
همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است، حداکثر شاخص سطح برگ با دریافت 1350 درجه روز رشد با مصرف سوپر فسفات تریپل در هر دو سطح آبیاری به دست آمد. کمبود فسفر و تنش کم آبی هر دو از عوامل تأثیر گذار روی توسعه سطح برگ می‌باشند و در شرایط تنش کم آبی تاثیر کمبود فسفر روی توسعه سطح برگ تشدید می‌گردد (گوتیرز بوم و همکاران 2001).



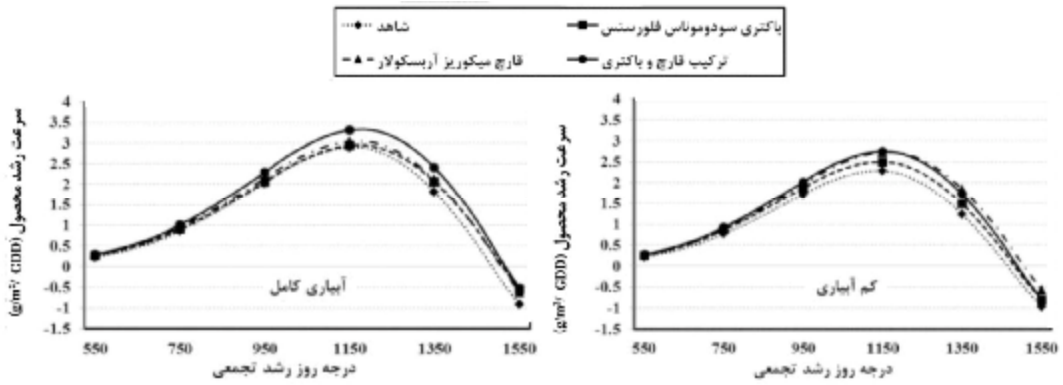
شکل 1- اثر کود زیستی در سطوح مختلف آبیاری بر روند تغییرات شاخص سطح برگ



شکل 2- اثر کود شیمیایی فسفر در سطوح مختلف آبیاری بر روند تغییرات شاخص سطح برگ



شکل 3- اثر کود زیستی در سطوح مختلف کود شیمیایی فسفر بر روند تغییرات شاخص سطح برگ (A)، سرعت رشد محصول (B) و سرعت رشد نسبی (C)



شکل 4- اثر کود زیستی در سطوح مختلف آبیاری بر روند تغییرات سرعت رشد محصول

در حقیقت فسفر از طریق کاهش ظهور و توسعه برگ سبب کاهش سطح برگ می‌گردد (رودریگوئز و همکاران 1998). رادیان و ادینبوک (1984) نیز مشاهده کردند که کمبود فسفر هدایت هیدرولیکی ریشه را کاهش می‌دهد، این محققین بیان داشتند که این عامل می‌تواند از طریق کاهش فشار آماس سلول یکی از عوامل بازدارندگی توسعه سطح برگ باشد.

تغییرات شاخص سطح برگ در پاسخ به کود زیستی در سطوح مختلف کود شیمیایی فسفر در طول فصل رشد (شکل 3A) برای تمامی تیمارها روند نسبتاً مشابهی داشت. بیشترین میزان شاخص سطح برگ با کسب 1350 درجه روز رشد مربوط به تیمار مصرف سوپرفسفات تریپل و کاربرد توأم قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* با شاخص سطح برگ معادل 3/9 و کمترین میزان آن نیز از تیمار عدم مصرف کود شیمیایی و عدم کاربرد قارچ و باکتری (شاهد) با شاخص سطح برگ معادل 3 بدست آمد. میزان بیشینه‌ی شاخص سطح برگ در شرایط مصرف سنگ فسفات و کاربرد توأم قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* معادل 3/7 بود، که از مقدار مربوط به مصرف سوپرفسفات تریپل در شرایط مشابه (مصرف توأم قارچ و باکتری) تنها 5/12 درصد کمتر بود.

سرعت رشد محصول

مقایسه سرعت رشد محصول در سطوح مختلف کود زیستی، در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری نشان دهنده افزایش سرعت رشد محصول در تیمارهای واجد قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* بود، ذرت در شرایط کاربرد توأم قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* در هر دو سطح آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب با سرعت رشد معادل 3/4 و 2/8 گرم بر متر مربع بر درجه روز رشد پس از 1150 درجه روز رشد دارای بیشترین میزان سرعت رشد محصول بود (شکل 4). صابری و همکاران (1385) نیز مقدار بیشینه‌ی سرعت رشد ذرت در شرایط محاسبه آن با استفاده از شاخص حرارتی درجه روز رشد (GDD) را بین 4-2 گرم در مترمربع گزارش نمودند. کاهش سرعت رشد محصول تا صفر و منفی شدن آن در پایان دوره رشد را می‌توان به کاهش ماده خشک بر اثر ریزش برگ‌های پایینی ذرت و فتوسنتز خالص منفی نسبت داد، با این توضیح به نظر می‌رسد ریزش بیشتر برگ‌ها در تیمار شاهد در مقایسه با سایر سطوح واجد قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* دلیل مقدار منفی‌تر سرعت رشد محصول در این تیمار را توجیح می‌نماید. از آنجایی که آسیمیلاسیون گیاه در شرایط تنش رطوبتی به میزان زیادی توسط دو عامل اصلی سطح برگ و فتوسنتز در هر واحد سطح برگ کنترل می‌شود (ادمادس و همکاران 1996)، تنش رطوبتی با کاهش سطح برگ سبز موجب کاهش سطح فتوسنتز کننده و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (بومسما و وین 2008)، از این رو سرعت رشد محصول همواره در طول دوره رشد گیاه در شرایط کم آبیاری نسبت به شرایط آبیاری کامل کمتر بود (شکل 4).

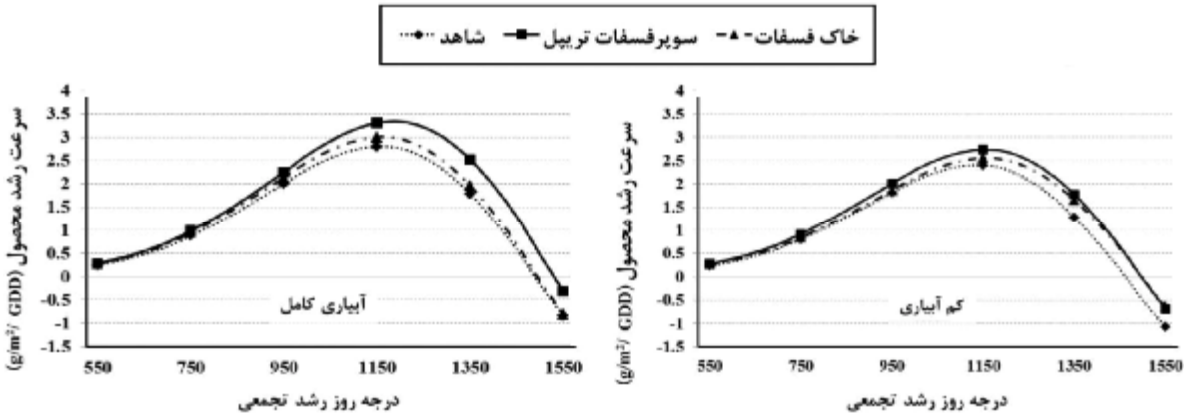
بررسی اثر کود شیمیایی فسفر در سطوح مختلف آبیاری بیانگر افت سرعت رشد محصول در سطوح مختلف کود شیمیایی فسفر تحت شرایط کم آبیاری بود. همچنین مقایسه سطوح مختلف کود فسفر نشان داد که در هر دو شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری مصرف سوپر فسفات تریپل نسبت به مصرف سنگ فسفات دارای یک برتری نسبی در افزایش سرعت رشد محصول است (شکل 5). به نظر می‌رسد که بالاتر بودن سرعت رشد محصول در شرایط مصرف سوپرفسفات تریپل نسبت به سنگ فسفات بیشتر به علت بالا بودن شاخص سطح برگ و متعاقب آن بالا بودن وزن خشک تولیدی (داده‌ها منتشر نشده) در این تیمار باشد.

تغییرات سرعت رشد محصول در پاسخ به اثر کود زیستی در سطوح مختلف کود شیمیایی فسفر نیز بدین صورت بود که سرعت رشد محصول با گذشت زمان افزایش یافته و پس از رسیدن به مقدار حداکثر خود روند کاهشی پیدا کرده و در انتهای فصل رشد به دلیل زرد شدن برگ‌ها منفی شده است. بیشینه‌ی میزان سرعت رشد محصول از تیمار مصرف سوپرفسفات تریپل و *فلورسنس* برابر با 3/4 گرم بر متر مربع بر

درجه روز رشد پس از 1150 درجه روز رشد بدست آمد که میزان آن از تیمار مصـــرف سنگ فسفات در شرایط مشابه (کاربرد توأم قارچ و باکتری) به میزان 9/09 درصد بیشتر بود (شکل 3B).

سرعت رشد نسبی

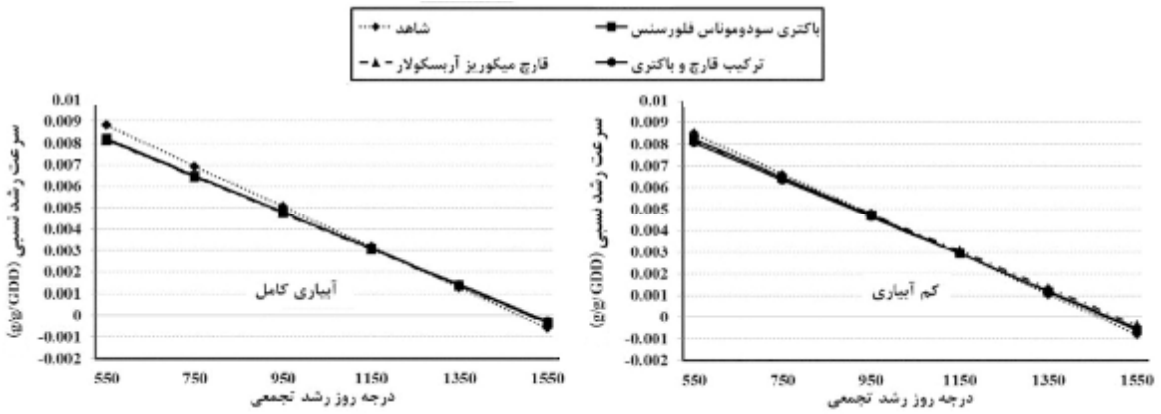
سرعت رشد نسبی بیانگر تغییرات وزن خشک گیاه نسبت به وزن خشک اولیه در واحد زمان است، کاهش سرعت رشد نسبی‌گیاه در طول فصل رشد به دلیل افزایش بافت‌های ساختمانی مختلف نسبت به بافت‌های متابولیکی است؛ به عبارت دیگر در ابتدای رشد تمام



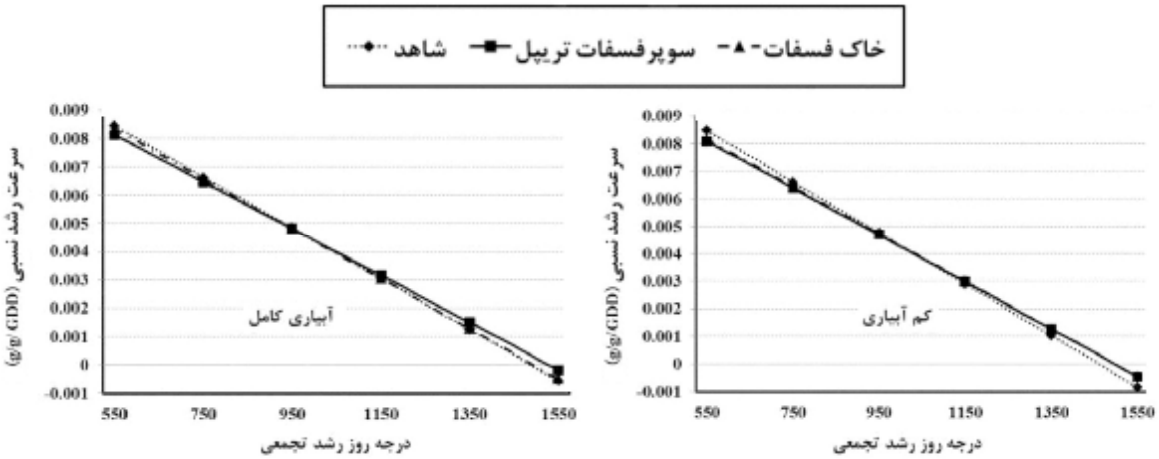
شکل 5- اثر کود شیمیایی فسفر در سطوح مختلف آبیاری بر روند تغییرات سرعت رشد محصول

وزن گیاه و تمام سلول‌ها در تولید نقش دارند ولی با گذشت زمان و با پیر شدن برگ‌ها و سایه‌اندازی در طول این دوره، بافت‌های مرده و سلول‌هایی که در تولید نقش ندارند، افزایش می‌یابند و سبب کاهش مقدار سرعت رشد نسبی گیاه می‌شوند. نتایج مشابهی در تأیید این روند، توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (صابری و همکاران 1385، ساجدی و اردکانی 1386). در کل در این بررسی نیز سرعت رشد نسبی برای تمام تیمارهای کود زیستی در شرایط آبیاری کامل و شرایط کم آبیاری روند کاهشی داشت، اما مقدار سرعت رشد نسبی در تمام مراحل رشد برای تمام تیمارهای کود زیستی در شرایط آبیاری کامل نسبت به شرایط کم آبیاری بیشتر بود (شکل 6). به نظر می‌رسد ریزجانداران مورد استفاده در این بررسی از طریق افزایش جذب فسفر باعث افزایش سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد گیاه ذرت شده‌اند، ایـن امـر می‌تواند به دلیل ثبات بیشتر ماده خشک در تیمارهای واجد قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* در انتهای فصل رشد و ریزش کمتر برگ در این تیمارها باشد.

سرعت رشد نسبی برای تمام تیمارهای مصرف کود شیمیایی فسفر در طول دوره رشد ذرت در شرایط آبیاری کامل نسبت به شرایط کم آبیاری بیشتر بود.



شکل 6- اثر کود زیستی در سطوح مختلف آبیاری بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی



شکل 7- اثر کود شیمیایی فسفر در سطوح مختلف آبیاری بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی

در کل اختلافات در میزان سرعت رشد نسبی در انتهای فصل رشد برای تیمارهای کود شیمیایی فسفر در سطوح مختلف آبیاری نسبتاً بیشتر بود، به طوری که سرعت رشد نسبی در هر دو شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری در انتهای فصل رشد با مصرف کود سوپرفسفات تریپل و سنگ فسفات نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت (شکل 7). فسفر یکی از عوامل محدود کننده رشد ذرت محسوب می‌شود و کمبود آن از طریق کاهش زیتوده اندام هوایی باعث افت سرعت نسبی گیاه می‌گردد (پلنت و همکاران 2000). از این رو به نظر می‌رسد گیاهانی که در شرایط مطلوب‌تر تغذیه‌ای قرار دارند سرعت رشد نسبی بیشتری در اواخر فصل رشد داشته و همچنین کاهش منحنی، در این تیمارها به صورت ملایمتر است (ساجدی و همکاران 1386).

همانگونه که در شکل 3C مشاهده می‌شود، سرعت رشد نسبی ذرت در سطوح مختلف کود زیستی و در تیمار شاهد در مقایسه با تیمارهای واجد سوپرفسفات تریپل و سنگ فسفات در اوایل فصل رشد بیشتر می‌باشد، اما این مطلب در مراحل انتهایی رشد ذرت برعکس بود و مصرف سوپرفسفات تریپل نسبت به مصرف سنگ فسفات و شاهد در تیمارهای واجد قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* باعث افزایش

سرعت رشد نسبی شد. در بررسی مشابهی که توسط سایر محققان انجام گرفته بود، مشاهده شده که کاربرد قارچ میکوریز در سطوح پایین و مصرف کود شیمیایی فسفر سبب افزایش سرعت رشد نسبی گیاه گشته است (راموس زاپاتا و همکاران 2009). نکته قابل توجه در این بررسی این بود که عدم مصرف کود زیستی و شیمیایی فسفر در انتهای فصل رشد باعث کاهش سرعت رشد نسبی در گیاه می‌گردد و این نتایج با نتایج بدست آمده از بررسی بواترا (2009) در زمینه کاهش سرعت رشد نسبی در اثر کمبود فسفر نیز مطابقت داشت.

عملکرد دانه و عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی سطوح آبیاری، کود زیستی و کود شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، همچنین اثر برهمکنش کود زیستی و آبیاری تنها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و برهمکنش کود شیمیایی فسفر و آبیاری نیز برای هر دو صفت عملکرد دانه و عملکرد زیستی معنی‌دار بود (جدول 4). نتایج جدول 4 نیز نشان داد که حداکثر میزان عملکرد دانه و عملکرد زیستی از تیمار آبیاری کامل بدست آمد و تیمار کم آبیاری نسبت به تیمار آبیاری کامل عملکرد دانه و عملکرد زیستی را به ترتیب به میزان 18/8 و 19/3 درصد کاهش می‌دهد. تیمار کاربرد توأم قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* باعث افزایش معنی‌دار میزان عملکرد دانه و عملکرد زیستی در مقایسه با کاربرد جداگانه آنها شد. در کاربرد جداگانه این ریزجانداران نیز کارایی قارچ میکوریز نسبت به باکتری *سودوموناس فلورسنس* بیشتر بود. حداکثر عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک مربوط به تیمار مصرف سوپر فسفات تریپل بود که اختلاف آن با تیمار مصرف سنگ فسفات معنی‌دار بود (جدول 5). قارچ میکوریز جذب عناصر غذایی، به ویژه فسفر و عناصر کم مصرف نظیر روی و مس را بهبود می‌بخشد و باعث تحریک رشد و کاهش اثرات تنش‌های محیطی روی گیاه میزبان می‌شود و از طریق افزایش زیتوده با فراهم کردن عناصر غذایی توسط هیف‌ها و یا بهبود رشد ریشه و همچنین افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی در ساقه به دلیل افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتزی، می‌تواند با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن عملکرد دانه ذرت را بهبود ببخشد (بومسما و وین 2008). همچنین باکتری‌های جنس *سودوموناس* علاوه بر افزایش قابلیت جذب فسفات‌های نامحلول خاک، از طریق ترشح هورمون و فاکتورهای تحریک کننده رشد گیاه نیز روی رشد و نمو گیاهان تأثیر می‌گذارند (گاربای 1994).

بررسی اثر متقابل سطوح کود زیستی و آبیاری بر عملکرد دانه نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری مربوط به کاربرد توأم قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* بود (شکل 8A). بسیاری از محققین اذعان داشتند که ژنوتیپ‌هایی از ذرت که در دوره پر شدن دانه سطح برگ سبز بیشتری را برای مدت طولانی‌تری حفظ می‌کنند، می‌توانند انرژی خورشیدی بیشتری جذب کنند (ادمادس و همکاران 1996، بومسما و وین 2008)، در نتیجه توانایی بیشتری نیز در پر کردن دانه‌های در حال نمو در حضور تنش رطوبتی دارند. بعلاوه به نظر می‌رسد که تأخیر در پیری برگ نیز همبستگی مثبتی را با عملکرد دانه تحت شرایط تنش رطوبتی داشته باشد (بتران و همکاران 2003). از این رو به نظر می‌رسد افزایش عملکرد دانه در تیمارهای واجد قارچ میکوریز و باکتری *سودوموناس فلورسنس* نسبت به شاهد در شرایط کم آبیاری توسط بهبود سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی به دلیل افزایش جذب فسفر (بومسما و وین 2008)، افزایش جذب آب (آگه 2001) و همچنین تعدیل شرایط تنش رطوبتی بوده است.

اثر بر همکنش کود شیمیایی فسفر و آبیاری نشان داد که حداکثر عملکرد دانه و عملکرد زیستی مربوط به تیمار آبیاری کامل به همراه مصرف سوپر فسفات تریپل بود. همچنین در شرایط کم آبیاری نیز مصرف سوپر فسفات تریپل نسبت به سنگ فسفات بهتر

بود (شکل 8B). فسفر برای گیاهان جهت تحریک رشد گیاه و تسریع رسیدگی اهمیت زیادی دارد و در شرایط کمبود فسفر رشد و رسیدگی گیاهان به تعویق افتاده و عملکرد کاهش می‌یابد (پلنت و همکاران 2000).

جدول 4- تجزیه واریانس عملکرد دانه و عملکرد زیستی در سطوح مختلف آبیاری، کود زیستی و کود شیمیایی

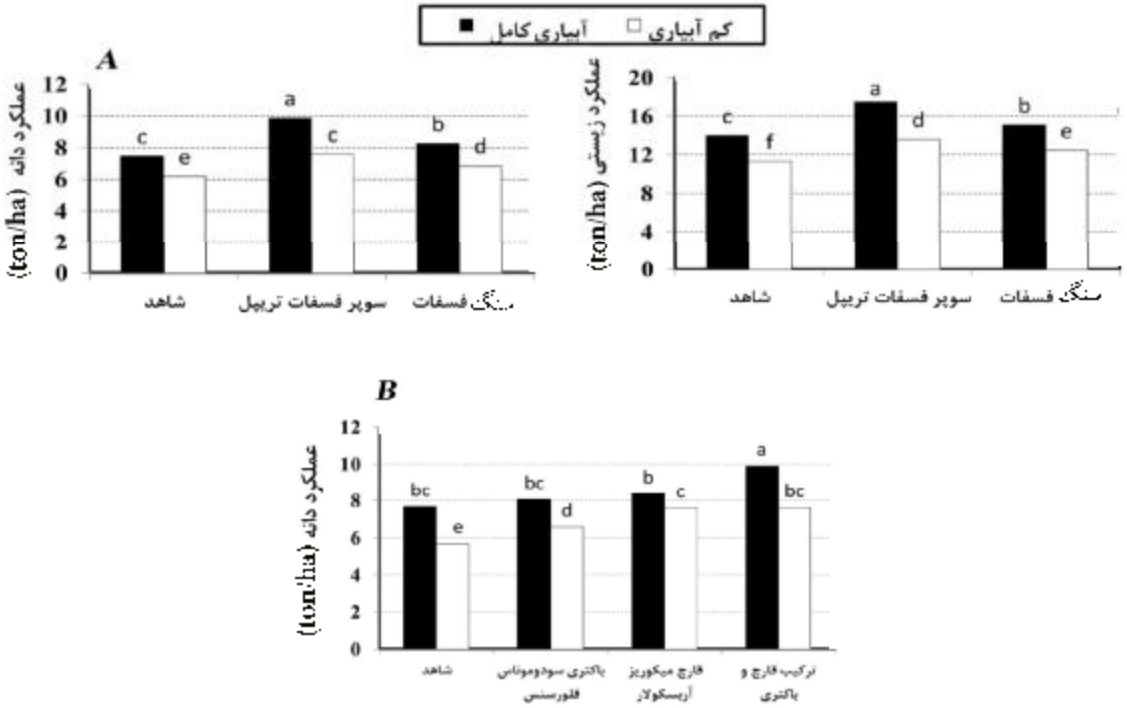
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد زیستی
بلوک	2	0/5ns	0/8ns
آبیاری (I)	1	48/7**	167/9**
خطای کرت اصلی	2	0/2	0/4
کود زیستی فسفر(MB)	3	14/5**	44/3**
MB×I	3	1/9*	1/3ns
خطای کرت فرعی	12	0/46	0/4
کود شیمیایی فسفر (P)	2	22/3**	51/2**
I× P	2	1/8*	3/1*
MB× P	6	0/4ns	0/5ns
I×MB×P	6	0/7ns	1/1ns
خطای کرت فرعی فرعی	32	0/5	0/1
ضریب تغییرات%	-	9/4	5/9

**،* و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 1%، 5% و غیر معنی دار

جدول 5- مقایسه میانگین های عملکرد دانه و عملکرد زیستی برای اثرهای اصلی آبیاری، کود زیستی و کود شیمیایی فسفر

تیمار		میانگین مربعات عملکرد دانه (ton/ha)	میانگین مربعات عملکرد زیستی (ton/ha)
آبیاری(I)	آبیاری کامل	8/5a	15/5a
	کم آبیاری	6/9b	12/5b
	شاهد	6/7d	12/2d
کود زیستی فسفر (MB)	باکتری *سودوموناس فلورسنس*	7/3c	13/4c
	قارچ میکوریز آربسکولار	8/0b	14/6b
	ترکیب قارچ و باکتری	8/8a	15/8a
کود شیمیایی فسفر(P)	شاهد	6/8c	12/7c
	سوپرفسفات تریپل	8/7a	15/6a
	خاک فسفات	7/6b	13/8b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی داردر سطح احتمال 5% می‌باشند.



شکل 8- اثر متقابل آبیاری و کود شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی (A) و اثر متقابل آبیاری و کود زیستی بر عملکرد دانه (B) در گیاه ذرت

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که کاربرد باکتری *سودوموناس فلورسنس* قارچ میکوریز آربسکولار در تلفیق با کودهای شیمیایی فسفر مبتنی بر یک نظام زراعی کم نهاده می‌تواند با کاهش مصرف کودهای شیمیایی اثرات منفی ناشی از مصرف این کود-ها را در بوم نظام‌های زراعی کاهش دهد، علاوه بر آن این ریزجانداران با استفاده از مکانیسم‌های پیچیده می-توانند اثرات تنش‌های زیست محیطی از جمله تنش رطوبتی را به حداقل رسانده و با بهبود سطح برگ و سرعت رشد محصول منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی ذرت نسبت به تیمار شاهد گردند؛ باکتری *سودوموناس فلورسنس* 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 میسلیوم‌های درون و برون ریشه‌ای منطقه تخلیه ریشه را برای جذب آب و مواد غذایی گسترش می‌دهند به همراه استفاده از باکتری‌های حل کننده فسفات نظیر باکتری *سودوموناس فلورسنس* (باکتری‌های کمکی میکوریز آربسکـــولار) 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.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از زحمات خانم مهندس محمدی تکنسین آزمایشگاه بیولوژی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج که ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع مورد استفاده

احسان زاده پ و زارعیان بغدادآبادی ع، 1382. اثر تراکم بوته بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی ویژگی های رشد دو رقم گلرنگ در شرایط آب و هوایی اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد هفتم، شماره 1. صفحه‌های 130 تا 141.

بای‌بوردی م، ملکوتی مج، امیرمکری ه و نفیسی م، 1379. تولید و مصرف بهینه کود شیمیایی در راستای اهداف کشاورزی پایدار. نشر آموزش کشاورزی. کرج. 282 صفحه.

خرم دل س، کوچکی ع، نصیری محلاتی م و قربانی ر، 1387. اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر شاخص‌های رشدی سیاهدانه. مجله پژوهشهای زراعی ایران، جلد ششم، شماره 2. صفحه‌های 285 تا 294.

راثی‌پور ل و علی‌اصغرزاد ن، 1386. اثرات متقابل باکتری‌های *سودموناس فلورسنس* و ریزوبیوم *ژاپونیکوم* بر شاخص-های رشد، غده بندی و جذب برخی عناصر غذایی در سویا. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد یازدهم، شماره 4. صفحه های 53 تا 63.

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

ساجدی ن و اردکانی مر، 1386. اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن، روی و آهن بر شاخص های فیزیولوژیک ذرت علوفه ای در استان مرکزی. مجله پژوهشهای زراعی ایران. جلد ششم، شماره 1. صفحه‌های 99 تا110.

شیرمردی م، ثواقبی غ، خاوازی ک، فرحبخش م، رجالی ف و سادات ع، 1389. بررسی برهمکنش قارچ میکوریزو باکتری *سودوموناس* بر پتانسیل آب برگ و عملکرد دو رقم آفتابگردان درخاک شور. مجله تحقیقات آب و خاک، جلد دوم، شماره 41. صفحه‌های 221 تا 228.

صابری ع، مظاهری د و حیدری شریف‌آباد ح، 1385. بررسی اثرات تغییر آرایش کاشت و تراکم بوته بر شاخص های فیزیولوژیکی و روند تجمع ماده خشک ذرت تری وی کراس 647. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد سیزدهم، شماره 2. صفحه های 25 تا 42.

فاتح ا، شریف‌زاده ف، مظاهری د و باغستانی مع، 1385. ارزیابی رقابت سلمه تره و الگوی کاشت ذرت روی عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه ای سینگل کراس 704. مجله پژوهش و سازندگی. جلد هفتاد و سوم. صفحه‌های 87 تا 97.

کریمی م، اصفهانی م، بیگلوئی مح و ربیعی ب، 1388. تأثیر تیمارهای کم آبیاری بر صفات مورفولوژیک و شاخص های رشد ذرت علوفه ای در شرایط آب و هوایی رشت. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. جلد دوم، شماره 2. صفحه‌های91 تا110.

نوری اظهر ج و احسان زاده پ، 1386. بررسی روابط شاخص های 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، بیولوژی خاک. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشگاه تهران.

یارمحمودی ز، تدین م‌س، جعفری‌حقیقی ب و خیرخواه م، 1389. بررسی اثر کود بیولوژیک بر سرعت رشد، عملکرد و اجزا عملکرد ذرت دانه‌ای رقم ماکسیما تحت شرایط تنش خشکی. صفحه های 63 تا 67. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دوم تا چهارم مرداد ماه. پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

Auge RM, 2001. Water relations, drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11: 3-42.

Bänziger 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, Bänziger M and Edmeades GO, 2003. Secondary traits in parental inbreeds 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.

Boutraa T, 2009. Growth and carbon partitioning of two genotypes of bean (*Phaseolus vulgaris*) grown with low phosphorus availability. Eur-Asian J Bio Sci 3:17-24.

Beauregard MS, Hamel C and St-Arnaud M, 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi communities in major intensive north american grain productions. Pp. 135-158. In: Siddiqui ZA, Akhtar MS and Futai K (eds). Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry, Springer Science+Business Media BV.

Edmeades GO, Bänziger M, Mickelson HR and Peña-Valdivia CB, 1996. Developing drought and low N tolerant maize proceedings of a symposium sustainable maize and wheat systems for the poor, CIMMYT, El-Batán, Mexico 465-518.

Franco-Correaa M, Quintana A, Duque C, Suarez C, Rodriguez MX and Barea JM, 2010. Evaluation of *actinomycete* strains for key traits related with plant growth promotion and mycorrhizal helping activities. Appl Soil Ecol 45: 209–217.

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

Gutirrez-Boem FH and Thomas GW, 2001. Leaf area development in soybean as affected by phosphorus nutrition and water deficit. J Plant Nutrition 24(11): 1711 – 1729.

Olsen JK, Mcmahon CR and Hammer GL, 1993. Prediction of corn phenology in subtropical environments. Agron J 85: 410-415.

Plenet D, Mollier A and Pellerin S, 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II. Radiation-use efficiency, biomass accumulation and yield components. Plant and Soil 224: 259–272.

Radian JW and Eidenbock MP, 1984. Hydraulic conductance as a factor limiting leaf expansion of phosphorus-deficient cotton plants. Plant Physio 76: 392-394.

Ramos-Zapata J, Orellana R, Guadarrama P and Medina-Peralta S, 2009. Contribution of mycorrhizae to early growth and phosphorus uptake by a neotropical palm. Plant Nutrition 32(5): 855-866.

Rodriguez D, Zubillaga MM, Ploschuk EL, Keltjens WG, Goudriaan J and Lavado RS, 1998. Leaf area expansion and assimilate production in sunflower (*Helianthus annus* L.) growing under low phosphorus conditions. Plant and Soil 202: 133–147.

Siddiqui ZA and Pichtel J, 2008. Mycorrhizae: An overview. Pp. 1-35. In: Siddiqui ZA, Akhtar MS and Futai K (eds). Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry, Springer Science+Business Media BV.

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 Nutrition 29: 1509–1522.