رشد، فتوسنتز و عملکرد ذرت در پاسخ به تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت کنندهٔ نیتروژن در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک

محسن جهان، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی[۱]

چکیده

به منظور بررسی تأثیر قارچ میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت کنندهٔ نیتروژن بر ویژگیهای رشد و سرعت فتوسنتز ذرت در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک، آزمایشی به‌صورت کرتهای خرد شده در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. کرتهای اصلی، چهار نظام زراعی مختلف کشت ذرت شامل: ۱- نظام رایج با نهادهٔ زیاد، ۲- نظام رایج با نهادهٔ متوسط، ۳- نظام رایج با نهادهٔ کم و ۴- نظام اکولوژیک، و کرتهای فرعی شامل: ۱- تلقیح با قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*)، ۲- تلقیح با مخلوط باکتری‌های آزوسپیریلوم (*Azospirillum brasilense*) و ازوتوباکتر (*Azotobacter paspali*)، ۳- تلقیح با مخلوط قارچ میکوریزا و باکتری‌های آزوسپیریلوم و ازوتوباکتر و ۴- شاهد (بدون تلقیح) بود. در هر کرت آزمایشی، سرعت فتوسنتز برگ، شاخص سطح برگ، تولید مادهٔ خشک، عملکرد دانه و نیز شاخص کلروفیل(SPAD) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تأثیر انواع میکروارگانیسم بر سرعت فتوسنتز گیاه ذرت معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین سرعت فتوسنتز در تلقیح توأم قارچ و باکتری حاصل شد. اثر تلقیح با نواع میکروارگانیسم بر مادهٔ خشک تولیدی ذرت معنی دار بود به‌طوری‌که تلقیح توأم قارچ و باکتری بیشترین مقدار مادهٔ خشک را تولید کرد. اثر نظام‌های زراعی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و نظام متوسطنهاده با نظام پرنهاده از این نظر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند ولی بین نظام‌های پرنهاده، کم‌نهاده و اکولوژیک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. عدد کلروفیل‌متر ذرت تحت تأثیر انواع میکروارگانیسم قرار گرفت، به‌طوری‌که تلقیح توأم قارچ و باکتری بیشترین میزان عدد کلروفیل‌متر را به خود اختصاص داد. به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که ترکیب نظام‌های کم نهاده و اکولوژیک و تلقیح توأم میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت کنندهٔ نیتروژن، می تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و نظام‌های پرنهاده باشد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، فتوسنتز، میکوریزا، ازوتوباکتر، آزوسپیریلوم، نظام زراعی رایج، نظام زراعی اکولوژیک.

مقدمه

استفاده از منابع بیولوژیک در کشاورزی دارای قدمت بسیار زیادی است و در گذشتهٔ نه چندان دور تمام مواد غذایی مورد مصرف انسان با استفاده از چنین منابع ارزشمندی تولید می‌شدند. استفادهٔ بهینه از منابع بیولوژیک نه تنها دارای اثرات مثبتی بر خصوصیات خاک می‌باشد بلکه از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نیز مفید بوده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای نهاده‌های شیمیایی باشد (۲۵، ۳۴، ۴۲، ۴۸، ۵۰، ۵۲، ۵۵، ۵۹، ۶۸، ۷۲ و ۹۴). میکوریزا یکی از مجموعه عوامل بیولوژیک است که بخش نسبتاً مهمی از موجودات خاکزی را شامل می‌شود، همزیستی این قارچ با ریشه گیاهان میزبان و تشکیل سیستم میکوریزایی نقش مهمی در حاصلخیزی و پایداری اکوسیستم خاک دارد (۲۵، ۴۲، ۴۸، ۵۲ و ۹۴). قارچ‌های

۱- دانشجوی دکتری زراعت و اعضای هیأت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

میکوریزا قادرند با دوسوم تمام گونه‌های گیاهی همزیست شوند (۲۶، ۴۹، ۵۲ و ۷۶).

مهمترین نقش‌های میکوریزای آربسکولار در نظام‌های زراعی عبارتند از: افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر برای گیاهان (۱۱، ۲۱، ۲۵، ۲۸، ۲۹، ۳۲، ۶۲، ۷۷، ۸۴، ۹۱ و ۹۴)، افزایش فتوسنتز (۳۲، ۵۲، ۷۶، ۷۷، ۸۲ و ۸۸) ، افزایش کارآیی مصرف آب در گیاه میزبان (۱۰، ۳۱، ۵۱، ۷۷، ۹۱ و ۹۴)، افزایش مقاومت به تنش خشکی و تنش شوری (۲۴، ۳۳، ۵۶، ۷۳، ۷۶، ۷۷، ۸۶، ۹۰، ۹۱ و ۹۴)، افزایش مقاومت میزبان به آفات و بیماری‌ها (۴۸، ۵۲، ۵۶، ۷۶، ۷۷، ۹۱ و ۹۴)، افزایش غلظت هورمون‌های گیاهی و محتوای کلروفیل (۲۱، ۲۵، ۳۰، ۷۶، ۷۷، ۹۱ و ۹۲)، تسریع در گلدهی گیاهان میزبان (۲۵، ۷۷، ۹۱ و ۹۴)، تأثیر در اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف گیاه میزبان (۸۶ و ۹۱)، ایجاد واکنش‌های مورفولوژیکی در گیاهان (۸۶ و ۹۱) ، افزایش قدرت رقابت گیاه میزبان در مقابل علف‌های هرز (۱۳ و ۸۳)، افزایش مقاومت گیاهان به فلزات سنگین (۱۹، ۲۱، ۲۵ و ۳۸)، بهبود ساختمان خاک و تشکیل خاکدانه (۱۲، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۲۹، ۳۴، ۶۶ و ۹۴)، کاهش اثر سوء مواد شیمیایی (ضدعفونی کننده‌ها، قارچ کش‌ها، آفت کش‌ها و علف کش‌ها) (۱۳، ۲۱، ۲۵، ۳۸ و ۵۶)، تشدید فعالیت باکتری‌های ریزوبیوم و آزوسپیریلوم (۷، ۸، ۱۶، ۴۷ و ۸۵).

قارچ‌های میکوریزا به برخی عملیات کشاورزی حساس می‌باشند و به همین دلیل به‌عنوان شاخص مهمی در ارزیابی تعادل و روش مدیریت اکوسیستم‌های خاکی محسوب می‌شوند، از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به روش‌های نامناسب آماده‌سازی خاک و مصرف بی‌رویهٔ نهاده‌های شیمیایی اشاره کرد (۲۱، ۲۶، ۲۹، ۶۱ و ۶۶). برخی محققین (۳۰، ۳۱، ۳۲، ۴۰، ۴۲ و ۸۲) گزارش کرده‌اند که در شرایط تنش خشکی، میکوریزا از طریق افزایش دوام سطح برگ، فتوسنتز و تثبیت کربن در طول فصل رشد را افزایش داد. در آزمایشی (۴۳) که روی نظام‌های کم نهاده و رایج به عمل آمد، مشاهده شد که درنظام‌های کم نهاده، که سطح زمین به مدت طولانی‌تری به‌وسیلهٔ یک گیاه پوششی زمستانه (ماشک گل‌خوشه‌ای *Vicia villosa*) پوشانده شده بود، آلودگی خاک به میکوریزا افزایش یافت. برخی تحقیقات (۴۳) نشان داده‌اند که گیاهان در مزارع کم‌نهاده نسبت به مزارع پرنهاده به میزان ۶۰-۳۰ درصد بیشتر کلونیزه شدند. دادز و همکارن (۲۹) گزارش کردند که نوع شخم و نظام زراعی بر جمعیت میکوریزا و میزان کلونیزه شدن گیاه زراعی تأثیر می گذارد. آنها در تحقیق دیگری (۲۷) بیان کردند که میزان کلونیزاسیون و جمعیت اسپور قارچ در نظام‌های کم نهاده بیشتر از نظام‌های رایج بود، همچنین نظام زراعی بر توزیع گونه‌های میکوریزا تأثیر گذاشت. در برخی آزمایش‌ها ملاحظه شده است که تقویت خاک با کودهای آلی، سیستم میکوریزایی را به‌شدت توسعه می‌دهد، درحالی‌که کودهای معدنی بر ایجاد همزیستی بی‌تأثیر بوده و یا اثر منفی داشتند (۴۳). در منابع متعدد به اثر مثبت کودهای آلی بر گسترش قارچ‌های میکوریزا، ترکیب جوامع میکروبی، فون و فلور خاک و نیز تشدید فرایندهای متابولیکی در داخل خاک، ریشه و شاخ و برگ گیاهان تأکید شده است (۳۲، ۴۳، ۴۹ و ۶۳). طی آزمایشی (۴۱) با کشت گندم زمستانه تحت دوره‌های زمانی مختلف مدیریت زیستی، مشاهده شد که با افزایش طول دورهٔ زمانی مدیریت زیستی، استقرار و توسعهٔ میکوریزا افزایش یافت. نتایج برخی آزمایشات (۶۲) نشان داده است که گیاهان ذرت کشت شده در خاک تخریب شده نسبت به آنهایی که در خاک دست نخورده کشت شده بودند کمتر توسط میکوریزا کلونیزه شدند، علاوه براین غلظت فسفر و روی در اندام‌های هوایی آنها کمتر بود.

برخی تحقیقات نشان داده‌اند که بین قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های *Rhizobium* و *Azotobacter* و *Azospirillum* در برخی گیاهان زراعی مانند ذرت، سویا، شبدر، یونجه، بادام زمینی، دال عدس و نخود اثر متقابل مثبت وجود دارد (۸، ۱۲، ۱۶ و ۸۵). استفاده از توانایی باکتری‌های غیر

همزیست تثبیت کنندهٔ نیتروژن از جمله *Azotobacter* و *Azospirillum* در نظام‌های زراعی پایدار، موضوع بسیاری از پژوهش های جدید شده است (۵۵). در آزمایشی ملاحظه شد که تلقیح گیاهان گندم و ذرت با باکتری *Azospirillum* استقرار میکوریزا بر روی آنها را افزایش داد (۵۱). گزارش شده است که تلقیح گونه چمنی(*Cymbopogon parkeri*)، با میکوریزا و باکتری *Azospirillum* قابلیت دسترسی تری‌کلسیم‌فسفات را افزایش داد (۷۴). در آزمایشی مشاهده شد که قرارگیری سلولهای *Azotobacter* داخل میسلیوم‌های یک گونه قارچ میکوریزای اصلاح شده (*Rhizopogon*) باعث تثبیت نیتروژن شد (۳۹).

ذرت جزو پنج گیاه زراعی مهم دنیا می باشد که از قابلیت تولید مادهٔ خشک بالایی برخوردار است. تولید بالای این گیاه، مصرف زیاد نهاده‌ها را نیز به همراه داشته است. مطالعهٔ جنبه‌های مختلف همزیستی قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های غیر همزیست تثبیت کنندهٔ نیتروژن در گیاه ذرت، می تواند اتکاء به نهاده‌های شیمیایی را در این گیاه کاهش دهد، ضمن اینکه در مورد برهمکنش قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن، در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک، مطالعهٔ اندکی صورت گرفته و اطلاعات در این زمینه ناقص است، لذا هدف از اجرای این تحقیق، بررسی جنبه‌های مختلف کاربرد توأم قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های غیرهمزیست تثبیت کنندهٔ نیتروژن بر روی گیاه ذرت و در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۵-۱۳۸۴ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقهٔ شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل چهار نظام زراعی مختلف کشت ذرت، از قرار: ۱- نظام رایج با نهادهٔ زیاد، ۲- نظام رایج با نهادهٔ متوسط، ۳- نظام رایج با نهادهٔ کم و ۴- نظام اکولوژیک، بود. کرت‌های فرعی شامل: ۱- تلقیح با قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*)، ۲- تلقیح با مخلوط باکتری‌های آزوسپیریلوم (*Azospirillum brasilense*) و ازوتوباکتر (*Azotobacter paspali*)، ۳- تلقیح با مخلوط قارچ میکوریزا و باکتری‌های آزوسپیریلوم و ازوتوباکتر و ۴- شاهد (بدون تلقیح) بود. ابعاد هر کرت اصلی ۳×۱۰ متر و هر کرت فرعی ۳×۲/۵ متر بود. کلیهٔ عملیات زراعی و مصرف نهاده‌ها اعم از کاشت، داشت و برداشت، مطابق جدول ۱ برای هر کدام از نظام‌های زراعی و در زمان مناسب و معمول منطقه انجام شد.

عملیات تهیهٔ زمین، کنترل علف‌های هرز، مبارزه با آفات

جدول ۱: میزان نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی لازم در نظام‌های زراعی مختلف.

نهادهٔ مصرفی	نظام‌های زراعی			
	پر نهاده	متوسط نهاده	کم نهاده	اکولوژیک
۱- عملیات خاکورزی (نوبت)				
دفعات شخم	۲	۱	-	-
دفعات دیسک	۳	۳	۳	۱
دفعات لولر	۳	۲	۲	۱
۲- N-P_2O_5-K_2O (کیلوگرم در هکتار)	۲۲۰-۱۵۰-۱۰۰	۱۷۰-۱۰۰-۵۰	۱۲۰-۵۰-۰	-
۳- کود دامی (تن در هکتار)	-	-	-	۶۰
۴- مبارزهٔ شیمیایی با آفات و بیماری‌ها (نوبت)	۲	۱	-	-
۵- مبارزه با علفهای هرز (نوبت)	۳	۲	۱	وجین دستی

و بیماری‌ها، کودهای شیمیایی و دامی در نظام‌های زراعی پرنهاده و کم‌نهاده، به‌ترتیب حداکثر و حداقل عملیات زراعی و نهادهٔ مصرفی که کشاورزان منطقه استفاده می کنند و برای نظام زراعی متوسط‌نهاده، میانگین این دو نظام بکار گرفته شد. در نظام زراعی اکولوژیک، حداقل خاکورزی توسط تراکتور و سایر عملیات مثل وجین علفهای هرز، با نیروی انسانی انجام شد و تنها نهادهٔ مصرفی، کود حیوانی و بذر بود. دو هفته قبل از کاشت، کود دامی (گاوی) کاملاً پوسیده به میزان ۶۰ تن در هکتار به کرت‌های اصلی دارای تیمار نظام زراعی اکولوژیک اضافه شد. مقدار ۶۰ تن در هکتار کود دامی، بر اساس متوسط مقدار نیتروژن و فسفر موجود در کودهای شیمیایی به‌کار رفته در نظام‌های رایج پرنهاده و متوسط نهاده و معادل آنها در کود گاوی مورد استفاده، محاسبه شد. محتوای عناصر غذایی کود دامی، برابر ۲/۰۸، ۰/۵۹ و ۲/۳۶ درصد به‌ترتیب برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بود. مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاس تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک محل انجام آزمایش، به‌ترتیب برابر ۶۱۳، ۳۲ و ۲۲۸ قسمت در میلیون بود. کاشت در تاریخ ۸۵/۲/۱۲ انجام شد. بذر ذرت سینگل کراس ۷۰۴ بلافاصله قبل از کشت (مطابق تیمارهای آزمایش)، با مایهٔ تلقیح قارچ میکوریزا و باکتری‌های آزوسپیریلوم و ازوتوباکتر به روش استاندارد و توصیه شده (۳۸ و ۶۴)، آغشته شد. کشت به‌صورت ردیفی بود و بذور به فاصلهٔ ۲۵ سانتی متر روی ردیف و ۷۵ سانتی متر بین ردیف‌ها قرار گرفتند. در طول دورهٔ رشد، صفات زیر اندازه‌گیری شدند: سرعت فتوسنتز تک برگ توسط دستگاه LC*i*, Leaf Chamber Informations, ADC BioScientific Ltd., Uk، عدد SPAD به‌عنوان شاخصی از میزان کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD 502, Minolta, Japan، سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ Leaf Area Meter, Delta T Devices Ltd., England، مادهٔ خشک و عملکرد ذرت در زمان برداشت. عدد کلروفیل‌متر (قرائت اسپد) از زمان کاکل‌دهی به بعد، با فاصلهٔ هر یک هفته و از روی یک برگ ثابت (برگ زیر کاکل) ثبت شد. برای اندازه گیری سرعت فتوسنتز، سومین برگ از بالای بوته ها انتخاب شد و اندازه گیری در دو مرحلهٔ کاکل‌دهی و پرشدن دانه ها انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش و رسم شکل‌های مربوط به آنها، توسط نرم‌افزارهای MS-Excel Ver.11، Minitab Ver.13 و MSTAT-C صورت گرفت. مقایسهٔ کلیهٔ میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

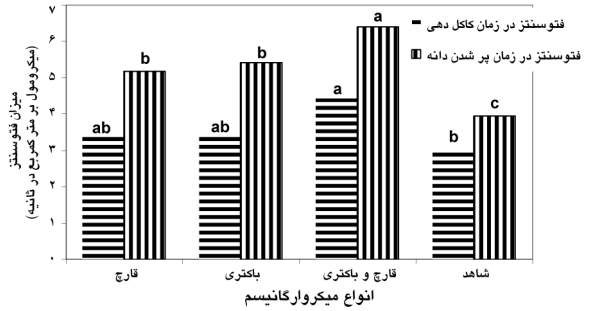
نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های آزمایش، در جدول ۲

جدول ۲: تجزیهٔ واریانس سرعت فتوسنتز، شاخص سطح برگ، مادهٔ خشک، عملکرد دانه و عدد کلروفیل‌متر ذرت.

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	معنی داری آماری				
		سرعت فتوسنتز	شاخص سطح برگ	مادهٔ خشک	عملکرد دانه	قرائت اسپد
بلوک	۲	ns	ns	ns	ns	ns
نظام زراعی (A)	۳	ns	ns	ns	*	ns
خطای اصلی	۶	_	_	_	_	_
انواع میکروارگانیسم(B)	۳	**	ns	*	ns	*
A × B	۹	ns	ns	ns	**	*
خطای فرعی	۲۴	_	_	_	_	_
کل	۴۷	_	_	_	_	_

ns: غیر معنی دار، *: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، **: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱: تغییرات سرعت فتوسنتز ذرت در دو مرحلهٔ رشدی در اثر تلقیح با انواع میکروارگانیسم. در هر مرحله، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

نشان داده شده است.

سرعت فتوسنتز گیاه ذرت در اثر استفاده از انواع میکروارگانیسم‌ها، نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد میکروارگانیسم‌ها) تغییر معنی‌داری نشان داد (شکل ۱). سرعت فتوسنتز گیاه ذرت در تلقیح دو گانهٔ قارچ- باکتری در زمان پر شدن دانه یا تیمارهای تلقیح با باکتری و قارچ به تنهایی، و نیز در زمان کاکل‌دهی با تیمار شاهد، اختلاف معنی‌دار داشت. برخی از محققین افزایش در سرعت فتوسنتز گیاهان میکوریزایی شده را گزارش کرده‌اند (۲۴، ۵۴، ۷۸، ۷۹ و ۸۸). همچنین گزارش‌هایی مبنی بر افزایش سرعت فتوسنتز برخی گیاهان در اثر تلقیح با باکتری‌های آزادزی تثبیت کنندهٔ نیتروژن وجود دارد که همگی می‌توانند مؤید نتایج آزمایش حاضر باشند (۸، ۱۴، ۵۵، ۷۰ و ۸۲).

استرادا و دیویس (۳۱) گزارش کردند که گیاهچه‌های فلفل میکوریزایی شده، سرعت فتوسنتز، محتوای کلروفیل، محتوای NPK، زیست توده برگ و محتوای نسبی آب برگ بیشتری نسبت به گیاهچه‌های غیر میکوریزایی داشتند.

والنتین و همکاران (۹۰) افزایش سرعت فتوسنتز گیاهان میکوریزایی شده در شرایط خشکی را به افزایش وزن مخصوص برگ، فعالیت بیشتر آنزیم رابیسکو و میزان انتقال الکترون نسبت دادند. سانچز دیاز و همکاران (۷۹) گزارش کردند که در همزیستی سه جانبهٔ یونجه- باکتری ریزوبیوم- قارچ میکوریزا (جنس گلوموس)، میزان تبادل کربن[1] و راندمان مصرف فسفر فتوسنتزی[2] در گیاهان میکوریزایی شده به ترتیب ۳۰ و ۵۵ درصد بیشتر از گیاهان یونجهٔ غیر میکوریزایی بود. آنها همچنین فعالیت گره‌ای[3] بیشتری را در گیاهان میکوریزایی شده گزارش کردند و نتیجه گرفتند که همزیستی سه جانبهٔ یونجه- باکتری- قارچ از طریق افزایش فتوسنتز و فعالیت گره ها، تحمل یونجه به خشکی را بهبود می‌بخشد. تاکور و همکاران (۸۸) در تحقیق خود بر روی لوبیای تلقیح شده با باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا (جنس گلوموس) مشاهده کردند که در گیاهانی که بطور دوجانبه تلقیح شده بودند، سطح برگ ۹ درصد، محتوای کلروفیل ۱۱ درصد، فعالیت فتوسنتزی ۲۱ درصد، تعرق ۱۵ درصد و هدایت روزنه‌ای ۱۹ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود. آنها همچنین گزارش کردند که تلقیح، گره‌بندی و فعالیت آنزیم‌های نیتروژناز و نیترات ریداکتاز را افزایش داد.

برخی محققین چنین نتیجه گرفته‌اند که میکوریزا به‌طور مستقیم در افزایش فتوسنتز گیاه میزبان نقش ندارد، بلکه از طریق بهبود روابط آبی در سیستم متشکل از آب- خاک- گیاه و نیز تولید هورمون و تغییر روابط هورمونی، سطح فتوسنتز گیاه میزبان را نسبت به گیاهان شاهد بالاتر نگه می‌دارد (۱۰، ۲۴، ۳۰، ۳۲، ۴۰، ۵۱ و ۹۶).

عده‌ای از محققین معتقدند که میکوریزا باعث افزایش سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ گیاه میزبان می شود و دلیل این امر را افزایش غلظت نیتروژن برگ و به تبع آن افزایش مقدار کلروفیل سیستم فتوسنتزی، افزایش راندمان مصرف فسفر فتوسنتزی، افزایش فعالیت آنزیم‌هایی چون نیترات ریداکتاز، نیتروژناز و گلوتامین سینتتاز در گیاه میزبان می‌دانند (۴، ۶، ۱۱، ۲۰، ۳۱، ۳۲، ۴۰، ۵۱ و ۹۶). بعضی از محققین نیز هر دو فرضیه را مسئول افزایش در فتوسنتز گیاه میزبان معرفی کرده‌اند (۲۴، ۵۴، ۷۸، ۷۹ و ۸۸). در نهایت و

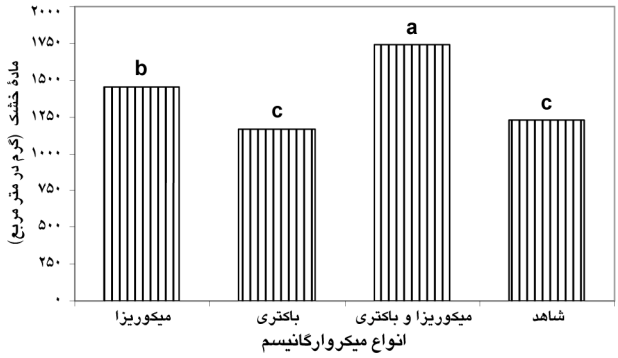
1- CER 2- PPUE 3- Nodule activity

در تعداد اندکی از مطالعات، گزارشاتی مبنی بر عدم تغییر در سرعت فتوسنتز و یا مقدار کلروفیل گیاه میزبان ارائه شده است (۸۲ و ۸۶).

تغییرات شاخص سطح برگ در سطوح مختلف فاکتور اصلی و فرعی معنی‌دار نشد (جدول ۲). گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر اینکه قارچ‌های همزیست میکوریزا سطح برگ را مستقیماً افزایش نمی‌دهند بلکه بر دوام سطح برگ و وزن مخصوص برگ تأثیر می‌گذارند (۹۰ و ۹۵)، با وجود این، تاکور و همکاران (۸۸) گزارش کردند که میکوریزا در گیاه لوبیا باعث ۹/۱ درصد افزایش در سطح برگ شد. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می شود سرعت فتوسنتز گیاه ذرت در مرحلهٔ پرشدن دانه برای کلیهٔ تیمارها، نسبت به مرحلهٔ کاکل‌دهی بالاتر بود، دلیل این امر می تواند ایجاد مخزن جدید (دانه‌ها) و در نتیجه تحریک فتوسنتز باشد. برخی گزارشات (۱۵، ۸۸ و ۹۵) این موضوع را تأیید می کنند.

شکل ۲ تغییرات مادهٔ خشک تولیدی ذرت به ازای کاربرد انواع میکروارگانیسم ها را نشان می دهد. با مقایسهٔ شکل‌های ۱ و ۲ می‌توان دریافت که روند تغییرات در مادهٔ خشک تولید ذرت مشابه روند تغییرات سرعت فتوسنتز آن به ازای کاربرد انواع میکروارگانیسم می باشد. بیشترین مقدار مادهٔ خشک تولیدی همانند بیشترین سرعت فتوسنتز در تلقیح توأم قارچ و باکتری ملاحظه شد.

تقریباً تمامی محققینی که افزایش در سرعت فتوسنتز

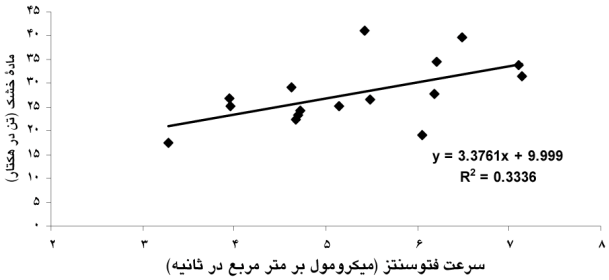


شکل ۲: تغییرات مادهٔ خشک تولیدی ذرت در اثر تلقیح با انواع میکروارگانیسم. میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

گیاهان میکوریزایی شده را گزارش کرده‌اند، به افزایش مادهٔ خشک تولید شده توسط این گیاهان نیز اشاره داشته‌اند (۱۷، ۲۵، ۴۳، ۴۴، ۴۶ و ۸۲).

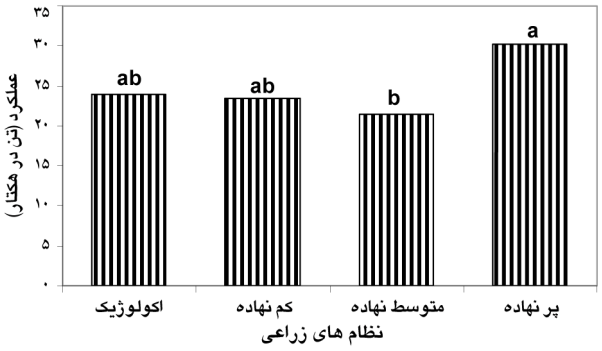
پانوار (۷۰) در تحقیق خود بر روی گندم تلقیح شده با میکوریزا و باکتری آزوسپیریلوم، گزارش کرد که باکتری عمدتاً رشد ریشه را تشدید کرد، در حالیکه قارچ، وزن ریشه و اندام‌های هوایی را افزایش داد. سوبرامانیان و کارست (۸۶) گزارش کردند که زیست‌توده هوایی گیاه ذرت تلقیح شده با میکوریزا (*Glomus intraradices*) افزایش یافت. آنها دلیل این موضوع را بهبود وضعیت عناصر غذایی و در نهایت رشد گیاه دانستند و گزارش کردند که میکوریزا ظهور کاکل و ابریشم ها در گیاه میزبان تحت تنش خشکی را تسریع کرد. استرادا و همکاران (۳۱) نیز افزایش مادهٔ خشک تولیدی فلفل میکوریزایی شده را گزارش کردند. سانچز بلانکو و همکاران (۷۸) گزارش کردند که تحت شرایط خشکی، زیست توده ریشه و اندام‌های هوایی گیاه رزماری میکوریزایی شده در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزایی افزایش یافت. آگوئیلرا گومز و همکاران (۴) نیز افزایش زیست توده ریشه، اندام‌های هوایی و میوه را در گیاهان فلفل میکوریزایی شده با *Glomus intraradices* مشاهده کردند. فنگ و همکاران (۳۳) در تحقیق خود بر روی تأثیر تنش خشکی بر میزان تحمل گیاه ذرت میکوریزایی شده، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی در نتیجهٔ همزیستی با میکوریزا (جنس گلوموس) افزایش یافت. آنها این موضوع را به افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول و مقدار الکترولیت در ریشه‌ها نسبت دادند و آن را ناشی از ظرفیت بالای چنین گیاهانی برای تنظیم اسمزی دانستند.

بررسی رابطهٔ بین سرعت فتوسنتز و مادهٔ خشک تولیدی ذرت، حاکی از وجود همبستگی مثبت و معنی‌داری (r^2=0.33) بین این دو صفت بود (شکل ۳). به‌نظر می‌رسد که در اغلب گیاهان و در شرایط بدون تنش، میزان مادهٔ خشک تولیدی رابطهٔ مستقیمی با سرعت فتوسنتز گیاه داشته



شکل ۳: رابطهٔ بین سرعت فتوسنتز و مادهٔ خشک تولیدی ذرت.

باشد. این موضوع که چه مقدار از مادهٔ خشک تولیدی توسط گیاه صرف تولید عملکرد شود تحت کنترل عوامل متعددی از جمله عوامل ژنتیکی و محیطی قرار دارد (۷۷). در گیاهان میکوریزایی شده، بین ۲۰-۴ درصد از مادهٔ خشک تولید شده توسط گیاه، صرف همزیستی با میکوریزا می شود (۱۵). کوتاماسی و همکاران (۵۶) هزینهٔ همزیستی میکوریزا برای گیاه میزبان را ۲۰-۱۰ درصد از تولیدات فتوسنتزی گزارش کردند. رایت و همکاران (۹۵) گزارش کردند که با وجود افزایش در سرعت فتوسنتز شبدر سفید میکوریزایی شده، هیچگونه مدرکی دال بر افزایش زیست توده این گیاهان وجود نداشت. نامبردگان پیشنهاد کردند که کربن اضافی تثبیت شده توسط گیاهان میکوریزایی شده به قارچ‌های میکوریزا تخصیص می یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسمیلات‌ها، تحریک فتوسنتز گیاه میزبان را سبب می شوند.



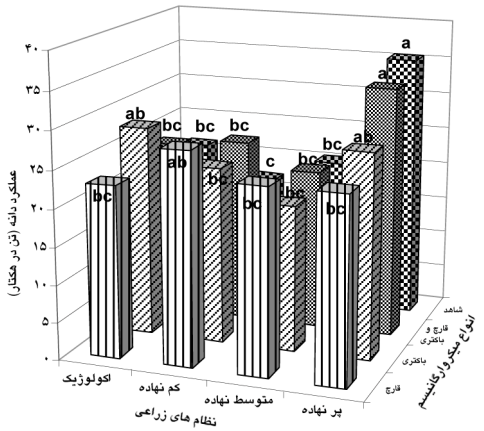
شکل ۴: تغییرات عملکرد دانهٔ ذرت در نظام‌های زراعی مختلف.
میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

در تحقیق حاضر، علیرغم تفاوت در مقادیر مادهٔ خشک تولیدی ذرت در اثر کاربرد انواع میکروارگانیسم‌ها، مقدار عملکرد به ازای انواع میکروارگانیسم تفاوت معنی‌داری نداشت و تنها برای نظام‌های زراعی، مقدار عملکرد دانه متفاوت بود (شکل ۴). عده‌ای از محققین بیان کرده‌اند که میکوریزا در تخفیف شرایط سخت محیطی بویژه تنش خشکی، شوری و تنش ناشی از فلزات سنگین و آلاینده‌های محیطی و حفاظت از گیاه میزبان در برابر عوامل بیماری‌زای خاکزی نقش دارد (۱۵، ۲۳، ۵۷ و ۷۳). کوتاماسی و همکاران (۵۶) گزارش کردند که همزیستی میکوریزایی یک استراتژی برتر رقابتی برای گیاه میزبان فراهم می آورد. با وجود این، در برخی موارد، میکوریزا باعث افزایش عملکرد گیاه میزبان نیز شده است، به عنوان مثال آزکون و همکاران (۱۱) گزارش کردند که تلقیح گیاهچه‌های کاهو با میکوریزا باعث افزایش عملکرد شد. آگوئیلرا گومز و همکاران (۴) نیز افزایش زیست‌توده میوهٔ فلفل میکوریزایی شده نسبت به شاهد را گزارش کردند. کایا و همکاران (۵۴) عملکرد بیشتر میوه در هندوانهٔ میکوریزایی شده را گزارش کردند. آنها دلیل این امر را افزایش راندمان مصرف آب و بهبود وضعیت عناصر غذایی گیاه ذکر کردند. سوبرامانیان و همکاران (۸۶) گزارش کردند که در گیاه ذرت تلقیح شده با میکوریزا (*Glomus intraradices*) عملکرد دانه افزایش یافته و محتوای NPK، Mg، Mn و Zn در دانهٔ این گیاهان نسبت به شاهد بیشتر بود. بادی و همکاران (۱۷) گزارش کردند که در نتیجهٔ تلقیح گندم با باکتری *Azospirillum brasilense* عملکرد دانه و محتوای نیتروژن افزایش یافت.

همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می شود اختلاف عملکرد در نظام پرنهاده با نظام‌های کم‌نهاده و اکولوژیک معنی‌دار نبود و تنها با نظام متوسط‌نهاده تفاوت معنی‌دار داشت. برخی از محققین گزارش کرده‌اند که نظام‌های اکولوژیک و بویژه نظام‌های زیستی، نه تنها عملکردی کمتر از نظام‌های رایج و پرنهاده ندارند بلکه در بعضی موارد عملکرد آنها از این‌گونه نظام‌ها نیز بیشتر است، به عنوان مثال

زارع فیض‌آبادی و کوچکی (۱) به نقل از ژنفنگ گزارش کردند که عملکرد توت‌فرنگی در نظام زیستی نسبت به نظام رایج، ۲۸ درصد بیشتر بود، همچنین عملکرد غیر مستقیم نظام‌های اکولوژیک در طولانی‌مدت، بسیار بیشتر از نظام‌های رایج و پرنهاده می باشد (۶۱، ۶۵، ۶۶، ۶۸، ۷۱ و ۷۲). زارع فیض‌آبادی و کوچکی (۱) با بررسی جنبه‌های اقتصادی نظام‌های زراعی متداول و اکولوژیک در تناوبهای مختلف گندم با گندم، ذرت و چغندر قند، نتیجه گرفتند که درآمد خالص نظام زراعی زیستی و کم‌نهاده نسبت به نظام زراعی پرنهاده به ترتیب ۳۱ و ۲۷ درصد کمتر بود، ولی کارآیی اقتصادی نظام زراعی کم‌نهاده ۱۸ درصد بیش از نظام زراعی پرنهاده بود و نظام زیستی از این نظر با نظام زراعی پرنهاده تفاوتی نشان نداد. پیمنتل و همکاران (۷۲) ضمن مقایسهٔ نظام‌های زراعی رایج و زیستی، گزارش کردند که نظام‌های زیستی از جنبه های زیست‌محیطی، اقتصادی و کارایی انرژی، نسبت به نظام‌های رایج برتری دارند. علیمرادی و همکاران (۲) گزارش کردند که در نظام زیستی و متوسط نهاده، تراکم علفهای هرز در بالاترین سطح قرار داشت و با نظام‌های تلفیقی، کم‌نهاده و پرنهاده اختلاف معنی داری داشت و پس از آن نظام‌های تلفیقی و کم‌نهاده در مرتبهٔ دوم قرار داشتند، همچنین کمترین تراکم علفهای هرز را نظام پرنهاده به خود اختصاص داد. علیمرادی و همکاران (۲) به نقل از باربری گزارش کردند که نظام‌های زیستی بیشترین تنوع جمعیت علفهای هرز را داشتند. به‌نظر می‌رسد که سیستم شخم و سایر عملیات خاکورزی بکار رفته در نظام‌های مختلف، از جمله مهم‌ترین عواملی باشند که در پراکنش و فراوانی علفهای هرز تأثیر می‌گذارند (۲۹ و ۶۶)، لذا شاید بتوان کاهش نسبی عملکرد در نظام‌های اکولوژیک و کم‌نهاده را در بعضی موارد، به موضوع اخیر نسبت داد.

اثر متقابل نظام‌های زراعی و انواع میکروارگانیسم‌ها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (شکل ۵)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه در نظام‌های اکولوژیک، کم‌نهاده و پرنهاده حاصل شد، همچنین بیشترین مقدار عملکرد به ازای تلقیح



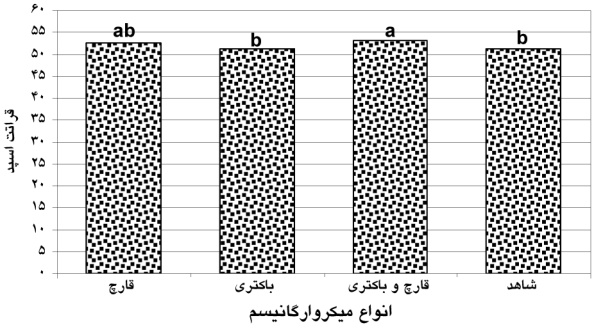
شکل ۵ : اثر متقابل نظام‌های زراعی و انواع میکروارگانیسم بر عملکرد دانهٔ ذرت. میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

میکوریزا در نظام کم‌نهاده و بیشترین مقدار عملکرد برای تلقیح باکتریایی در نظام اکولوژیک بدست آمد.

بسیاری از تحقیقات انجام شده در رابطه با نظام‌های اکولوژیک، بر تنوع و فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها در اینگونه نظام‌ها اشاره و تأکید دارند (۳۴، ۴۲، ۵۰، ۶۱، ۶۷ و۷۲). بیشترین مقدار عملکرد در تلقیح دوگانهٔ قارچ و باکتری و نیز تیمار شاهد (عدم تلقیح) در نظام پرنهاده به‌دست آمد. بسیاری از محققین معتقدند که مصرف بی‌رویهٔ نهاده در نظام‌های رایج، علیرغم افزایش عملکرد در کوتاه‌مدت، باعث نابودی تنوع میکروارگانیسم‌ها، روابط پیچیدهٔ طبیعی و کارکرد آنها شده، سیستم را ساده و یکدست کرده و در نهایت ناپایداری اینگونه نظام‌ها را در پی‌داشته است (۴۱، ۴۳، ۵۵ و ۶۹).

شکل ۶ تغییرات عدد کلروفیل‌متر در گیاه ذرت در اثر استفاده از انواع میکروارگانیسم را نشان می دهد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود تلقیح دوجانبه، بیشترین عدد کلروفیل‌متر را به خود اختصاص داد. با مقایسهٔ میانگین‌های مربوط به تلقیح با باکتری تنها، تلقیح با قارچ تنها و تلقیح دوجانبه، به نظر می‌رسد که علت اصلی افزایش عدد کلروفیل‌متر، عامل قارچی بوده است.

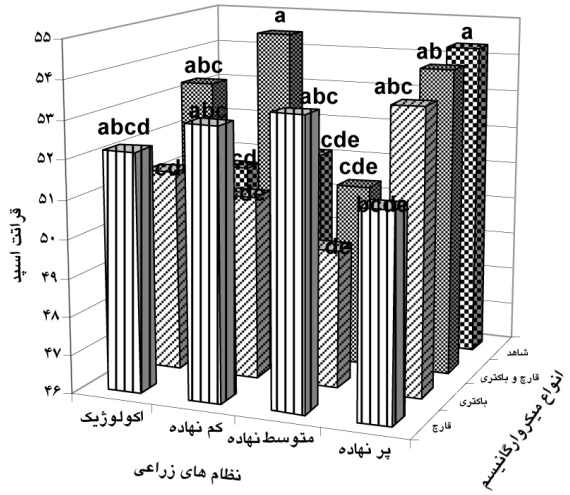
لوچه تساندییر و همکاران (۶۰) گزارش کردند که در گیاه سیب زمینی میکوریزایی شده با قارچ *Glomus*



شکل ۶: تغییرات قرائت اسپد ذرت در اثر تلقیح با انواع میکروارگانیسم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

intraradices، محتوای کلروفیل و کارتنوئید نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی بالاتر بود. استرادا و همکاران (۳۱) در تحقیق خود بر روی گیاهچه‌های فلفل میکوریزایی شده، دریافتند که کلروفیل برگ این گیاهان افزایش یافت. تاکور و همکاران (۸۸) گزارش کردند که گیاهان لوبیای همزیست با میکوریزا و ریزوبیوم، ۱۱/۴ درصد کلروفیل بیشتر نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشتند. سانچز بلانکو و همکاران (۷۸) نیز بیان کردند که گیاهان رزماری تحت شرایط تنش خشکی، محتوای کلروفیل بالاتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشتند.

صالحی و همکاران (۳) بین درصد نیتروژن برگ و عدد کلروفیل‌متر، همبستگی بالایی (r=0.91) را گزارش کردند. براون و همکاران (۲۰) در تحقیق خود بر روی همزیستی سه جانبهٔ سویا- برادی ریزوبیوم- گلوموس دریافتند که گیاهان سویای میکوریزایی شده، غلظت نیتروژن بالاتری نسبت به گیاهان سویای غیرمیکوریزایی داشتند. کاپولنیک و همکاران (۵۳) گزارش کردند که تلقیح گندم، سورگوم و ارزن با باکتری آزوسپریلوم کل محتوای نیتروژن گیاه، وزن کل ریشه و اندام هوایی را افزایش داده و باعث تسریع در گل‌دهی و خوشه‌دهی گیاهان آلوده شد. پانوار و همکاران (۷۰) گزارش کردند که غلظت کلروفیل در گندم تلقیح شده با میکوریزا و باکتری آزوسپریلوم نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. برخی از محققین افزایش در میزان کلروفیل گیاهان میکوریزایی شده را به افزایش جذب نیتروژن توسط سیستم میکوریزایی نسبت داده‌اند، به عنوان مثال سوبرامانیان و کارست (۸۷) گزارش کردند که پروتئین های محلول و کل محتوای نیتروژن در گیاهان ذرت میکوریزایی شده نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی، در شرایط خشکی بالاتر بود. آنها چنین عنوان کردند که ارتقاء فعالیت آنزیم‌های تثبیت نیتروژن و ترکیبات نیتروژنه در ذرت می‌تواند حاکی از انتقال NO_3 از طریق هیف‌های اکسترارادیکال میکوریزا باشد. همچنین گزارش شده است که باکتری‌های آزادزی تثبیت کنندهٔ نیتروژن، محتوای نیتروژن قابل استفاده برای گیاه در خاک را افزایش می‌دهند (۵۵). واس و همکاران (۹۳) ارتباط قوی را بین غلظت نیتروژن برگ و ظرفیت فتوسنتزی ذرت گزارش کردند. نامبردگان عنوان کردند که راندمان مصرف نور نیز به محدودیت نیتروژن، بیش از توسعهٔ سطح برگ و نور دریافتی، حساس است. بیشترین عدد کلروفیل‌متر در تلقیح دوجانبهٔ قارچ و باکتری در نظام‌های اکولوژیک، کم‌نهاده و پرنهاده بدست آمد (شکل ۷). تلقیح قارچی به‌جز در نظام پرنهاده، بالاترین مقادیر عدد کلروفیل‌متر را در نظام‌های اکولوژیک، کم‌نهاده و متوسط‌نهاده به خود اختصاص داد. تلقیح باکتریایی فقط در نظام پرنهاده، عدد کلروفیل‌متر بالایی را همسان با تلقیح



شکل ۷: اثر متقابل نظام‌های زراعی و انواع میکروارگانیسم بر قرائت اسپد در گیاه ذرت. میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

قارچی به خود اختصاص داد. به‌طورکلی بیشترین مقادیر عدد کلروفیل‌متر در درجهٔ اول مربوط به تلقیح دوگانهٔ قارچ- باکتری و سپس مربوط به تلقیح قارچی بود (شکل ۷)، به‌عبارت دیگر به‌نظر می‌رسد تلقیح باکتریایی در افزایش محتوای کلروفیل و به تبع آن عدد کلروفیل‌متر، کمتر نقش داشته است. این موضوع با گزارشات برخی محققین هم‌خوانی دارد، به عنوان مثال، شابائف و همکاران (۸۲) گزارش کردند که تلقیح دوجانبهٔ سویا با باکتری *Bradyrhizobium japonicum* و پزودوموناس یا قارچ میکوریزا، تثبیت نیتروژن را به ترتیب ۳۰-۲۲ درصد و ۱۷-۱۴ درصد در مقایسه با تلقیح با باکتری به تنهایی، افزایش داد. آنها افزایش در تثبیت نیتروژن در نتیجهٔ تلقیح دوجانبهٔ سویا را به تحریک گره‌بندی و نیز تحریک تولید هورمون‌های رشد نسبت دادند. پاکووسکی (۶۹) گزارش کرد که تلقیح توأم سورگوم با آزوسپریلوم و میکوریزا *(Glomus fasciculatum)* محتوای نیتروژن گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش داد. برخی مطالعات حاکی از آن است که همزیستی قارچ، متابولیسم‌های گیاهی را از طریق کیفیت و کمیت مواد دفع شده از ریشه تغییر می‌دهد که این موضوع بر توانایی باکتری‌ها بر تولید و آزاد سازی تنظیم کننده‌های رشد گیاهی تأثیر می گذارد (۸، ۲۵، ۴۷ و ۶۹). روسو و همکاران (۷۵) گزارش کردند که تلقیح گندم و ذرت با باکتری آزوسپریلوم، توانایی گیاه را برای ایجاد همزیستی با میکوریزا افزایش داد. این حقیقت که باکتری آزوسپیریلوم و سایر باکتری‌های همزیست با ریشه، هورمون‌های رشد را تولید کرده و در نتیجه باعث افزایش رشد و تکثیر ریشه می‌شوند، پاسخ این سؤال را مبهم می کند که آیا فایدهٔ همزیستی به علت تثبیت نیتروژن می باشد یا به دلیل افزایش رشد ریشه و در نتیجهٔ آن جذب بیشتر مواد غذایی. پاره‌ای از تحقیقات اخیر نشان داده اند که تأثیر هورمون ها، احتمالاً نخستین محرک می باشد (۱۶، ۴۷ و ۷۵). آلبرشت (۵) آزمایشاتی را بر روی فعالیت آنزیم نیتروژناز باکتری آزوسپیریلوم بر روی ریشه‌های ایزوله شده ذرت، با استفاده از روش احیاء استیلن انجام داد. در ۵۰ درصد آزمایشات مزرعه‌ای، انجام تلقیح وزن خشک گیاه و محتوای نیتروژن را افزایش داد. او مقدار نیتروژن تثبیت شده در اثر تلقیح با باکتری آزوسپیریلوم را در حدود ۱۵ کیلوگرم در هکتار گزارش کرد و اشاره داشت که منافع این عمل (تلقیح) در رابطه با عملکرد و میزان نیتروژن گیاه قابل توجه نبوده است. در استرالیا و در خاک‌های با نیتروژن کم، هنگامی که گیاه دیجیتاریا با باکتری آزوسپیریلوم تلقیح شد، افزایشی به میزان ۲۳ درصد در مادهٔ خشک و کل مقدار نیتروژن گیاه مشاهده شد (۸۱)، این افزایش در خاک‌های با نیتروژن بالا حدود ۸/۵ درصد بوده است.

به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که ترکیب نظام‌های کم‌نهاده و اکولوژیک و تلقیح توأم میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت کنندهٔ نیتروژن، می تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و نظام‌های پرنهاده باشد. استفاده از کودهای زیستی در مقایسه با کودهای شیمیایی شاید در کوتاه مدت باعث افزایش چشمگیر عملکرد نشوند ولی در عوض پایداری و ثبات عملکرد نظام‌های زراعی را در پی خواهند داشت. تأیید نتایج این تحقیق، نیازمند تکرار در طول زمان است.

منابع

۱- زارع فیض‌آبادی، ا.، و ع. کوچکی. ۱۳۷۹. بررسی جنبه‌های اقتصادی نظام‌های زراعی متداول و اکولوژیک در تناوبهای مختلف گندم با گندم، ذرت و چغندر قند. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۱۴ (۱): ۲۹-۳۷.

۲- علیمرادی، ل.، ع. کوچکی، م. نصیری محلاتی و ا. زارع فیض‌آبادی. ۱۳۸۲. ارزیابی پویایی جمعیت علفهای هرز در نظام‌های زراعی متداول و اکولوژیک در تناوبهای زراعی مختلف. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۱۸ (۲): ۷۹-۸۹.

۳- صالحی، م.، ع. کوچکی و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۳. میزان نیتروژن و کلروفیل برگ به عنوان شاخصی از تنش شوری در گندم. مجله پژوهشهای زراعی ایران. ۲ (۱): ۲۵-۳۳.

4- Aguilera-Gomez, L., F. T. Davies, V. Olalde-Portugal, S. A. Duray and L. Phavaphutanon. 1999. Influence of phosphorus and endomycorrhiza (*Glomus intraradices*) on gas exchange and plant growth of chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. cv. San Luis). Photosynthetica. 36: 441-449.

5- Albrecht, S. L., Y. Okon, J. Lonquist and R. H. Burris. 1981b. Nitrogen fixation by corn-*Azospirillum* associations in a temperate climate. Crop Sci. 21: 301-306.

6- Al-Karaki, G, N., and R. Hammad. 2001. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. J. Plant Nutr. 24 (8): 1311-1323.

7- Andre, S., A. Galiana, C. Le Roux, Y. Prin, M. Neyra and R. Duponnois. 2004. Ectomycorrhizal symbiosis enhanced the efficiency of inoculation with two *Bradyrhizobium* strains and *Acacia holosericea* growth. Mycorrhiza. 15 (5): 357-364.

8- Antunes, P. M., D. Deaville and M. J. Goss. 2005. Effect of two AMF life strategies on the tripartite symbiosis with *Bradyrhizobium japonicum* and soybean. Mycorrhiza. Issue: Online First, Published online: 16 December 2005.

9- Arnau, G., P. Monneveux, D. This and L. Alegre. 1997. Photosynthesis of six barley genotypes as affected by water stress. Photosynthetica. 34 (1): 67-76.

10- Auge R. M. 2000. Stomatal behavior of arbuscular mycorrhizal plants. In: Kapulnik Y., D. D. Douds. (eds.). Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. pp. 201-237. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. ISBN 0-7923-6444-9. Available online at: www.utk.edu

11- Azcon, R., E. Ambrosano and C. Charest. 2003. Nutrient acquisition in mycorrhizal lettuce plants under different phosphorus and nitrogen concentration. Plant Sci. 165 (5): 1137-1145.

12- Barea, J. M., R. Azcon and C. Azcon-Aguilar. 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. Antonie van Leeuwenhoek. 81: 343–351. Kluwer Academic Publishers.

13- Bethlenfalavy, G. J., R. P. Schreiner, K. L. Mihara and H. McDaniel. 1996. Mycorrhizae, biocides, and biocontrol. 2. Mycorrhizal fungi enhance weed control and crop growth in a soybean-cocklebur association treated with the herbicide bentazon. App. Soil Ecol. 3 (3): 205-214.

14- Bethlenfalvay G.J., M.S. Brown and R. Franson. 1990. Glycine-Glomus-Rhizobium symbiosis. X. Relationships between leaf gas exchange and plant and soil water status in nodulated, mycorrhizal soybean under drought stress. Plant Physiol. 94: 723-728

15- Bhoopander G., P. Huong Giang, R. Kumari, R. Prasad, M. Sachdev, A. P. Garg, R. Oelmuller and A.t Varma. 2005. Mycorrhizosphere: Strategies and Functions. Soil Biology Book Series, Vol. 3. Springer Berlin Heidelberg.

16- Biro, B., K. Koves-Pechy, I. Voros, T. Takacs, P. Eggenberger and R. J. Strasser. 2000. Interrelations between *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers and arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of alfalfa in sterile, AMF-free or normal soil conditions. App. Soil Ecol. 15 (12): 159-168.

17- Boddey, R. M., V. L. D. Baldani, J. I. Baldani and J. Dobereiner. 1986. Effect of inoculation of *Azospirillum* spp. On nitrogen accumulation by field-grown wheat. Plant and Soil. 95 (1): 109-121.

18- Borie, F., Y. Redel, R. Rubio, J. L. Rouanet and J.M. Barea. 2002. Interactions between crop residues application and mycorrhizal developments and some soil-root interface properties and mineral acquisition by plants in an acidic soil. Biol. Fertil. Soils. 36:151–160.

19- Bradley, R., A. J. Burt and D. J. Read. 1981. Mycorrhizal infection and resistance to heavy metal toxicity in *Calluna vulgaris*. Nature. 229: 335-337.

20- Brown M. S., S. Thamsurakul and G. J. Bethlenfalvay. 1988. The *Glycine-Glomus-Bradyrhizobium* symbiosis. VIII. Phosphorus-use efficiency of CO2 and N2 fixation in mycorrhizal soybean. Physiol. Plantarum 74: 159-163.

21- Cardoso, Irene M., T. W. Kuyper. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agric. Ecosys. Environ. 116: 72-84.

22- Celik, I., I. Ortas and S. Kilic. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. 2004. Soil and Tillage Research. 78 (1): 59-67.

23- Cho, K., H. Toler, J. Lee, B. Ownley, J. C. Stutz, J. L. Moore and R. M. Auge. 2006. Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses. J. Plant Physiol. 163 (5): 517-528.

24- Davies, F. T., J. Potter and R. G. Linderman. 1993. Drought resistance of mycorrhizal pepper plants independent of leaf P-concentration - response in gas exchange and water relations. J. Plant Physiol. 87:45-53.

25- Dodd, J. 2000. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro-natural ecosystems. Outlook on Agric. 29 (1): 63-70.

26- Douds Jr, D. D., and P. D. Millner. 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. Agric. Ecosys. Environ. 74: 77-93.

27- Douds, D. D., R. R. Janke and S. E. Peters. 1993. VAM fungus spore populations and colonization of roots of

maize and soybean under conventional and low-input sustainable agriculture. Agric. Ecosyst. Environ. 43 (3-4): 325-335.
28- Douds, D. D. Jr., G. Nagahashi, P. E. Pfeffer, W. M. Kayser and C. Reider. 2004. On-farm production of arbuscular mycorrhizal fungus inoculum. Available online at: http://article.pubs.nrc-cnrc.gc.ca/ppv/RPViewDoc?_handler_=HandleInitialGet&journal=cjps&volume=85&articleFile=P03-168.pdf
29- Douds, D. D., L. Galvez, R. R. Janke and P. Wagoner. 1995. Effect of tillage and farming system upon populations and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi. Agric. Ecosys. Environ. 52 (2): 111-118.
30- Druge, U., and F. Schonbeck. 1992. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on transpiration, photosynthesis and growth of flax (*Linum usitatissimum* L.) in relation to cytokinin levels. J. Plant Physiol. 141:40-48.
31- Estrada-Luna A., and A. Davies. 2003. Arbuscular Mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capscum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization. J. Plant Physiol. 160: 1073-1083.
32- Fay, P., D. T. Mitchell and B. A. Osborne. 1996. Photosynthesis and nutrient-use efficiency of barley in response to low arbuscular mycorrhizal colonization and addition of phosphorus. New Phytologist. 132 (3): 425-433.
33- Feng, G., F. S. Zhang, X. L. Li, C. Y. Tian, C. Tang and Z. Rengel. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza. 12: 185-190.
34- Fliessbach, A., and P. Mader. 2004. Productivity, Soil Fertility and Biodiversity in Organic Agriculture. Available online at: http:// orgprints.org/7682/01/Fliessbach-et-al_Dok-trial.doc
35- Galvez, L., D. D. Douds, P. Wagoner, L. R. Longnecker, L. E. Drinkwater and R. R. Janker. 1995. An overwintering cover crop increase inoculum of VAM fungi in agricultural soil. Am. J. Alter. Agric. 10 (4): 152-156.
36- Galvez, L., D. D. Douds Jr, L. E. Drinkwater and P. Wagoner. 2001. Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas and nutrient uptake of maize. Plant and Soil. 228 (2): 299-308.
37- Germida, J. J., and F. L. Walley. 1996. Plant growth-promoting rhizobacteria alter rooting patterns and arbuscular mycorrhizal fungi colonization of field-grown spring wheat. Biol. Fertil. Soil. 23 (2): 113-120.
38- Gianinazzi, S., and M. Vosatka. 2004. Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. Can. J. Bot. 82: 1264–1271.
39- Giles, K. L., and H. Whitehead. 1977. The localisation of introduced *Azotobacter* cells within the mycelium of a modified mycorrhiza (*Rhizopogon*) capable of nitrogen fixation. Plant Science Letters. 10 (4): 367-372.
40- Goicoechea, N., M. C. Antolin, M. SanchezDiaz. 1997. Gas exchange is related to the hormone balance in mycorrhizal or nitrogen-fixing alfalfa subjected to drought. Physiol. Plantarum. 100: 989-997.
41- Golner, M., J. Friedel and B. Freyer. 2005. Arbuscular Mycorrhiza of winter wheat under different duration of organic farming. In: Proceeding of the conference “Researching Sustainable Systems”. Adelaide, Australia, 2005.
42- Gosling, P., A. Hodge, G. Goodlass and G. D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhiza fungi and organic farming. Agric. Ecosys. Environ. 113: 17-35.
43- Gryndler, M., J. Larsen, H. Hrselova, V. Rezacova, H. Gryndlerova and J. Kubat. 2006. Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment. Mycorrhiza. 16 (3): 159-166.
44- Gryndler, M., H. Hrselova, M. Vosatka, J. Votruba and J. Klir. 2001. Organic fertilization changes the response of mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi and their sporulation to mineral NPK supply. Folia Microbiologica. 46 (6): 540-542.
45- Gryndler, M., H. Hrselova, R. Sudova, H. Gryndlerova, V. Rezacova and V. Merhautova. 2005. Hyphal growth and mycorrhiza formation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum* BEG 23 is stimulated by humic substances. Mycorrhiza. 15 (7): 483-488.
46- Guidi, L., G. Lorefice, A. Pardossi, F. Malorgio, F. Tognoni and G. F. Soldatini. 1997. Growth and photosynthesis of *Lycopersicon esculentum* L. plants as affected by nitrogen deficiency. Biol. Plantarum. 40 (2): 235-244.
47- Gupta Sood, S. 2003. Chemotactic response of plant-growth-promoting bacteria towards roots of vesicular-arbuscular mycorrhizal tomato plants. FEMS Microbiol. Ecol. 45 (3): 219-227.
48- Harrier, L. A., and C. A. Watson. 2004. The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. Pest Manag. Sci. 60 (2): 149-157.
49- Hodge, A., C. D. Campbell and A. H. Fitter. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. Nature. 413: 297-299.
50- Hole, D. G., A. J. Perkins, J. D. Wilson. I. H. Alexander, P. V. Grice and A. D. Evans. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? Biol. Conserv. 122 (1): 113-130.

51- Ibrahim M. A., W. F. Campbell, L. A. Rupp and E. B. Allen. 1990. Effects of mycorrhizae on sorghum growth, photosynthesis, and stomatal conductance under drought conditions. Arid Soil Res. Rehabil. 4: 99-107.
52- Jeffries, P., S. Gianinazi, S. Perotto, K. Turnau and J. M. Barea. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Biol. Fertil. Soils. 37: 1–16.
53- Kapulnik, Y., J. Kigel, Y. Okon, I. Nur and Y. Henis. 1981. Effect of *Azospirillum* inoculation on some growth parameters and N content of wheat, sorghum and panicum. Plant and Soil. 61 (1-2): 65-70.
54- Kaya, C., D. Higgs, H. Kirnak, and I. Tas. 2003. Mycorrhizal colonisation improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) grown under well-watered and water-stressed conditions. Plant and Soil. 253: 287-292.
55- Kennedy, I. R., A. T. M. A. Choudhury and M. L. Kecskes. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biol. Bioch. 36 (8): 1229-1244
56- Kothamasi, D., R. C. Kuhad and C. R. Babu. 2001. Arbuscular mycorrhizae in plant survival strategies. Trop. Ecol. 42 (1): 1-13.
57- Linderman, R. 2006. Biocontrol in the mycorrhizosphere. In: Proceeding of the International Workshop on Implementation of Biocontrol in Practice in Temperate Regions- Present and Near Future. Denmark.
58- Long, S. P. 1989. Gas exchange of plants in the field. In: Grubb, P. J., and J. B. Whittaker. (Eds.). In Toward a More Exact Ecology. 30th Symposium of the British Ecological Society. Blackwell, Oxford, 33-92.
59- Lotter, D. W. 2003. Organic Agriculture. J. Sustain. Agric. 21 (4): 59-128.
60- Louche-Tessandier, D., G. Samson, C. Hernandez-Sebastia, P. Chagvardieff and Y. Desjardins. 1999. Importance of light and CO2 on the effects of endomycorrhizal colonization on growth and photosynthesis of potato plantlets (*Solanum tuberosum*) in an in vitro tripartite system. New Phytol. 142: 539-550.
61- Mader, P., S. Edenhofer, T. Boller, A. Wiemken and U. Niggli. 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. Biol. Fertil. Soil. 31 (2): 150-156.
62- Miller, M. H. 2000. Arbuscular mycorrhiza and phosohorus nutrition of maize; A review of Guelph studies con. J. Plant Sci. 80: 47-52.
63- Morone, I., C. Ruta, A. Tagarelli, V. Marzi. 2005. The influence of mineral and organic fertilization on the survival of mycorrhiza in artichoke roots. Acta Horticulturae. 660: 64-71. Available online at: http://www.actahort.org/members/showpdf?booknrarnr=660-64
64- Mukerji, K. G., C. Manoharachary and B. P. Chamola. 2002. Techniques in Mycorrhizal studies. Springer Microbiology book, Berlin. http://www.springerlink.com
65- Naguyan, M. L., and R. J. Haynes. 1995. Energy and labour efficiency for three pairs of conventional and alternative mixed cropping (pasture-arable) farms in Canterbury. New Zealand. Agric. Ecosys. Environ. 52: 163-172.
66- Oehl, F., E. Sieverding, P. Mader, D. Dubois, K. Ineichen, T. Boller and A. Wiemken. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. Oecologia. 138 (4): 574-583.
67- Ozaki, A., F. W. Rayns, P. Gosling, G. D. Bending and M. K. Turner. 2004. Does organic farming favour arbuscular mycorrhizal fungi? Available online at: http://www.hdra.org.uk/organicveg/downloads/580zaki%20cd.pdf
68- Pacini, C., A. Wossink, G. Giesen, G. Vazzanz and R. Huirne. 2003. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. Agric. Ecosys. Environ. 95 (1): 273-288.
69- Pacovsky, R. S. 1988. Influence of inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Glomus fasciculatum* on sorghum nutrition. Plant and Soil. 110 (2): 283-287.
70- Panwar J. D. S. 1991. Effect of VAM and *Azospirillum brasilense* on photosynthesis, nitrogen metabolism and grain yield in wheat. Ind. J. Plant Physiol. 34 (4): 357-361.
71- Pimentel, D. 2005. Organic and conventional farming systems: environmental and economics issues. Available online at: http://dspace.library.cornell.edu/bitstream/1813/2101/1/pimentel-report-05-1.pdf
72- Pimentel, D., P. Hepperly, J. Hanson, D. Douds and R. Seidel. 2005. Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems. BioScience. 55 (7): 573–582.
73- Pinior A., G. Grunewaldt-Stocker, H. von Alten and R. J. Strasser. 2005. Mycorrhizal impact on drought stress tolerance of rose plants probed by chlorophyll a fluorescence, proline content and visual scoring. Mycorrhiza. 15 (8): 596-605.
74- Ratti, N., S. Kumar, H. N. Verma and S. P. Gautam. 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. motia by rhizobacteria, AMF and *Azospirillum* inoculation. Microbiol. Res. 156 (2): 145-149

75- Russo A., C. Felici, A. Toffanin, M. Gotz, C. Collados, J .Miguel Barea, Y. Moenne-Loccoz, K. Smalla, J . Vanderleyden and M. Nuti. 2005. Effect of *Azospirillu*m inoculants on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. Biol. Fertil. Soils. 41 (5): 301-309.
76- Ryan, M. H., and J. H. Graham. 2002. Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? Plant and Soil. 244: 263–271.
77- Safir, G. R. 1987. Ecophysiology of VA Mycorrhizal plants. CRC Press.
78- Sanchez-Blanco, M. J., T. Ferrandez, M. A. Morales, A. Morte and J. J. Alarcon. 2004. Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. J. Plant Physiol. 161: 675-682
79- Sanchez-diaz M, Pardo M, Antolin M, Pena J, Aguirreolea J. 1990. Effect of water stress on photosynthetic activity in the *Medicago-Rhizobium-Glomus* symbiosis. Plant Sci. 71: 215-221.
80- Sbrana, C., and M. Giovannetti. 2005. Chemotropism in the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. Mycorrhiza. 15 (7): 539-545.
81- Schank, S. C., K. L. Weier and I. C. MacRae. 1981. Plant yield and nitrogen content of a digitaria in response to *Azospirillum* inoculation. Appl. Environ. Microbiol. 41 (2): 342-345.
82- Shabaev V. P., V. Yu. Smolin and V. A. Mudrik. 1995. CO2 exchange in soybean plants and symbiotic nitrogen fixation upon joint inoculation with nodule bacteria and either rhizosphere pseudomonads or endomycorrhizal fungi. Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 22: (6): 576-583. Translated from Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk, Seriya Biologicheskaya.. 6: 693-701.
83- Stejskalova, H. 1990. The role of mycorrhizal infection in weed-crop interaction. Agric. Ecosys. Environ. 29 (1-4): 415-419.
84- Strack, D., T. Fester, B. Hause, W. Schliemann and M. H. Walter. Arbuscular Mycorrhiza: Biological, Chemical, and Molecular Aspects. 2003. J. Chem. Ecol. 29 (9): 1955-1979.
85- Subba Rao, N. S., K. V. B. R. Tilak and C. S. Singh. 1985. Synergistic effect of vesicular-arbuscular mycorrhizas and *Azospirillum brasilense* on the growth of barley in pots. Soil Biol. Biochem. 17 (1): 119-121.
86- Subramanian, K. S., and C. Charest. 1997. Nutritional, growth, and reproductive responses of maize (*Zea mays* L.) to arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasselling. Mycorrhiza. 7 (1): 25-32
87- Subramanian, K. S., and C. Charest. 1998. Arbuscular mycorrhizae and nitrogen assimilation in maize after drought and recovery. Physiol. Plantarum. 102 (2): 285-296.
88- Thakur, A. K., and J. D. S. Panwar. 1997. Response of Rhizobium-vesicular arbuscular mycorrhizal symbionts on photosynthesis, nitrogen metabolism and sucrose translocation in greengram (*Phaseolus radiatus*). Ind. J. Agric. Sci. 67 (6): 245-248.
89- Trent, J. D., T. J. Svejcar and R. R. Blank. 1994. Mycorrhizal colonization, hyphal lengths, and soil moisture associated with two *Artemisia tridentata* subspecies. Great Basin Naturalist. 54 (4): 291-300.
90- Valentine, A. J., P. E. Mortimer, A, Lintnaar and R. Borgo. 2006. Drought responses of arbuscular mycorrhizal grapevines. Symbiosis. 41 (3): 127-133.
91- Varma, A., and B. Hock. (Eds.). 1999. Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology. Springer microbiology book, Berlin. ISBN: 3-540-63981-0.
92- Vicari, M., P. E. Hatcher and P. G. Ayres. 2002. Combination effect of foliar and mycorrhizal endophytes on an insect herbivore. Ecol. 83 (9): 2452-2464.
93- Vos, J., P. E. L. van der Putten and C. J. Birch. 2005. Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). Field Crops Res. 93: 64-73.
94- Watson, C. A., and L. A. Harrier. 2003. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable cropping systems. Advanc. Aagron. 79: 185-225.
95- Wright, D. P., J. D. Scholes and D. J. Read. 1998. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repens* L.. Plant Cell Environ. 21: 209-216
96- Wu, Q. S., and R. X. Xia. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. J. Plant Physiol. 163: 417-425.

The effects of arbuscular mycorrhizal fungus and free living nitrogen fixing bacteria on growth, photosynthesis and yield of corn (*Zea mays* L.) in conventional and ecological cropping systems

M. Jahan, A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati[1]

Abstract

In recent years, biological fertilizers have received special attention by scientists in sustainable and low input agriculture. In order to study the effects of arbuscular mycorrhizal fungi and free living nitrogen fixing bacteria on growth and photosynthesis characteristics of corn in conventional and ecological cropping systems, a field experiment was conducted at the Research Farm of Ferdowsi University of Mashhad during year 2006. A split plots arrangement based on randomized complete block design with three replications was used. Treatments consisted four cropping systems (1- High input conventional system, 2- Medium input conventional system, 3- Low input conventional system and 4- Ecological system) and four inoculations (1- Mycorrhiza fungus, *Glomus intraradices*, 2- Bacteria, *Azotobacter paspali* and *Azospirillum brasilense*, 3- Dual inoculation, Fungus plus bacteria, and 4- No-inoculation, control), which were allocated to main plots and sub plots, respectively. All agronomic practices and inputs application during planting and nursing for each of cropping systems were conducted according to regional traditions. Results showed that the effect of inoculation on photosynthesis rates of corn was significant, as the highest photosynthesis rate obtained in dual inoculation. Single inoculation (fungus or bacteria) was ranked second. The effect of all inoculations on corn dry matter production was significant and dual inoculation produced the highest dry matter yield. The cropping systems have significant effect on corn yield and the difference between medium input conventional system and high input conventional system was significant, but the high input, low input and ecological cropping systems showed no differences. Inoculants affected the SPAD readings, and dual inoculation showed the highest SPAD readings. This study showed that utilization of low input conventional and ecological systems in combination with use of dual inoculation of arbuscular mycorrhizal fungus and free living nitrogen fixing bacteria could be a suitable replacement for high input conventional systems and chemical fertilizers.

Keywords: Corn, photosynthesis, mycorrhiza, Azotobacter, Azospirillum, conventional cropping system, ecological cropping system.

1- Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.