## نویسندگان:

**محسن جهان، استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.**
**مشهد، میدان آزادی، پردیش دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات**
**صندوق پستی: ١١٦٣-٩١٧٧٥ تلفن: ٨٧٩٥٦١٨ نمابر: ٨٧٩٦٨٤١**
Jahan@ferdowsi.um.ac.ir

**معصومه آریایی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه تهران.**
**کرج، پردیش دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی،**
Masum.aryan@gmail.com

**فرهاد رجالی، استادیار بخش تحقیقات بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.**
**تهران، بزرگراه شهید چمران،**
frejali@yahoo.com

**رضا قربانی، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.**
**مشهد، میدان آزادی، پردیش دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات**
**صندوق پستی: ١١٦٣-٩١٧٧٥ تلفن: ٨٧٩٥٦١٨ نمابر: ٨٧٩٦٨٤١**
reza-ghorbani@ferdowsi.um.ac.ir

# تأثیر میکوریزا و ریزوباکتری‌های تحریک‌کننده رشد گیاه بر برخی ویژگی‌های رشدی ذرت در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک


## چکیده

به منظور بررسی تأثیر قارچ میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن بر ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ذرت در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ اجرا شد. کرت‌های اصلی، چهار نظام زراعی کشت ذرت شامل: نظام رایج با نهادهٔ زیاد، متوسط، کم و نظام اکولوژیک و کرت‌های فرعی شامل: تلقیح با قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*)، تلقیح با مخلوط باکتری‌های آزوسپیریلوم (*Azospirillum brasilense*) و ازوتوباکتر (*Azotobacter paspali*)، تلقیح با مخلوط قارچ میکوریزا و باکتری‌های آزوسپیریلوم و ازوتوباکتر (تلقیح دوگانه) و شاهد (بدون تلقیح) بود. سرعت فتوسنتز برگ، شاخص سطح برگ، سرعت تنفس خاک، درصد کلونیزاسیون طول ریشه و طول مخصوص ریشه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تأثیر انواع میکروارگانیزم بر سرعت فتوسنتز برگ معنی‌دار بود، و بیشترین سرعت فتوسنتز برگ، در تلقیح قارچی و تلقیح دوگانه حاصل شد. کاربرد انواع میکروارگانیزم سبب افزایش شاخص سطح برگ نسبت به شاهد شد. درصد کلونیزاسیون طول ریشه و سرعت تنفس خاک، تحت تأثیر نظام‌های زراعی قرار گرفتند، به‌طوری‌که بیشترین مقادیر مربوط به این صفات به‌ترتیب در نظام زراعی اکولوژیک و کم‌نهاده حاصل شد. بیشترین طول مخصوص ریشه در تلقیح قارچی و تلقیح باکتریایی حاصل شد. برتری نظام اکولوژیک نسبت به پرنهاده در مورد صفاتی از قبیل شاخص سطح برگ و طول مخصوص ریشه قابل توجه بود. به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که ترکیب نظام‌های کم‌نهاده و اکولوژیک و تلقیح توأم میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن، می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و نظام‌های پرنهاده باشد.


**کلید واژه‌ها:** کودهای زیستی، میکوریزا، ازوتوباکتر، آزوسپیریلوم، نظام زراعی کم‌نهاده.

## مقدمه

استفاده از منابع بیولوژیک در کشاورزی، دارای قدمت بسیار زیادی است و در گذشتهٔ نه‌چندان 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 (گوسلینگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ کندی و همکاران، ۲۰۰۴؛ داد، ۲۰۰۰). پاسخ فیزیولوژیک محصولات زراعی به کود شیمیایی نیز به حد نهایی خود رسیده است و اکنون در بسیاری از نقاط جهان، مصرف کود بیشتر، چیزی بر محصول زمین نمی‌افزاید (براون، ۱۹۹۷). میکوریزا یکی از مجموعه عوامل بیولوژیک است که بخش مهمی از موجودات خاکزی را شامل می‌شود (بارآ و همکاران، ۲۰۰۵)، همزیستی این قارچ با ریشه گیاهان میزبان و تشکیل سیستم میکوریزایی، نقش مهمی در حاصلخیزی و پایداری اکوسیستم خاک دارد (گوسلینگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ میلر و جاسترو، ۲۰۰۰؛ داد، ۲۰۰۰). مهم‌ترین نقش قارچ‌های میکوریزا در نظام‌های زراعی عبارت است از: افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر برای گیاهان (کاردوسو و کویپر، ۲۰۰۶) افزایش فتوسنتز (والنتین و همکاران، ۲۰۰۶؛ استرادا- لونا و دیویس، ۲۰۰۳)، افزایش کارآیی مصرف آب در گیاه میزبان (مارولاندا و همکاران، ۲۰۰۷؛ آگ، ۲۰۰۴)، افزایش مقاومت به تنش خشکی و تنش شوری ( سوبرامانیان و چارست، ۱۹۹۸)، افزایش مقاومت میزبان به آفات و بیماری‌ها (هادج، ۲۰۰۰)، افزایش غلظت هورمون‌های گیاهی و محتوای کلروفیل (بارآ و همکاران، ۲۰۰۵)، تسریع در گل‌دهی گیاهان میزبان (سوبرامانیان و چارست، ۱۹۹۸)، تأثیر در اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف گیاه میزبان (استرادا- لونا و دیویس، ۲۰۰۳؛ وارما ، ۲۰۰۸)، ایجاد واکنش‌های مورفولوژیکی در گیاهان (وارما، ۲۰۰۸؛ سوبرامانیان و چارست، ۱۹۹۸) ، افزایش قدرت

رقابت گیاه میزبان مقابل علف‌های هرز (بتلنفالوی و همکاران، ۱۹۹۶)، افزایش مقاومت گیاهان به فلزات سنگین (کاردوسو و کوپیر، ۲۰۰۶؛ گوسلینگ و همکاران، ۲۰۰۶)، بهبود ساختمان خاک و تشکیل خاکدانه (میلر و جاسترو، ۲۰۰۰)، کاهش اثر سوء مواد شیمیایی (ضدعفونی کننده‌ها، قارچ‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها) (کوتاماسی و همکاران، ۲۰۰۱؛ بتلنفالوی و لیندرمن، ۱۹۹۲)، تشدید فعالیت جمعیت میکروبی خاک از جمله باکتری‌های ریزوبیوم، ازوتوباکتر و آزوسپیریلوم (بارآ و همکاران، ۲۰۰۵؛ گریندلر، ۲۰۰۰). برخی تحقیقات نشان داده‌اند که بین قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های *Rhizobium*، *Azotobacter* و *Azospirillum* در برخی گیاهان زراعی مانند ذرت، سویا، شبدر، یونجه، بادام زمینی، دال عدس و نخود اثر متقابل مثبت وجود دارد (آنتونس و همکاران، ۲۰۰۵؛ بیرو و همکاران، ۲۰۰۰). استفاده از توانایی باکتری‌های غیرهمزیست تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن از جمله *Azotobacter* و *Azospirillum* در نظام‌های زراعی پایدار، موضوع بسیاری از پژوهش‌های جدید شده است (کندی و همکاران، ۲۰۰۴). در آزمایشی ملاحظه شد که تلقیح گیاهان گندم و ذرت با باکتری *Azospirillum* استقرار میکوریزا بر روی آنها را افزایش داد (ابراهیم و همکاران، ۱۹۹۰). گزارش شده است که تلقیح گونه چمنی(*Cymbopogon parkeri*)، با میکوریزا و باکتری *Azospirillum* قابلیت دسترسی تری‌کلسیم‌فسفات را افزایش داد (رتی و همکاران، ۲۰۰۱). در آزمایشی مشاهده شد که قرارگیری سلولهای *Azotobacter* داخل میسلیوم‌های یک گونه قارچ میکوریزای اصلاح شده (*Rhizopogon*) باعث تثبیت نیتروژن شد (گیلس و وایتهد، ۱۹۷۷). بخش عمدهٔ آب شیرین یعنی ۶۹ درصد آن برای تولیدات کشاورزی استفاده می‌شود (ترنر، ۲۰۰۱). حدود دو سوم آب مصرفی جهان به بخش کشاورزی اختصاص دارد و این عامل اصلی کمبود آب منطقه‌ای می باشد. کشاورزی به دلیل اتلاف شدید، آب بسیار زیادی را به صورت غیر کارآمد مورد استفاده قرار می‌دهد (برای مثال جهت تولید ۱ کیلوگرم دانهٔ گندم، گیاه حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم آب از خاک جذب

می‌کند). بیش از نیمی از آبی که برای محصولات زراعی به کار می‌رود هرگز به‌وسیلهٔ گیاه استفاده نمی‌شود (گلیسمن به نقل از ون‌تویل، ۱۹۹۸). انجام آبیاری در سطوح وسیع، ضمن تغییر سیکل‌های هیدرولوژی، فشار قابل ملاحظه‌ای را بر اکوسیستم‌های طبیعی و حیات وحش وارد می‌کند. کشاورزی آب را بیش از هر منبع دیگری آلوده می‌سازد (گلیسمن، ۱۹۹۸). گزارشات متعددی مبنی بر افزایش کارآیی مصرف آب گیاهان و بهبود روابط آب – خاک-گیاه در نتیجه کاربرد میکوریزا و باکتری‌های تحریک‌کننده رشد گیاه وجود دارد (آگ، ۲۰۰۴؛ بارآ و همکاران، ۲۰۰۵).

ذرت که از نظر تولید و سطح زیر کشت، بعد از گندم و برنج، سومین گیاه زراعی مهم در دنیا است، نسبت به تشکیل همزیستی با قارچ‌های میکوریزا و نیز باکتری‌های غیر همزیست تثبیت کنندهٔ نیتروژن، واکنش خوبی نشان داده است. تولید بالای این گیاه، مصرف زیاد نهاده‌ها را نیز به‌همراه داشته است. مطالعهٔ جنبه‌های مختلف همزیستی قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های غیرهمزیست تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن در گیاه ذرت، می‌تواند اتکاء به نهاده‌های شیمیایی را در این گیاه کاهش دهد، ضمن این‌که در مورد واکنش توأم قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک، مطالعهٔ اندکی صورت گرفته و اطلاعات در این زمینه ناقص است. اطلاعات حاصل از این آزمایش، می‌تواند ضمن افزایش بازده اقتصادی برای تولیدکنندگان و نیز بالا بردن کارآیی انرژی، به‌عنوان ابزاری در جهت توسعهٔ سیاست‌های کشاورزی هم راستا با محیط زیست، به‌کار گرفته شود.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ 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

خردشده (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، برای هر کدام از نظام‌های زراعی در زمان مناسب و معمول منطقه انجام شد. عملیات تهیهٔ زمین، کنترل علف‌های هرز، مبارزه با آفات 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 می‌کنند 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 ۸۶/۲/۱۲ 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

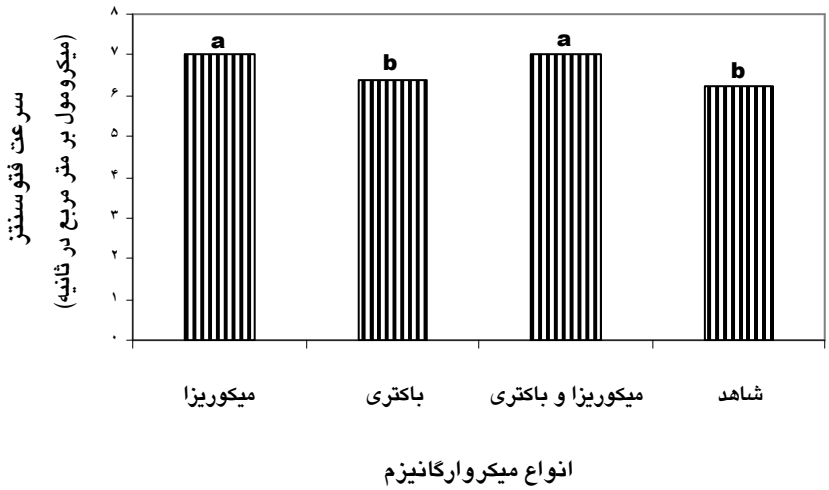
استاندارد و توصیه شده (جیانینازی و ووساتکا، ۲۰۰۴)، آغشته شد. کشت به‌صورت ردیفی بود و بذور به فاصلهٔ ۲۵ سانتی متر روی ردیف و ۷۵ سانتی متر بین ردیف‌ها قرار گرفتند. در طول دورهٔ رشد، صفات زیر اندازه‌گیری شدند: سرعت فتوسنتز تک برگ توسط دستگاه LC*i*, Leaf Chamber Informations, ADC BioScientific Ltd., Uk، سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ Leaf Area Meter, Delta T Devices Ltd., England . سرعت تنفس خاک، درصد کلونیزاسیون ریشه و طول مخصوص ریشه نیز در پایان فصل رشد اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز، سومین برگ از بالای بوته‌ها انتخاب شد و اندازه‌گیری در دو مرحلهٔ کاکل‌دهی و پرشدن دانه‌ها انجام گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری سرعت تنفس خاک، اتاقک مخصوص اندازه‌گیری موسوم به SRS 1000 (Soil Respiration Hood), ADC BioScientific Ltd. UK به دستگاه LC*i* متصل شده و اعداد مربوطه قرائت شدند. طول مخصوص ریشهٔ هر نمونه (طول ریشهٔ موجود در ۲۵ سانتی‌متر مکعب خاک) با استفاده از روش تنانت اصلاح شده (تنانت، ۱۹۷۵) تعیین شد. تعیین درصد کلونیزاسیون طول ریشه‌ها مستلزم رنگ‌آمیزی ریشه‌های فیکس‌شده و سپس مشاهده و اندازه‌گیری آن قسمت از طول ریشه‌ها که توسط اندام‌های قارچی آلوده شده‌اند، می‌باشد که به این منظور، به‌ترتیب از روش رنگ‌آمیزی کورمانیک و مک‌گرا (۱۹۸۲) و روش جی‌یووانتی و موسه (۱۹۸۰) موسوم به روش گریدلاین اینترسکت Gridline-intersect method استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش و رسم شکل‌های مربوط به آنها، توسط نرم‌افزارهای MS-Excel Ver.11، Minitab Ver.14 و MSTAT-C صورت گرفت. در مورد داده‌های درصدی، تبدیل داده انجام گرفت. مقایسهٔ کلیهٔ میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

# نتایج و بحث

## سرعت فتوسنتز برگ

سرعت فتوسنتز برگ گیاه ذرت در تلقیح میکوریزایی و تلقیح دوگانه در مقایسه با تیمار شاهد، اختلاف معنی‌دار داشت (شکل ١). برخی از محققین افزایش در سرعت فتوسنتز گیاهان میکوریزایی شده را گزارش کرده‌اند (والنتین و همکاران، ٢٠٠٦؛ تاکور و همکاران، ١٩٩٧). همچنین گزارش‌هایی مبنی بر افزایش سرعت فتوسنتز برخی گیاهان در اثر تلقیح با باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن وجود دارد که همگی می‌توانند مؤید نتایج آزمایش حاضر باشند (کندی و همکاران، ٢٠٠٤؛ سانچز-دیاز و همکاران، ١٩٩٠).




**شکل ١:** تغییرات سرعت فتوسنتز ذرت در اثر تلقیح با انواع میکروارگانیزم.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند ($p \leq 0.05$).

استرادا- لونا و دیویس (٢٠٠٣) 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 (٢٠٠٦) 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 (۱۹۹۰) گزارش کردند که در همزیستی سه جانبهٔ یونجه- باکتری ریزوبیوم- قارچ میکوریزا (جنس گلوموس)، میزان تبادل کربن و راندمان مصرف فسفر فتوسنتزی در گیاهان میکوریزایی شده به ترتیب ۳۰ و ۵۵ درصد بیشتر از گیاهان یونجهٔ غیرمیکوریزایی بود. آنها همچنین فعالیت گره‌ای[1] بیشتری را در گیاهان میکوریزایی شده گزارش کردند و نتیجه گرفتند که همزیستی سه جانبهٔ یونجه- باکتری- قارچ از طریق افزایش فتوسنتز و فعالیت گره‌ها، تحمل یونجه به خشکی را بهبود می‌بخشد. تاکور و همکاران (۱۹۹۷) 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.

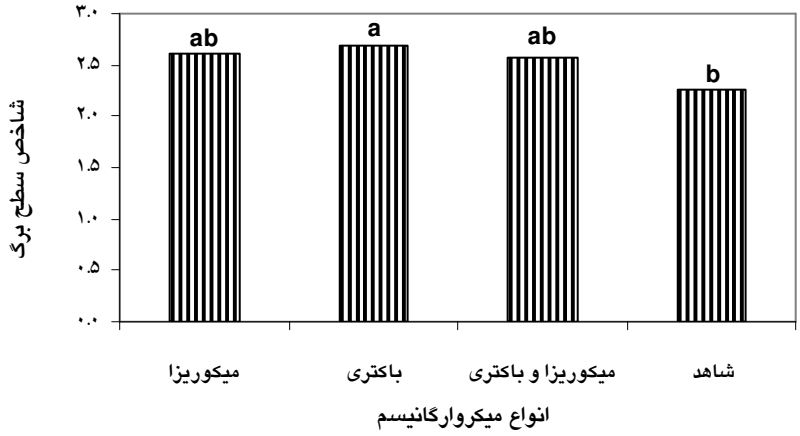
برخی محققین چنین نتیجه گرفته‌اند که میکوریزا به‌طور مستقیم در افزایش فتوسنتز گیاه میزبان نقش ندارد، بلکه از طریق بهبود روابط آبی در سیستم متشکل از آب- خاک- گیاه و نیز تولید هورمون و تغییر روابط هورمونی، سطح فتوسنتز گیاه میزبان را نسبت به گیاهان شاهد بالاتر نگه می‌دارد (استرادا- لونا و دیویس، ۲۰۰۳؛ آگ، ۲۰۰۰). 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 (استرادا- لونا و دیویس، ۲۰۰۳؛ ال‌کراکی و حمد، ۲۰۰۱). بعضی از محققین نیز هر دو فرضیه را مسئول افزایش در فتوسنتز گیاه

[1] Nodule activity

میزبان معرفی کرده‌اند (تاکور و همکاران، ۱۹۹۷؛ سانچز- دیاز و همکاران، ۱۹۹۰). در نهایت و در تعداد اندکی از مطالعات، گزارشاتی مبنی بر عدم تغییر در سرعت فتوسنتز و یا مقدار کلروفیل گیاه میزبان ارائه شده است (شابائف و همکاران، ۱۹۹۵).

## شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ ذرت در نتیجه تلقیح باکتریایی، بیشتر از تیمار شاهد بود، ولی با تیمارهای تلقیح قارچی و تلقیح دوگانه، تفاوت معنی‌دار نداشت (شکل ۲).



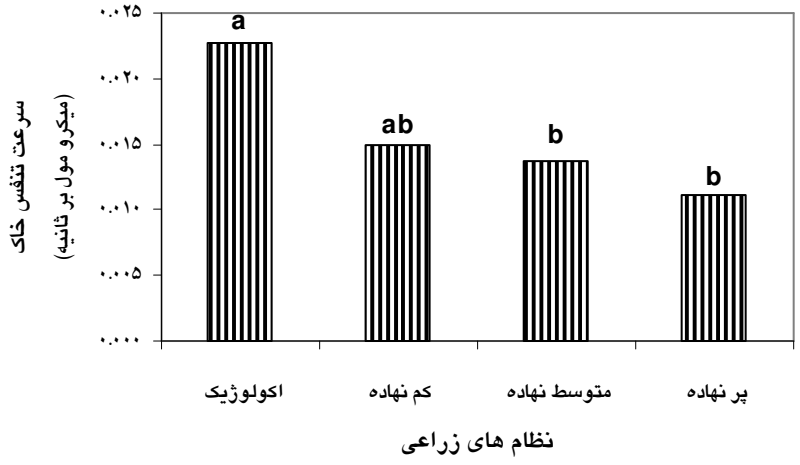

**شکل ۲**- تغییرات شاخص سطح برگ ذرت در اثر تلقیح با انواع میکروارگانیزم.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$).

تأثیر مثبت تلقیح باکتریایی بر شاخص سطح برگ ذرت، احتمالاً ناشی از اثرات هورمونی بوده است. برخی محققین پیشنهاد نموده‌اند که این باکتری‌ها، هورمون‌های گیاهی تولید می‌کنند که می‌توانند سبب افزایش رشد گیاه یا رشد ریشه شده و بنابراین ظرفیت جذب عناصر غذایی را بالا برده و شانس گیاه را در اجتناب از خشکی افزایش دهند (بارآ و همکاران، ۲۰۰۵ و ۱۹۹۷؛ کاپولنیک و همکارن، ۱۹۸۷). هورمون‌های گیاهی تولیدشده توسط باکتری‌های تحریک‌کنندهٔ رشد گیاه بر مورفولوژی ریشه، اثری مشابه اسیدجیبرلیک و ایندول‌استیک‌اسید دارند (مارتین و همکاران، ۱۹۸۹). بارآ و همکاران (۲۰۰۵ و

۱۹۹۷) گزارش کردند که باکتری‌های *Azotobacter vinelandii* و *A. beijerinckii* در محیط‌های کشت، هورمون‌های اکسین، جیبرلین و سیتوکینین تولید می‌کنند. بارآ و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند که هورمون ایندول‌استیک‌اسید تولید شده توسط باکتری، به‌طور مستقیم توسط گیاهان جذب می‌شود، درعین‌حال، جذب این هورمون توسط قارچ‌های میکوریز آربسکولار تسریع می‌گردد. منابع متعدد (کاردوسو و کویپر، ۲۰۰۶؛ بارآ و همکاران، ۲۰۰۵؛ گریندلر، ۲۰۰۰) به نقش باکتری‌های تحریک‌کنندهٔ رشد گیاه در روابط هورمونی گیاه اشاره و تأکید کرده‌اند. گزارشاتی 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 (والنتین و همکاران، ۲۰۰۶)، با وجود این، تاکور و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند که در گیاه لوبیا، میکوریزا باعث ۹/۱ درصد افزایش در سطح برگ شد.

## تنفس خاک

نظام اکولوژیک و کم‌نهاده بیشترین مقادیر تنفس خاک را به‌خود اختصاص دادند، ضمن‌این‌که، بین نظام‌های کم‌نهاده، متوسط‌نهاده و پرنهاده از این‌نظر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳).




**شکل ۳**- تغییرات سرعت تنفس خاک در نظام های زراعی مختلف.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$).

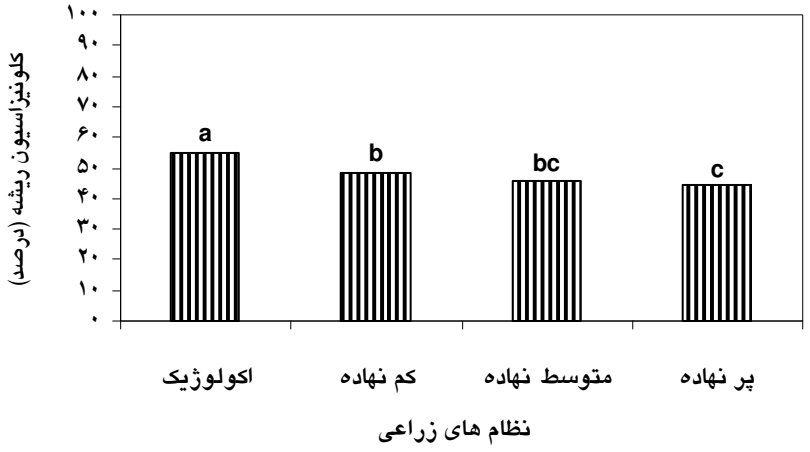
محققین بسیاری بر نقش مثبت میکروارگانیزم‌های همزیست و برخی میکروارگانیزم‌های غیرهمزیست بر ویژگی‌های رشدی گیاهان میزبان، در نظام‌های طبیعی و نیز در مزرعه تأکید کرده‌اند (کوردوسو و کویپر، ۲۰۰۶؛ بارآ و همکاران، ۲۰۰۵؛ هادج ،۲۰۰۰؛ کاپولنیک و همکارن، ۱۹۸۷).

ساکاموتو و اوبا (۱۹۹۴) بین تصاعد دی‌اکسیدکربن و کل زیست‌تودهٔ میکروبی، یک همبستگی قوی مشاهده کردند. پرابست و همکاران (۲۰۰۷) ضمن مقایسهٔ جنبه‌های بیولوژیکی و شیمیایی خاک مزارع رایج و زیستی، گزارش کردند که بیشترین درصد کربن آلی و به تبع آن زیست‌تودهٔ میکروبی، و کمترین مقادیر کسر متابولیکی دی‌اکسیدکربن[1] در مزرعهٔ زیستی وجود داشت. هاینس (۱۹۹۹) نتایج مشابهی را گزارش و بیان کرد که روندهای موجود برای زیست‌تودهٔ میکروبی، تنفس پایه، فعالیت هیدرولیتیکی و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و سولفاتاز، از روند تغییرات کربن آلی خاک پیروی می‌کنند. آنانی‌اِوا و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که نسبت کربن میکروبی به کربن آلی، در مراتع بیشتر از زمین‌های زراعی بود. بالا بودن مقدار تنفس خاک در نظام زراعی اکولوژیک نسبت به سایر نظام‌ها، را می‌توان به شکل‌گیری و ظهور روابط پیچیدهٔ بین جمعیت‌های میکروبی خاک در اثر استفاده از کود دامی نسبت داد (تویوتا و کنیناگا، ۲۰۰۶). نتایج یک تحقیق ۲۲ ساله نشان داد که گزارش کردند که زیست توده، تنوع میکروبی و کسر متابولیکی دی‌اکسیدکربن در نظام زراعی زیستی، به‌ترتیب بیشتر و کمتر از نظام زراعی رایج بود (مدر و همکاران، ۲۰۰۲) و این موضوع به کارآیی بیشتر در استفاده از انرژی توسط جمعیت میکروبی متنوع موجود در نظام زراعی زیستی نسبت داده شد. نکته‌ای که از شکل ۳ می‌توان دریافت این است که تغییرات تنفس خاک در نظام زراعی کم‌نهاده، حد واسط بین نظام زراعی اکولوژیک و متوسط نهاده بوده است، به‌عبارت‌دیگر، به‌نظر می‌رسد نظام کم‌نهاده با ورود مقداری نهاده، قابلیت برگشت‌پذیری داشته و دچار تنش ناگهانی نشده است.

[1] q CO2= soil basal respiration / soil microbial biomass

## درصد کلونیزاسیون ریشه

از نظر درصد کلونیزاسیون ریشه، نظام زراعی اکولوژیک نسبت به بقیه نظام‌ها، برتری داشت، ضمن‌این‌که، تفاوت نظام کم‌نهاده با نظام پرنهاده نیز معنی‌دار بود (شکل ۴)، به‌عبارت‌دیگر، با رفتن از نظام اکولوژیک به سمت نظام پرنهاده (بدون نهاده در مقایسه با مصرف نهادهٔ بیشتر)، میزان کلونیزاسیون طول ریشه، روند نزولی را نشان می‌دهد، این مطلب دور از انتظار نیست و گزارش‌های زیادی مبنی بر اثر منفی نهاده‌ها بر میزان کلونیزاسیون ریشه وجود دارد (پرابست و همکاران، ۲۰۰۷؛ گریندلر و همکاران، ۲۰۰۶). مدر و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که سطوح بالای عناصر غذایی موجود در کودهای غیرآلی، کلونیزاسیون میکروبی ریشه را تغییر می‌دهد، و به‌ویژه، بر کلونیزاسیون میکوریزایی تأثیر منفی دارد. تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که گیاهان در مزارع زیستی نسبت به مزارع رایج، به‌میزان بیشتری توسط قارچ‌های میکوریزا کلونیزه می‌شوند (پرابست و همکاران، ۲۰۰۷؛ مدر و همکاران، ۲۰۰۰). مدر و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که درصد کلونیزاسیون ریشهٔ گیاهان، در نظام زراعی زیستی، ۴۰ درصد بیشتر از نظام زراعی رایج بود.

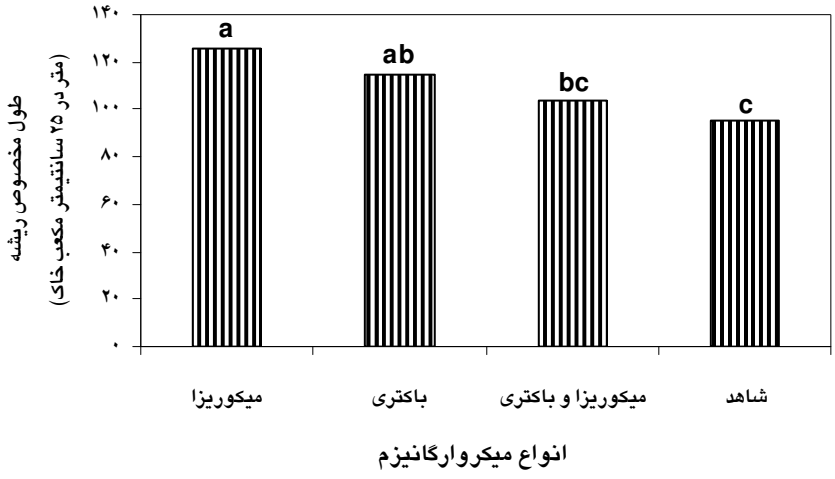



**شکل ٤**- تغییرات درصد کلونیزاسیون طول ریشه ذرت در نظام‌های زراعی مختلف.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$).

دادز و همکاران (۱۹۹۳) ضمن مقایسهٔ دو نظام زراعی کم‌نهاده و رایج تولید ذرت و سورگوم، گزارش کردند که بیشترین جمعیت اسپور میکوریزا و میزان آلودگی گیاهان میزبان، در نظام زراعی کم‌نهاده مشاهده شد. در نظام‌های زراعی که شخم‌حداقل و روش کشت مستقیم انجام می‌شود و لذا تجزیهٔ مواد آلی و گسترش ریشه‌ها با سرعت کمتری نسبت به شخم رایج صورت می‌گیرد، رشد و توسعهٔ قارچ‌های میکوریزا بیشتر است (گریندلر و همکاران، ۲۰۰۶؛ بتلنفالوی و لیندرمن، ۱۹۹۲). احتمالاً شخم‌حداقل، رشته‌های میسلیومی را که عامل توسعه و انتشار قارچ روی گیاهان می‌باشند، بهتر حفظ می‌کند (مدر و همکاران، ۲۰۰۰). گالوز و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که پتانسیل کلونیزاسیون در خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه در پایان فصل رشد ذرت، در نظام زراعی کم‌نهاده و کرت‌های بدون‌شخم، بیشتر از نظام زراعی پرنهاده و کرت‌های دارای شخم برگردان‌دار و چیزل بود، ضمن این‌که در نظام زراعی کم‌نهاده و کرت‌های بدون شخم، شبکه‌های هیف متراکم‌تر بودند و تنوع گونه‌ای و درجهٔ مؤثر بودن میکوریزا در آنها بیشتر بود. وان‌درهیدن و ساندرز (۲۰۰۴) گزارش کردند که عوامل محیطی به‌شدت بر کلونیزاسیون ریشه تأثیر می‌گذارند. جهرینگ و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که مقدار رطوبت خاک به مقدار زیادی کلونیزاسیون ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا شاید بتوان رطوبت بیشتر در خاک نظام‌های زراعی اکولوژیک و کم‌نهاده را دلیل کلونیزاسیون بیشتر ریشه در آنها دانست.

## طول مخصوص ریشه

طول مخصوص ریشه در نتیجه تلقیح میکوریزایی و باکتریایی، افزایش یافت و از این نظر برتری مطلقی نسبت به تیمار شاهد حاصل شد (شکل ۵). گزارشات متعدد (کاردوسو و همکاران، ۲۰۰۶؛ بتلنفالوی و لیندرمن، ۱۹۹۲) حاکی از آن است که میکوریزا رشد ریشه را افزایش داده و به دنبال آن یک نظام گسترده از ریشه را برای جذب آب ایجاد می‌کند.




**شکل ۵**- تغییرات طول مخصوص ریشه ذرت در اثر کاربرد انواع میکروارگانیزم.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$).

ابونصر (۱۹۹۸) گزارش کرد که تلقیح کدو تخم‌پوست‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) با *Glomus intraradices*، سبب افزایش طول ریشه در مقایسه با گروه شاهد شد. مارولاندا و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که تلقیح اسطوخودوس با سویه‌های مقاوم به‌خشکی میکوریزا، سبب افزایش زیست‌توده ریشه شد. علی‌آبادی و همکاران (۱۳۸۶) گزارش کردند که کاربرد میکوریزا (*Glomus hoi*) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد و طول ریشهٔ گشنیز (*Coriandrum sativum L.*) شد.

تیلاک و سینک (۱۹۸۸) گزارش کردند که باکتری *Azospirillum brasilense* رشد ریشه را در ارزن مرواریدی افزایش داد. این واکنش بدون افزایش در تثبیت نیتروژن رخ داده است. برخی محققین پیشنهاد کردند که این باکتری‌ها، هورمون‌های گیاهی تولید می‌کنند که می‌توانند سبب افزایش رشد گیاه شده یا رشد ریشه را افزایش داده و بنابراین ظرفیت جذب عناصر غذایی را بالا برده و شانس گیاه را در اجتناب از خشکی افزایش می‌دهند (گریندلر، ۲۰۰۰؛ بارآ و همکاران، ۱۹۹۷؛ تیلاک و سینک، ۱۹۸۸؛ کاپولنیک و همکارن، ۱۹۸۷).

مارولاندا و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تلقیح دوگانهٔ گیاه *Retama sphaerocarpa* با باکتری *Bacillus turengiensis* و قارچ *Glomus intraradices*، نسبت به تلقیح جداگانه، سبب حداکثر توسعهٔ ریشه شد. آنها همچنین بیان کردند که تلقیح با سویهٔ مقاوم به‌خشکی باکتری*Bacillus turengiensis* ، رشد ریشه را ۲۱ درصد افزایش داد و جذب نسبی آب در گیاهان تلقیح شده بیشتر از گیاهان شاهد بود. نتایج تحقیق مارولاندا و همکاران (۲۰۰۷) بر روی گیاه اسطوخودوس میکوریزایی‌شده، حاکی از آن بود که سویه‌های بومی مقاوم به خشکی *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*، رشد ریشه را به ترتیب به‌میزان ۳۵ و ۱۰۰ درصد افزایش دادند، همچنین زیست‌تودهٔ ریشه، جذب مؤثر نیتروژن و پتاسیم و توسعهٔ آربسکول‌ها و هیف‌های درون‌سلولی و بیرون‌سلولی در گیاهان آلوده به سویه‌های مقاوم میکوریزا، بیشتر از گیاهان آلوده به سویه‌های حساس به خشکی بود. آنها همزمان با این تغییرات، افزایش محتوای آب گیاه و کاهش ترکیبات آنتی‌اکسیدانت را گزارش کردند.

وجود رابطهٔ مثبت و معنی‌دار بین درصد کلونیزاسیون ریشه و شاخص سطح برگ (r =۰/۳۴**)، (داده‌ها نشان داده نشده‌اند) بیانگر این است که هر عاملی که سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه شود، شاخص سطح برگ و به دنبال آن تولید مادهٔ خشک و عملکرد دانه را افزایش خواهد داد. وجود رابطهٔ مثبت و معنی‌دار بین طول مخصوص ریشه و عملکرد دانه (r =۰/۴۵**) (داده‌ها نشان داده نشده‌اند) می‌تواند حاکی از اثر مثبت به‌کارگیری میکوریزا و باکتری‌های تحریک‌کنندهٔ رشد گیاه در این تحقیق باشد.

از آنجایی که میزان تولید مادهٔ خشک توسط گیاه، به‌طور مستقیم در برگ‌ها انجام می‌شود، لذا هر عاملی از قبیل نیترژن که شاخص سطح برگ را افزایش دهد، سبب بالا رفتن میزان تولید مادهٔ خشک خواهد شد (هی و واکر، ۱۹۸۹). گزارشات زیادی مبنی بر افزایش میزان نیتروژن گیاه در نتیجهٔ استفاده از

باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن و قارچ‌های میکوریزا وجود دارد (استرادا- لونا و دیویس، ۲۰۰۳؛ سوبرامانیان و چارست، ۱۹۹۸). سوبرامانیان و چارست (۱۹۹۸) گزارش کردند که پروتئین‌های محلول و کل محتوای نیتروژن در گیاهان ذرت میکوریزایی‌شده نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی، در شرایط خشکی بالاتر بود. نامبردگان چنین عنوان کردند که ارتقاء فعالیت آنزیم‌های تثبیت نیتروژن و ترکیبات نیتروژنه در ذرت می‌تواند حاکی از انتقال نیترات از طریق هیف‌های برون‌سلولی میکوریزا باشد. همچنین گزارش شده است که باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن، محتوای نیتروژن قابل استفاده برای گیاه در خاک را افزایش می‌دهند (کندی و همکاران، ۲۰۰۴).

## نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که ترکیب نظام‌های کم‌نهاده و اکولوژیک و تلقیح توأم میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن، می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و نظام‌های پرنهاده باشد.

## منابع

١.علی‌آبادی فراهانی، ح.، لباسچی، م.ح.، شیرانی راد، ا.ح.، ولدآبادی، ع.، حمیدی، آ.، دانشیان، ج.، عباس‌زاده، ب.، و علیزاده سهزابی، ع. ١٣٨٦. تأثیر کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار (*Glomus hoi*)، سطوح مختلف فسفر و تنش خشکی بر تعدادی از صفات گشنیز (*Coriandrum sativum* L.). *خلاصه مقالات دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران، ٢٥ و ٢٦ مهرماه ١٣٨٦، گرگان. ص. ٨٣.*

2.Aboul-Nasr, A. 1998. Effects of inoculation with *Glomus intraradices* on growth, nutrient uptake and metabolic activities of squash plants under drought stress conditions. *Annals of Agricultural Science. 1: 119-133.*

3. Al-Karaki, G.N., and Hammad, R. 2001. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition, 24: 1311-1323.*

4.Ananyeva, N.D., Susyan, E.A., Chernova, O.V., and Wirth, S. 2007. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia. *European Journal of Soil Biology*. Article in Press.

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

6.Auge, R.M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science, 84: 373-381.*

7.Barea, J.M., Azcon-Aguilar, C., and Azcon, R. 1997. Interactions between mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms within the context of sustainable soil-palnt systems. In: Multitrophic interactions in terrestrial systems: The 36th symposium of The British Ecological Society. Gange, A.C., Brown, V.K. (Eds.). Cambridge University Press. pp. 65-78.

8.Barea, J.M., Pozo, M.J., Azcon, R., and Azcon-Aguilar, C. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany, 56: 1761-1778.*

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

10.Bethlenfalvay, G.J., and Linderman, R.G. 1992. Mycorrhizae in sustainable agriculture. American Society of Agronomy, Special Publication, No. 54. Madison, Wis. 124 p.

11.Biro, B., Koves-Pechy, K., Voros, I., Takacs, T., Eggenberger, P., and Strasser, R.J. 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. *Applied Soil Ecology, 15: 159-168.*

12.Brown, L. 1997. Facing the prospect of food scarcity. In: State of the World. Strake, L. (Ed.). W.W. Norton & Co. New York. pp. 23-41.

13.Cardoso, I., and Kuyper, M.T.W. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 116: 72-84.*

14.Dodd, J.C. 2000. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro-natural ecosystems. *Outlook on Agriculture, 29: 63-70.*
15.Douds, D.D., Janke, R.R., and S. E. Peters. 1993. VAM fungus spore populations and colonization of roots of maize and soybean under conventional and low-input sustainable agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 43: 325-335.*
16.Estrada-Luna A., and A. Davies. 2003. Arbuscular Mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization. *Journal of Plant Physiology, 160: 1073-1083.*
17.Galvez, L., Douds, Jr.D.D., Drinkwater, L.E., and Wagoner, P. 2001. Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas and nutrient uptake of maize. *Plant and Soil, 228: 299-308.*
18.Gehring, C.A., Mueller, R.C., and Whitham, T.G. 2006. Environmental and genetic effects on the formation of ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal associations in cottonwoods. *Oecologia, 149: 158-164.*
19.Gianinazzi, S., and Vosatka, M. 2004. Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. *Canadian Journal of Botany, 82: 1264–1271.*
20.Giles, K. L., and Whitehead, H. 1977. The localisation of introduced *Azotobacter* cells within the mycelium of a modified mycorrhiza (*Rhizopogon*) capable of nitrogen fixation. *Plant Science Letters, 10: 367-372.*
21.Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist, 84: 489-500.*
22.Gliessman S.R., 1998. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. CRC Press. ISBN: 1-57504-043-3
23.Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., and Bending, G. D. 2006. Arbuscular mycorrhiza fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 113: 17-35.*
24.Gryndler, M. 2000. Interaction of arbuscular mycorrhizal fungi with other soil organisms. In: Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Kapulnik Y., D. D. Douds. (Eds.). pp. 239-262. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. ISBN 0-7923-6444-9.
25.Gryndler, M., Larsen, J., Hrselova, H., Rezacova, V. Gryndlerova, H., and Kubat, J. 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: 159-166.*
26.Hay, R.K.M., and Walker, A.J. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman, Essex, GB. 292 p.
27.Haynes, R.J. 1999. Size and activity of the soil microbial biomass under grass and arable management. *Biology and Fertility of Soils, 30: 210-216.*
28.Hodge, A. 2000. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. *FEMS Microbiology Ecology, 32: 91-96.*

29.Ibrahim, M.A., Campbell, W.F., Rupp, L.A., and Allen, E.B. 1990. Effects of mycorrhizae on sorghum growth, photosynthesis, and stomatal conductance under drought conditions. *Arid Soil Research and Rehabilitation, 4: 99-107.*
30.Kapulnik, Y., Kigel, J., Okon, Y., Nur, I., and Henis, Y. 1981. Effect of *Azospirillum* inoculation on some growth parameters and N content of wheat, sorghum and panicum. *Plant and Soil, 61: 65-70.*
31.Kennedy, I. R., Choudhury, A.T.M.A., and Kecskes, M.L. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Soil Biology and Biochemistry, 36: 1229-1244.*
32.Kormanik, P. P., and McGraw, A. C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. Available Online at: http://md1.csa.com/partners/viewrecords.php?requester=gs&collection=ENV&recid=596492.
33.Kothamasi, D., Kuhad, R.C., and Babu, C.R. 2001. Arbuscular mycorrhizae in plant survival strategies. *Trop. Ecol. 42(1): 1-13.*
34.Mader, P., Edenhofer, S., Boller, T., Wiemken, A., and Niggli, U. 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and Fertility of Soils. 31: 150-156.*
35.Mader, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., and Niggli, U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science, 296: 1694-1697.*
36.Martin, P.A., Glatzle, W., Kolb, W. Omay, H., and Schmidt, W. 1989. N2-fixing bacteria in the rhizosphere: Quantification and hormonal effects on root development. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 152: 237-245.*
37.Marulanda, A., Barea, J.M., and Azcon, R. 2006. An indigenous drought-tolerant strain of *Glomus intraradices* associated with a native bacterium improves water transport and root development in *Retama spaerocarpa*. FEMS *Microbiology Ecology, 52: 670-678.*
38.Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J.M., and Azcon, R. 2007. Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought-tolerant or drought-sensitive Glomus Species. *Microbial Ecology, 54: 543-552.*
39.Miller, R.M., Jastrow, J.D, 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In: Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Kapulnik, Y., Douds, D.D. (Eds.). Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 3-18.
40.Probst, B., Schuler, C., and Joergensen, R.G. 2007. Vineyard soils under organic and conventional management-microbial biomass and activity indices and their relation to soil chemical properties. *Biology and Fertility of Soils, 44: 443-450.*
41.Ratti, N., Kumar, S., Verma, H.N., and Gautam, S.P. 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. motia by rhizobacteria, AMF and *Azospirillum* inoculation. *Microbiological Research, 156: 145-149.*

42.Sakamoto, K., and Oba, Y. 1994. Effect of fungal to bacterial biomass on the relationship between $CO_2$ evolution and total soil microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils, 17: 39-44.*
43.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 Science, 71: 215-221.*
44.Shabayev V.P., Smolin, V.Y., and Mudrik, V.A. 1995. $CO_2$ 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.*
45.Subramanian, K.S., and Charest, C. 1998. Arbuscular mycorrhizae and nitrogen assimilation in maize after drought and recovery. *Physiologia Plantarum, 102: 285-296.*
46.Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology, 63: 995-1001.*
47.Thakur, A.K., and Panwar, J.D.S. 1997. Response of Rhizobium-vesicular arbuscular mycorrhizal symbionts on photosynthesis, nitrogen metabolism and sucrose translocation in greengram (*Phaseolus radiatus*). *Indian Journal of Agricultural Sciences, 67(6): 245-248.*
48.Tilak, K.V.B.R., and Singh, C.S. 1988. Response of pearl millet (*Pennisetum americanum*) to inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizae and *Azospirillum brasilense* with different source of phosphorus. *Current Science, 57: 43-44.*
49.Toyota, K., and Kuninaga, S. 2006. Comparison of soil microbial community between amended with or without farmyard manure. *Applied Soil Ecology, 33: 39-48.*
50.Turner, N.C. 2001. Optimizing water use. In: Crop Science: Progress and Prospects. Nosberger, J., Geiger, H., and Christiaan, P.C. Struik. (Eds.). P. 119-136. CABI Publishing. ISBN: 0851994393. 418 p.
51.Valentine, A. J., Mortimer, P.E., Lintnaar, A., and Borgo, R. 2006. Drought responses of arbuscular mycorrhizal grapevines. *Symbiosis, 41: 127-133.*
52.Van der Heijden, M.G.A., and Sanders, I. 2002. Mycorrhizal ecology. Springer, Berlin, Heidelberg. 469 p. ISBN:3540424075
53.Varma, A. 2008. Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics. Springer -Verlag Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-78824-9

# Effects of arbuscular mycorrhizal fungus and plant growth promoting rhizobacteria on some growth characteristics of corn under ecological and conventional cropping systems


## 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 during 2006-2007 growing season. A split plots arrangement based on randomized complete block design with three replications was used. Treatments consisted four cropping systems (high, medium, and low input conventional as well as ecological system) and four inoculations (mycorrhiza fungus, bacteria, dual inoculation (fungus plus bacteria), and no-inoculation (control), which were allocated to main plots and sub plots, respectively. Photosynthesis rates (A), leaf area index (LAI), soil respiration rate (SRR), root length colonization percent (RLCP), specific root length (SRL) were measured. Results showed that the effect of inoculation on A was significant, as the highest A obtained in fungus and dual inoculation. Inoculating with organisms resulted in high LAI compared to control. SRS and RLCP were affected by cropping systems, as the highest SRS and RLCP observed in ecological and low input cropping systems. The highest SRL observed in fungus and bacterial inoculation. Better performance of ecological and low input cropping systems due to LAI and SRL was prevalent. 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 alternative for high input conventional systems and chemical fertilizers.


**Keywords**: Biological fertlizers, mycorrhiza, Azotobacter, Azospirillum, low input cropping system.