اثر کاربرد کودهای زیستی بر برخی ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ذرت در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک

محسن جهان[۱]، علیرضا کوچکی[۱]، رضا قربانی[۱]، فرهاد رجالی[۲]، معصومه آریایی [۳]، احسان ابراهیمی[۴]

چکیده

به منظور بررسی تأثیر میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت کنندهٔ نیتروژن بر ویژگیهای رشد و کارکرد جمعیت میکروبی خاک در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک، آزمایشی به‌صورت کرتهای خرد شده در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ و ۸۶-۱۳۸۵در 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 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، دمای کانوپی (CT)، سرعت تنفس خاک (SRR)، درصد کلونیزاسیون طول ریشه (RLCP)، طول مخصوص ریشه (SRL)، درصد نیتروژن، فسفر و پتاس گیاه، عملکرد مادهٔ خشک (DM)، عملکرد دانه (SY) و شاخص سطح برگ (LAI) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اثر نظام‌های زراعی بر CT معنی دار بود، به‌طوری‌که کمترین CT مربوط به نظام اکولوژیک بود و از این نظر، بین نظام‌های اکولوژیک با کم‌نهاده و پرنهاده با متوسط‌نهاده، تفاوتی وجود نداشت. نتایج مشابهی برای اثر انواع میکروارگانیزم بر CT مشاهده شد. SRR وRLCP تحت تأثیر نظام‌های زراعی قرار نگرفت، ولی اثر انواع میکروارگانیزم بر SRR معنی‌دار بود، و بیشترین SRR در اثر تلقیح دوگانه و بالاترین RLCP مربوط به تلقیح دوگانه و تلقیح باکتریایی بود. بیشترین SRL در تلقیح قارچی و تلقیح باکتریایی حاصل شد. اثر نوع میکروارگانیزم بر درصد فسفر و پتاس گیاه معنی‌دار نبود. کمترین درصد نیتروژن گیاه در تیمار تلقیح قارچی حاصل شد و بین سه تیمار دیگر از این نظر تفاوتی وجود نداشت. بیشترین همبستگی بین DM و LAI وجود داشت، همچنین بین DM و SY، عدد کلروفیل‌متر، RLCP، ارتفاع بوته و قطر ساقه همبستگی مثبت و معنی‌دار به‌دست آمد. وجود رابطهٔ مثبت و معنی‌دار بین RLCP وLAI، بیانگر این است که هر عاملی که سبب افزایش RLCP شود، LAI و به تبع آن DM و SY را افزایش خواهد داد. وجود رابطهٔ مثبت و معنی‌دار بین SRL و SY می‌تواند حاکی از اثر مثبت به‌کارگیری میکروارگانیزم‌ها در این تحقیق باشد. آنالیز مدل رگرسیونی حاکی از آن است که SY به‌طور معنی‌داری (r =۰/۸۶**) توسط متغیرهای LAI، CT، عدد کلروفیل‌متر، SRL و تعداد بلال کنترل می‌شود. کاهش عملکرد دانه نظام اکولوژیک نسبت به پرنهاده ۱۰ درصد بود. برتری نظام اکولوژیک نسبت به پرنهاده در مورد صفاتی از قبیل LAI، عدد کلروفیل‌متر، CT و SRL قابل توجه بود و از نظرسایر صفات تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد. به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد که ترکیب نظام‌های کم‌نهاده و اکولوژیک و تلقیح توأم میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت کنندهٔ نیتروژن، می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و نظام‌های پرنهاده باشد.

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

مقدمه

کاربرد اصول و مفاهیم بوم‌شناسی از جمله مدیریت و استفاده از میکروارگانیزم‌های موجود در خاک و روابط بین آنها، در طراحی و مدیریت نظام‌های تولید غذا، قادر است ما را در تولید پایدارتر غذا یاری دهد. اکنون علاوه بر افزایش تولید، ثبات آن نیز مطرح است، بنابراین باید سیستم‌های

۱- اعضای هیأت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۲ عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور (بخش بیولوژی خاک)، ۳ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی تهران کارشناس زراعت و اصلاح نباتات، ۴. فارغ التحصیل رشته زراعت

مختلف زراعی و پتانسیل‌های تولید آنها، مورد بررسی و تجدیدنظرهای واقع بینانه قرار گیرند (۳۲). تیلمن و همکاران (۶۷) بیان کردند که بزرگترین چالش در ۵۰ سال آینده، ۲ برابر کردن تولید غذا است آن هم به طریقی که به محیط زیست و سلامت مصرف کنندگان آسیب وارد نشود. کشاورزی زیستی در جستجوی راه‌هایی است که فرآیندهای بوم‌شناختی مسئول تغذیهٔ گیاه را ضمن حفظ منابع خاک و آب، تشدید کند.

سیلویا و همکاران (۶۴) گزارش کردند که به‌طور میانگین در هر گرم خاک، دو میلیون موجود زنده، وجود دارد. آنها پیشنهاد کردند که با افزایش شناخت و درک این ارتباط پیچیده، می‌توان خاک و میکروارگانیزم‌های آن را برای نگهداری و بهبود وضعیت خاک، بدون آسیب رساندن به این منبع حیاتی، بهتر مدیریت کرد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و حتی بیولوژیکی خاک و اثرات متقابل آنها با مجموعهٔ میکروارگانیزم‌های مقیم در خاک، تأثیر مهمی بر رشد و فعالیت میکروارگانیزم‌ها و به دنبال آن حاصلخیزی خاک دارد (۱۶ و ۵۶). عده‌ای از محققین (۱۶، ۳۱ و ۶۸) معتقدند که در آینده، درک بیشتر ما از زیست‌شناسی خاک و بوم‌شناسی میکروبی، فرصت‌های بیشتری را برای اصلاح زیستی و درک تنوع جمعیت خاک و بهره‌گیری از آن در فرآیندهای بوم‌نظام، پیش‌بینی کارکرد بوم‌نظام مثل چرخهٔ مواد غذایی، برهمکنش‌های بیوشیمیایی و فرآیندهای تنوع زیستی، ترکیب گونه‌ای و پاسخ به تخریب و نظام‌های کشاورزی پایدار ایجاد خواهد کرد.

باکتری‌های ریزوسفری تحریک‌کنندهٔ رشد گیاه (PGPR) از قبیل *Azospirillum brasilens* و *Azotobacter paspali* (دیازوتروف‌های آزادزی) می‌توانند فراهمی و جذب عناصر غذایی و سوبستراهای رشد گیاه را افزایش دهند. گیون و همکاران (۳۱) افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، تسریع گلدهی و افزایش گل‌ها، افزایش ارتفاع و وزن خشک گیاه، ریشه‌دهی سریع‌تر قلمه‌ها، کاهش پاتوژن‌ها و افزایش مقاومت گیاه، و افزایش قدرت رقابت گیاه در برابر علف‌های هرز و نیز جلوگیری از استقرار، رشد و تولید بذر علف‌های هرز را از جمله نقش‌های ریزوباکتری‌های تحریک‌کنندهٔ رشد گیاه، ذکر کردند. در مورد اثرات متقابل مثبت بین باکتری های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن و میکوریز آربوسکولار گزارشات متعددی وجود دارد، به عنوان مثال پانوار (۵۴) گزارش کرد که در گندم تلقیح‌شده با باکتری *Azospirillum brasilense* و قارچ *Glomus fasciculatum*، غلظت کلروفیل، میزان فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌های نیترات‌ریداکتاز و گلوتامین‌سینتتاز افزایش یافت و عملکرد دانه در حداکثر مقدار خود بود. شوانویتز و زیگلر (۶۲) گزارش کردند که بین فراوانی ازوتوباکترها در ریزوسفر و رشد ریشهٔ ذرت ارتباط مستقیمی وجود داشت و در این شرایط، تولید اکسین، جیبرلین و سیتوکینین توسط این باکتری‌ها، دو برابر حالت عادی بود. حاجی‌بلند و همکاران (۴) گزارش کردند که ازوتوباکترها رشد و محتوای کلروفیل گندم را افزایش دادند. آنها همچنین بیان کردند که ازوتوباکترها، به‌طور اختصاصی روی جذب و به‌ویژه انتقال عناصر نیز تأثیر مثبت دارند. روابط همزیستی بین گیاهان چمنی (گندمیان) و این باکتری‌ها، اخیراً توجه زیادی را به‌خود معطوف کرده است که این توجه نه‌تنها به‌دلیل زیست‌شناختی آن، بلکه به‌دلیل کاربرد چنین روابطی در کشاورزی پایدار و نظام‌های طبیعی است (۱۶ و ۵۳).

هاریسون (۳۷) معتقد است که همزیستی میکوریزا با گیاهان، بر تغذیهٔ فسفر گیاهان، تأثیر دارد. محققین در این نکته هم‌رأی هستند که تقریباً ۸۳ درصد از گیاهان دولپه و ۷۹ درصد از تک‌لپه‌ای‌ها و نیز همهٔ بازدانگان (بنا بر نظر برخی محققین، ۸۰ درصد کل گیاهان ساکن در خشکی) با میکوریزا رابطهٔ همزیستی برقرار می‌کنند (۲۴ و ۶۸).

بوم‌نظام خاک تماماً تحت تأثیر میکوریز آربوسکولار قرار می‌گیرد. این قارچ‌ها نقش مؤثری در بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک دارند (۲۹). داد (۲۴) گزارش کرد که اثر میکوریزا بر حرکت کربن به سوی ریشه، رشد و تنفس ریشه را تشدید می‌کند. علاوه براین، میکوریز آربوسکولار به خاطر اثر بر ترشحات ریشه، چرخهٔ مواد غذایی و جریان کربن از گیاه اتوتروف به جامعهٔ میکروبی خاک را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تنظیم جریان کربن، خود عامل اصلی و مهم تنظیم‌کنندهٔ جامعهٔ میکروبی خاک است. ژو و میلر (۷۰) گزارش کردند که وزن زیست‌تودهٔ میکوریزا از ۵۴ تا ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار تغییر می‌کند. میکوریز آربوسکولار از

طریق تأثیر بر فیزیولوژی گیاهی، شایستگی[1] و نمود[1] گیاه را در بوم نظام‌های زراعی افزایش می‌دهد. بارآ و همکاران (۱۶) بیان کردند که همزیستی میکوریز آربوسکولار، یک جزء کلیدی بوم‌نظام‌های زراعی به‌شمار می‌رود. هادج (۳۸) گزارش کرد که میکوریزا و باکتری‌های موجود در خاک در یک ارتباط متقابل، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و برخی هورمون‌ها را ترشح می‌کنند که باعث تشدید رشد و تکثیر آنها می‌شود.

در نظام‌های زراعی که شخم حداقل 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 (۳۳ و ۳۵). فایرچایلد و میلر (۲۷) گزارش کردند که گیاهان ذرت رشد کرده در خاک تخریب‌شده، نسبت به آنهایی که در خاک دست‌نخورده، رشد کرده بودند کمتر توسط میکوریزا کلونیزه شدند، علاوه بر این غلظت فسفر و روی در اندام‌های هوایی آنها کمتر بود. تحقیقات متعدد طولانی‌مدت (۲۸، ۴۵ و ۵۹)، نشان داده‌اند که گیاهان در مزارع زیستی و کم‌نهاده، نسبت به مزارع رایج، بیشتر توسط قارچ‌های میکوریزا کلونیزه شده و فراوانی اسپور و تنوع گونه‌ای در آنها بیشتر است. رجالی و همکاران (۵) بیان کردند که غلظت بالای عناصر معدنی، مانع اسپورزایی این قارچ‌ها می‌شود. کودهای آلی و کودهای دیر آزادشونده سبب بهبود رشد قارچ‌های میکوریزا می‌شوند. گریندلر و همکاران (۳۵) گزارش کردند که در یک آزمایش مزرعه‌ای بلندمدت، کاربرد کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی، رشد و توسعهٔ میسلیوم‌های میکوریزا را به‌شدت افزایش داد. پرابست و همکاران (۵۶) دلیل برتری نظام‌های زراعی زیستی و بیودینامیک پرورش انگور نسبت به نظام رایج را، استفاده از کوهای آلی، کود سبز و کمپوست و افزایش زیست‌توده و فعالیت میکروبی در آنها بیان کردند. مدر و همکاران (۴۴) گزارش کردند که فازهای محلول فسفر و پتاسیم در خاک نظام زراعی زیستی نسبت به نظام رایج کمتر بود و بخش عمدهٔ این دو عنصر در پیکرهٔ جمعیت میکروبی خاک بوده و از این طریق در تأمین نیاز فسفر گیاهان مشارکت داشتند. آنها بیان کردند که مقدار کلسیم و منیزیم در خاک نظام زیستی، بیشتر بود.

ذرت جزو پنج گیاه زراعی مهم دنیا می‌باشد 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، می‌تواند 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 دو سال زراعی ۵-۱۳۸۴ و ۶-۱۳۸۵ 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 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

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 های ۸۵/۲/۱۲ و ۸۶/۲/۱۴ 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 (۵ و ۲۹)، آغشته شد. کشت به‌صورت ردیفی بود و بذور به فاصلهٔ ۲۵ سانتی متر روی ردیف و ۷۵ سانتی متر بین ردیف‌ها قرار گرفتند.

برای اندازه‌گیری دمای کانوپی از ترمومتر مادون قرمز مدل Infra-red thermometer KM 842 Standard Model, Kane-May, England ضمن رعایت نکات دستورالعمل روت و گوین (۵۸) و پس از چندین بار آزمایش در حالات مختلف استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها ۴۵ روز پس از کاشت در مرحلهٔ ۱۰ برگی شروع و به فاصلهٔ هر یک هفته تا مرحلهٔ دانه‌بندی، در روز چهارم پس از آبیاری و در فاصلهٔ زمانی بین ساعات ۱۱ تا ۱۳ انجام شدند. چون در این زمان گیاهان در حالت تنش آبی شدید قرار نداشتند لذا از محاسبهٔ شاخص تنش آبی محصول[1] یا کاهش دمای کانوپی[1] صرف‌نظر شده و فقط دمای مطلق کانوپی گزارش شد.

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. روش کار با دستگاه و زمان ثبت داده‌ها مشابه با روش اندازه‌گیری میزان فتوسنتز است. در نهایت میزان تنفس خاک بر حسب میکرومول CO_2 بر ثانیه از معادلهٔ ۱ محاسبه شد:

$$\Delta C \times U = R \quad \mu mol.s^{-1} \qquad \text{معادلهٔ (۱)}$$

ΔC : اختلاف میزان گازکربنیک ورودی و خروجی به دستگاه بر حسب میکرومول بر مول

U : شدت جریان گاز درون دستگاه بر حسب میکرومول بر ثانیه، که به طور پیش فرض ۰/۰۰۰۲ است

R : میزان تنفس خاک بر حسب میکرومول بر ثانیه

به‌منظور تعیین طول مخصوص ریشه[1] (طول ریشهٔ موجود در حجم مشخصی از خاک)، در اواخر فصل رشد از گیاهان رشد کرده در مزرعه اقدام به نمونه‌گیری شد، بدین ترتیب که پس از حذف اندام‌های هوایی بوته‌هایی که برای نمونه‌گیری انتخاب شده بودند، خاک اطراف ساقه به‌صورت یک مکعب به ضلع ۲۵ سانتی‌متر برش داده شده و سپس تمام خاک و ریشهٔ موجود در این مکعب، بیرون آورده و به آزمایشگاه حمل شد. سپس با استفاده از روش تنانت (۶۵) نسبت به تعیین طول مخصوص ریشه در هر نمونه اقدام شد.

تعیین درصد کلونیزاسیون طول ریشه[1] 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 (۴۱) و روش جی‌یووانتی و موسه (۳۰) موسوم به روش گریدلاین اینترسکت[1] با تغییرات جزئی (۵۷) استفاده شد.

به‌منظور تعیین درصد نیتروژن موجود در بافت گیاه، نمونهٔ گیاهی آسیاب شده، ابتدا با استفاده از اسید سولفوریک و کاتالیزور هضم و سپس مقدار نیتروژن در عصارهٔ حاصل توسط روش کجلدال (۲۱) اندازه‌گیری شد. برای تعیین درصد فسفر موجود در بافت گیاه، نمونهٔ گیاهی آسیاب شده، ابتدا به روش هضم خشک آماده شده و سپس مقدار فسفر در عصارهٔ حاصل به روش مورفی و رایلی (۵۱) اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین درصد پتاسیم موجود در بافت گیاه، از عصارهٔ حاصل از هضم خشک نمونه‌ها و

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

نهادهٔ مصرفی	نظام‌های زراعی			
	پرنهاده	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	۱	-
۵- مبارزه با علف‌های هرز (نوبت)	۳	۲	۱	وجین دستی

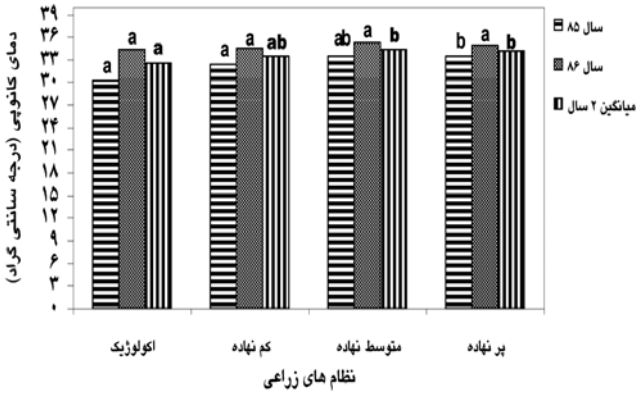
دستگاه فلیم فوتومتر Flame Photometer, Jenway PFP 10, England استفاده شد.

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 زاویه‌ای انجام شد. مقایسهٔ کلیهٔ میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

دمای کانوپی

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، دمای مطلق کانوپی در سال اول آزمایش در نظام‌های زراعی اکولوژیک و کم‌نهاده به‌طور معنی‌داری کمتر از نظام زراعی پرنهاده بود و ازاین‌نظر، بین نظام زراعی متوسط‌نهاده و پرنهاده تفاوتی وجود نداشت. در سال دوم آزمایش، دمای مطلق کانوپی در بین نظام‌های زراعی مختلف، از نظر آماری یکسان بود، بااین‌حال، دمای کانوپی نظام اکولوژیک به اندازهٔ ۱/۱ درجهٔ‌سانتی‌گراد، کمتر از نظام متوسط‌نهاده بود (۳۴/۳ در برابر ۳۵/۴). میانگین دو سال آزمایش حاکی از کمترین دمای کانوپی برای نظام زراعی اکولوژیک بود، به‌طوری‌که، تفاوت دمای کانوپی نظام اکولوژیک با نظام‌های متوسط و پرنهاده معنی‌دار بود و بیشترین اختلاف بین نظام اکولوژیک و پرنهاده به اندازهٔ ۱/۶ درجهٔ‌سانتی‌گراد حاصل شد (شکل ۱). به‌طورکلی، به‌نظر می‌رسد در نظام زراعی اکولوژیک و کم‌نهاده، رطوبت به‌مقدار بیشتری از نظام پرنهاده برای انجام تعرق در دسترس گیاه بوده است و گیاه توانسته از طریق تعرق بیشتر، اختلاف دمایی بیشتری را با دمای محیط حفظ کند. در منابع متعدد به ظرفیت بیشتر خاک جهت حفظ و نگهداری رطوبت در نظام‌های زراعی اکولوژیک و به‌ویژه نظام‌های زیستی، اشاره شده است (۳۹ و ۴۳)، ضمن این‌که وجود کود دامی در نظام زراعی اکولوژیک، این موضوع را تشدید کرده است (۴۲). لوتر و همکاران (۴۲) ضمن مطالعهٔ نظام‌های زراعی رایج و زیستی، گزارش کردند که جذب و نگهداری آب ناشی از بارندگی‌های ماه‌های شهریور- مهر در کرت‌های زیستی، ۱۰۰ درصد بیشتر از کرت‌های رایج بود. آنها همچنین گزارش کردند که عملکرد نظام زیستی ۳۸ درصد از نظام رایج بیشتر بود. از سوی دیگر، وجود عناصر غذایی بیشتر و به‌خصوص نیتروژن در نظام پرنهاده و



شکل ۱: تغییرات دمای کانوپی در نظام‌های مختلف زراعی در دو سال آزمایش و میانگین ۲ سال

در هر سال، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$).

به تبع آن رشد بیشتر گیاه، نیاز آبی گیاه را افزایش داد (۲۶).

ریاحی‌نیا و همکاران (۶) گزارش کردند که در گیاهان ذرت، آفتابگردان، پنبه و لوبیا، بین پتانسیل آب برگ و دمای کانوپی، یک رابطهٔ خطی مثبت وجود دارد.

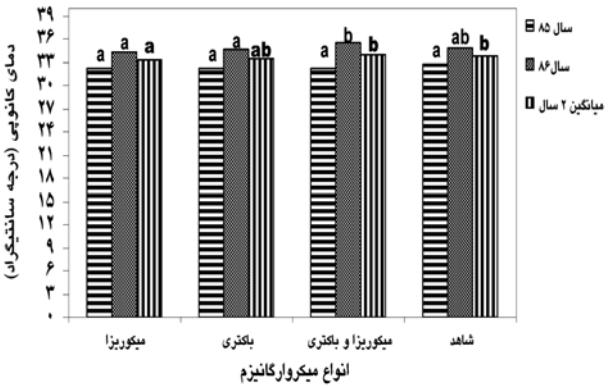
همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، کاربرد انواع میکروارگانیزم بر دمای کانوپی در سال اول آزمایش تأثیری نداشت. در سال دوم آزمایش، دمای کانوپی در تیمارهای تلقیح یک جانبه با میکوریزا و باکتری، کمتر از تیمار تلقیح دوگانه بود ولی با تیمار شاهد تفاوتی نداشت، همچنین بین تیمار تلقیح دوگانه با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. میانگین دو سال، حاکی از برتری تیمار تلقیح میکوریزایی نسبت به تیمار شاهد و تلقیح دوگانه بود، به‌عبارت‌دیگر، تلقیح میکوریزایی باعث کاهش دمای کانوپی به اندازهٔ ۱ درجهٔ‌سانتی‌گراد نسبت به تیمار شاهد شد.

در منابع متعدد (۱۵ و ۴۹) به نقش هیف‌های برون‌سلولی میکوریزا در جذب، نگهداری و انتقال آب به ریشه‌های گیاه میزبان اشاره شده است، برای مثال، خلوتی و همکاران (۴۰) گزارش کردند که در جو رشد کرده تحت شرایط خشکی، هیف‌ها ۴ درصد از آب موجود در ساختار هیفی را به گیاه منتقل کردند. با وجود این، همان‌طور که در شکل ۳-۱۱ ملاحظه می‌شود، این برتری میکوریزا در تلقیح توأم با باکتری، نتوانسته برای گیاه مفید واقع شود، این پدیده را شاید بتوان به اثرات متقابل بین میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن نسبت داد. به‌عبارت‌دیگر، احتمالاً حضور باکتری از توسعهٔ هیف‌های میکوریزا جلوگیری کرده و یا حضور باکتری سبب تشدید رشد گیاه شده و مصرف آب آن را افزایش داده، ولی با این‌حال، آب جذب و انتقال داده شده توسط میکوریزا، تعرق گیاه را جبران نکرده و در نهایت دمای کانوپی افزایش یافته است.

تنفس خاک

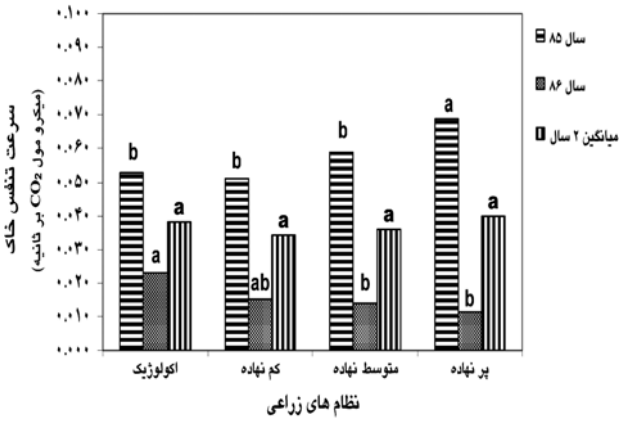
همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، بیشترین میزان تنفس میکروبی خاک در سال اول آزمایش در نظام زراعی پرنهاده وجود داشت و بقیهٔ نظام‌ها از این نظر در مرتبهٔ دوم قرار گرفتند، ضمن این‌که، بین آنها تفاوتی وجود نداشت. در سال دوم آزمایش، نتایج روند معکوسی نشان دادند، به‌این‌ترتیب که نظام اکولوژیک و کم‌نهاده بیشترین مقادیر تنفس خاک را به‌خود اختصاص دادند، ضمن‌این‌که، بین نظام‌های کم‌نهاده، متوسط‌نهاده و پرنهاده از این‌نظر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

پرابست و همکاران (۵۶) 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 در مزرعهٔ زیستی وجود داشت. اصغری‌پور و همکاران (۲) در تحقیق خود با عنوان اثر مدیریت خاک بر تنوع و



شکل ۲: تغییرات دمای کانوپی در اثر کاربرد انواع میکروارگانیزم در دو سال آزمایش و میانگین ۲ سال

در هر سال، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p\leq0.05$).



شکل ۳: تغییرات سرعت تنفس خاک در نظام‌های زراعی مختلف در دو سال آزمایش و میانگین ۲ سال

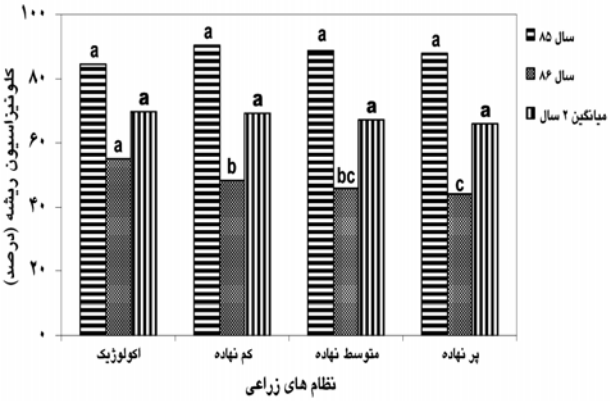
در هر سال، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p\leq0.05$).

زیست‌توده جامعهٔ میکروبی خاک، ملاحظه کردند که تنفس خاک در مزرعهٔ پرنهاده به‌طور معنی‌داری از مرتع و مزرعهٔ کم‌نهاده بیشتر بود. (آنها همچنین گزارش کردند که بیشترین مقدار پی‌اچ و فسفر نیز در مزرعهٔ پرنهاده وجود داشت). آنها به نقل از واردل و گانی (۱۹۹۵) بیان کردند که مقدار بیشتر تنفس پایه (تنفس خاک بدون افزودن هیچ مادهٔ خارجی) در خاک مزرعه پرنهاده نسبت به مراتع دست‌نخورده و مزرعه کم‌نهاده، می‌تواند به تنش‌ها یا صدمات بیشتر وارد شده بر جوامع میکروبی در نظام‌های زراعی فشرده نسبت داده شود، احتمالاً مهمترین تنش در این گونه نظام‌ها، مقدار کم مواد آلی در خاک است. اندرسون و دومش (۱۴) بیان کردند که اعمال روش‌های مدیریتی نامطلوب که سبب کاهش زیست تودهٔ میکروبی خاک شود، کارآیی میکروارگانیزم‌ها در استفاده از کربن آلی خاک را کاهش داده و باعث افزایش میزان تنفس در واحد زیست تودهٔ میکروبی خاک می‌شود. اصغری‌پور و همکاران (۲) بخشی از بیشتر بودن تنفس خاک در مزرعهٔ پرنهاده را به‌دلیل نسبت کمتر زیست‌تودهٔ قارچی در مقابل زیست تودهٔ باکتریایی، دانستند. ساکاموتو و اوبا (۶۰) نیز این موضوع را تأیید و بیان کردند که قارچ‌ها نسبت به باکتری‌ها، کارآیی بیشتری در استفاده از سوبسترای کربنی دارند، لذا با افزایش نسبت زیست‌تودهٔ قارچ به باکتری، کسر متابولیکی دی‌اکسیدکربن، کاهش می‌یابد (قارچ‌ها نسبت به باکتری‌ها، به‌دلیل دارا بودن نسبت کمتر سطح به حجم، به انرژی متابولیکی کمتری نیاز دارند). آنها بین تصاعد دی‌اکسیدکربن و کل زیست‌تودهٔ میکروبی، یک همبستگی قوی مشاهده و بیان کردند که نسبت زیست‌تودهٔ قارچی به زیست‌تودهٔ باکتریایی، عامل مهمی در تنظیم رابطهٔ تصعید دی‌اکسیدکربن و اندازهٔ زیست‌تودهٔ میکروبی است. استال و همکاران (۶۳) کاهش در نسبت قارچ به باکتری در مزارع ذرت و گونه‌ای علف چمنی یک‌ساله(*Lolium sp.*) را به کاهش در مواد گیاهی ورودی از بالا و موجود در زیر سطح خاک نسبت دادند.

درصد کلونیزاسیون طول ریشه

شکل ۴ تغییرات درصد کلونیزاسیون طول ریشهٔ ذرت در نظام‌های زراعی مختلف را نشان می‌دهد. در سال اول آزمایش، بین نظام‌های مختلف زراعی، تفاوتی از نظر درصد کلونیزاسیون طول ریشه وجود نداشت ولی در سال دوم، نظام زراعی اکولوژیک از این نظر برتری نشان داد، ضمن‌این‌که، تفاوت نظام کم‌نهاده با نظام پرنهاده نیز معنی‌دار بود. به‌عبارت‌دیگر، در سال دوم آزمایش 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 (۳۵ و ۵۶). شلاتر و همکاران (۶۱) 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 (۳۳ و ۳۵). مدر و همکاران (۴۴) گزارش کردند که درصد کلونیزاسیون ریشهٔ گیاهان، در نظام زراعی زیستی، ۴۰ درصد بیشتر از نظام زراعی رایج بود. دادز و همکاران (۲۵) 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.

عدم اختلاف بین میزان کلونیزاسیون طول ریشه در نظام‌های مختلف زراعی در سال اول آزمایش، شاید به‌خاطر



شکل ۴: تغییرات درصد کلونیزاسیون طول ریشه ذرت در نظام‌های زراعی مختلف در دو سال آزمایش و میانگین ۲ سال

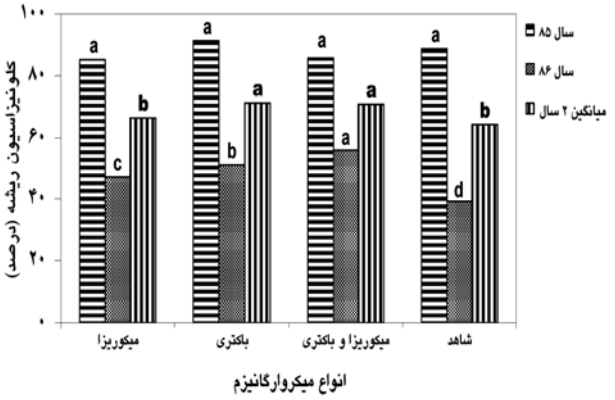
در هر سال، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$).

تاریخچهٔ زراعی زمین آزمایش باشد، با این توضیح که زمین محل انجام آزمایش در سال قبل از شروع تحقیق، آیش بود و به‌نظر می‌رسد در زمان شروع آزمایش، علی‌رغم تفاوت در نحوهٔ آماده‌سازی و میزان نهادهٔ مصرفی، از نظر وضعیت بیولوژیکی خاک تفاوت چندانی بین نظام‌های زراعی مختلف، به‌وجود نیامده باشد.

در نظام‌های زراعی که شخم حداقل 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 (۳۳ و ۳۵). احتمالاً شخم حداقل، رشته‌های میسلیومی را که عامل توسعه و انتشار قارچ روی گیاهان می‌باشند، بهتر حفظ می‌کند (۴۵ و ۵۲). گالوز و همکاران (۲۸) 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.

بالا بودن کلونیزاسیون ریشه در نظام‌های زراعی متوسط و پرنهاده را می‌توان به برخی تأثیرات احتمالی مثبت کودها و سموم شیمیایی نسبت داد، اگر چه این موضوع به تحقیق بیشتر و نیز تأیید در طول زمان، نیاز دارد. گریندلر (۳۶) گزارش کرد که در ذرت، کاربرد کودهای مخلوط متعادل، باعث افزایش آلودگی به میکوریز آربوسکولار شد. علی‌اصغرزاده و همکاران (۱۳) گزارش کردند که بین کلونیزاسیون ریشه و محتوای آب نسبی برگ، پتانسیل آب برگ، محتوای نیتروژن و پتاسیم اندام هوایی گیاه و وزن دانه، همبستگی مثبت وجود دارد و این موضوع می‌تواند دلیلی بر بهبود وضعیت آبی و تغذیه‌ای گیاه در نتیجهٔ کلونیزاسیون باشد.

همان‌گونه که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، اثر کاربرد انواع میکروارگانیزم بر درصد کلونیزاسیون طول ریشهٔ ذرت در سال دوم آزمایش و نیز میانگین دو سال، معنی‌دار بود. در سال دوم آزمایش، تلقیح دوگانه بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه را باعث شد و تلقیح باکتریایی و قارچی از این نظر در



شکل ۵- تغییرات درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت در اثر کاربرد انواع میکروارگانیزم در دو سال آزمایش و میانگین ۲ سال
در هر سال، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$).

مرتبهٔ دوم و سوم قرار گرفتند، ضمن این‌که اختلاف آنها با تیمار شاهد معنی‌دار بود. کلونیزاسیون بیشتر در تلقیح دوگانه را می‌توان به برهمکنش مثبت میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن نسبت داد.

داد (۲۴) به نقل از ویلیامز و همکاران گزارش کرد که ارتباط بین کاهش درصد کلونیزاسیون و توانایی میکوریزا در جذب عناصر غذایی، قطعی نیست. تیلاک و سینگ (۶۶) گزارش کردند که باکتری *Azospirillum brasilense* کلونیزاسیون ریشه‌ها توسط قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را تحریک کرده و رشد را در ارزن مرواریدی *Pennisetum glaucum* افزایش داد. آنها پیشنهاد کردند که وجود باکتری *Azospirillum brasilense* در پوست ریشهٔ ارزن‌مرواریدی میکوریزایی‌شده، احتمال وجود اثر متقابل مستقیم بین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و باکتری آزوسپیریلوم در داخل گیاه را تأیید می‌کند. بارآ و همکاران (۱۷) گزارش کردند که دو باکتری مذکور، رشد گیاه و آلودگی میکوریزایی را در گیاهان اسطوخودوس (*Lavandula spica* L.)، گوجه‌فرنگی و یونجه تلقیح‌شده با *G. mosseae* تحریک کردند.

برونـدرت و ابوت (۲۲) گزارش کردند که حتی در غیاب میکوریزای تلقیحی نیز کلونیزاسیون ریشه توسط میکوریزای بومی اتفاق می‌افتد. اخیراً آلن (۱۲) پیشنهاد کرده است که درصد آلودگی یا درصد کلونیزاسیون طول ریشه، متغیر مناسبی برای بیان درصد آلودگی میکوریزایی

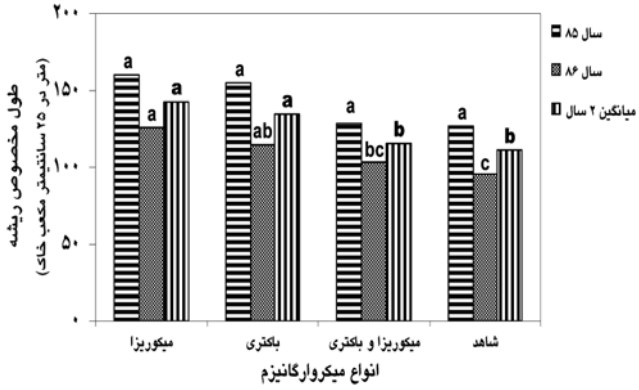
نیست، زیرا درصد آلودگی، متغیری است که از رشد دو ارگانیزم وابسته به یکدیگر ولی مجزا حاصل می‌شود که هر کدام در تلاش برای به حداکثر رساندن رشد و بقای خود است، لذا مدل‌هایی از قبیل مدل لوتکا- ولترا که هر دو موجود را در نظر می‌گیرند برای فهم بیولوژی و کارکرد میکوریزا مفیدتر هستند.

طول مخصوص ریشه

شکل ۶ تغییرات طول مخصوص ریشه (متر ریشه در ۲۵ سانتیمتر مکعب خاک) ذرت در اثر کاربرد انواع میکروارگانیزم را نشان می‌دهد. شاید بتوان ادعا کرد که این شکل به نحو مطلوبی، اثر استفاده از میکروارگانیزم‌ها را بر یکی از ویژگی‌های مهم گیاهی که طول مخصوص ریشه می‌باشد، نشان می‌دهد. همانند تغییرات درصد کلونیزاسیون ریشهٔ ذرت در اثر کاربرد انواع میکروارگانیزم (شکل ۵) طول مخصوص ریشه نیز در سال اول آزمایش برای همهٔ تیمارها یکسان بود، اگر چه طول مخصوص ریشه در تیمار تلقیح میکوریزایی به اندازهٔ ۴۸/۷ متر، بیشتر از طول مخصوص ریشه در تیمار شاهد بود.

گزارشات متعدد (۲۳ و ۴۷) 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. ابونصر (۱۰) گزارش کرد که تلقیح کدو تخم‌پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) با *Glomus intraradices*، سبب افزایش طول ریشه در مقایسه با گروه شاهد شد. مارولاندا و همکاران (۴۶) گزارش کردند که تلقیح اسطوخودوس با سویه‌های مقاوم به‌خشکی میکوریزا، سبب افزایش زیست‌توده ریشه شد. علی‌آبادی و همکاران (۷) گزارش کردند که کاربرد میکوریزا (*Glomus hoi*) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد و طول ریشهٔ گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) شد.

در سال دوم آزمایش، تلقیح میکوریزایی و باکتریایی، برتری مطلقی را نسبت به تیمار شاهد نشان دادند، ضمن این‌که روند مشابه با سال اول حفظ شد. تیلاک و سینگ (۶۶) گزارش کردند که باکتری *Azospirillum brasilense* رشد ریشه را در ارزن مرواریدی افزایش داد. بارآ و همکاران (۱۸) در تحقیق خود بر روی ذرت و علف‌چمنی

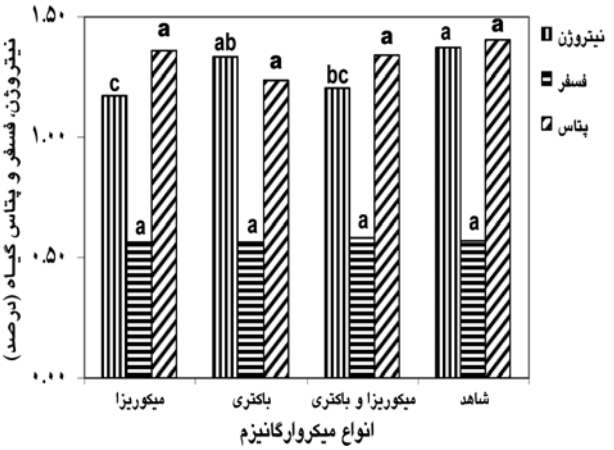


شکل ۶: تغییرات طول مخصوص ریشه ذرت در اثر کاربرد انواع میکروارگانیزم در دو سال آزمایش و میانگین ۲ سال
در هر سال، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p\leq0.05$).

(*Lolium perenne*) گزارش مشابهی ارائه کردند. این واکنش‌ها 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 (۱۷، ۳۶ و ۶۶). نقش فعال هیف قارچ میکوریز آربسکولار در انتقال آب و ارتباط این پدیده‌ها با توانایی بهره‌برداری از آب خاک توسط گیاهان آلوده به میکوریز آربسکولار در پتانسیل‌هایی پایین‌تر از حدی که گیاهان غیر میکوریز آربسکولار به آن دسترسی دارند، سبب شده است که همزیستی میکوریز آربسکولار به‌عنوان یک فن‌آوری مفید در کشاورزی مناطق خشک، مورد توجه قرار گیرد (۱۵ و ۲۰). علی‌اصغرزاده و همکاران (۱۳) اجتناب از خشکی را سازوکار اصلی تخفیف تنش در اجتماع گیاه- میکروب در گیاه سویا بیان کردند. عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمار تلقیح باکتریایی و تیمار تلقیح دوگانه در سال دوم آزمایش، در میانگین دو سال به‌صورت تفاوت معنی‌دار ظاهر شد.

درصد نیتروژن، فسفر و پتاس ذرت

شکل ۷ نتایج تجزیهٔ مرکب درصد نیتروژن، فسفر و پتاس بافت گیاه ذرت را نشان می‌دهد. از نظر درصد نیتروژن، تیمار شاهد و تلقیح باکتریایی، برتری معنی‌داری



شکل ۷: تغییرات درصد نیتروژن، فسفر و پتاس ذرت در اثر کاربرد انواع میکروارگان‌یزم (میانگین ۲ سال آزمایش)
برای هر عنصر، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p\leq0.05$).

نسبت به تلقیح میکوریزایی داشتند، هر چند که تفاوت تلقیح باکتریایی با تلقیح دوگانه، معنی‌دار نبود.

غلامی (۸) گزارش کرد که تلقیح ذرت با سه گونهٔ میکوریزا، میزان نیتروژن گیاه را نسبت به شاهد، به‌طور معنی‌داری افزایش داد. ناظری اردکانی (۹) گزارش کرد که تلقیح یونجه با میکوریزا در شرایط استریل، سبب افزایش معنی‌دار مقدار کل نیتروژن گیاه شد. اصغری و غلامی (۱) گزارش کردند که کاربرد میکوریزا باعث افزایش غلظت فسفر اندام‌های هوایی و ریشه در شبدر میکوریزایی‌شده در شرایط شور شده و استقرار آن را بهبود بخشید.

میکوریزا به دو طریق مستقیم (جذب و انتقال نیتروژن محلول) و غیرمستقیم (با ترشح ترکیبات آلی و تبدیل نیتروژن نامحلول خاک به فاز محلول و سپس انتقال آن) سبب افزایش نیتروژن گیاه میزبان می‌شود، همچنین، بر فرآیند تثبیت نیتروژن تأثیر می‌گذارد (۴۸). بیاری و همکاران (۳) گزارش کرد که تلقیح ذرت با باکتری‌های محرک رشد (ازوتوباکتر و آزوسپیریلوم) سبب افزایش معنی‌دار مقدار عناصر نیتروژن و فسفر گیاه در مقایسه با شاهد شد. با مقایسهٔ عملکرد مادهٔ خشک (شکل نشان داده نشده است) و تغییرات درصد نیتروژن، فسفر و پتاس گیاه (شکل ۷) در اثر کاربرد انواع میکروارگانیزم، درصد کمتر نیتروژن در تلقیح دوگانه و تلقیح میکوریزایی نسبت به تیمار شاهد، را می‌توان به رقیق‌شدن نیتروژن در اثر رشد بیشتر گیاه در تلقیح دوگانه نسبت داد. آهیابور و هیراتا (۱۱) نتایج مشابهی را برای سه لگوم مناطق گرمسیری گزارش کردند.

درصد فسفر موجود در بافت گیاهی در تمام سطوح کاربرد میکروارگانیزم یکسان بود، هر چند که انتظار می‌رفت این مقدار در اثر تلقیح میکوریزایی بیشتر از سایر تیمارها باشد. ابونصر (۱۰) گزارش کرد که تلقیح کدو تخم‌پوست‌کاغذی با *Glomus intraradices* تحت شرایط خشکی، سبب افزایش مقدار فسفر و پتاس در اندام هوایی گیاه میزبان شد. محمد و همکاران (۵۰) گزارش کردند که تلقیح جو با *Glomus intraradices* سبب افزایش غلظت فسفر بوته‌ها شد. غلامی (۸) گزارش کرد که تلقیح ذرت با میکوریزا گونهٔ *G. mosseae* و *G. caledonium* به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب بر درصد فسفر و نیتروژن بافت گیاهی تأثیر داشت. ناظری اردکانی (۹) گزارش کرد که گیاهان تلقیح‌شده با میکوریزا به میزان ۱۵۳ درصد، غلظت فسفر بالاتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشتند.

در مورد درصد پتاسیم بافت گیاهی نیز، حالتی مشابه با فسفر مشاهده شد. محمد و همکاران (۵۰) بیان کردند که همزیستی میکوریزایی تأثیری بر محتوا و غلظت پتاسیم گیاه نداشت، با این وجود، مارولاندا و همکاران (۴۶) افزایش جذب پتاسیم را توسط اسطوخودوس در نتیجهٔ تلقیح میکوریزایی گزارش کردند. غلامی (۸) گزارش کرد که تلقیح ذرت با *G. mosseae* و *G. intraradices* درصد پتاسیم گیاه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. او به نقل از لی‌لین و همکاران، بهبود جذب عناصر غذایی توسط قارچ میکوریزا را به اثرات مستقیم جذب توسط هیف و یا اثرات غیرمستقیم ناشی از تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در ریشه‌های گیاه میزبان نسبت داد. علی‌اصغرزاده و همکاران (۱۳) گزارش کردند که تلقیح میکوریزایی و باکتریایی به‌طور جداگانه، سبب افزایش محتوای پتاسیم گیاه شدند، ولی بیشترین محتوای پتاسیم اندام گیاهی در نتیجهٔ تلقیح دوگانهٔ سویا (میکوریزا و *Bradyrhizobium japonicum*) حاصل شد. بیاری و همکاران (۳) گزارش کرد که تلقیح ذرت با باکتری آزوسپیریلوم، سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم گیاه در مقایسه با شاهد شد. اصغری و

غلامی (۱) گزارش کردند که میکوریزا سبب افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در ریشهٔ شبدر رشد یافته تحت شرایط شوری شد. محمد و همکاران (۵۰) گزارش مشابهی در مورد جو ارائه کردند.

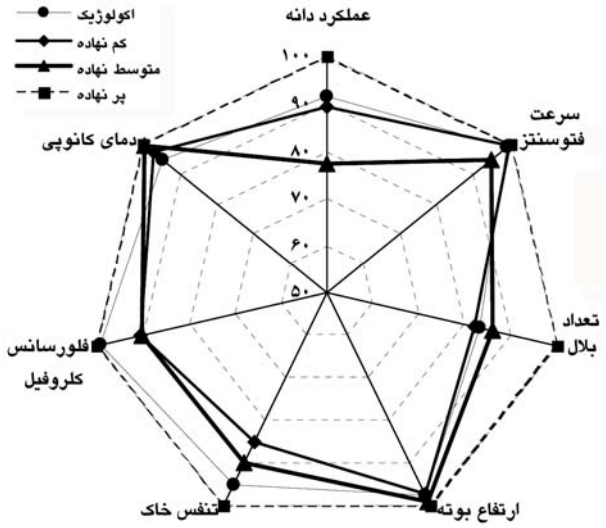
تغییرات برخی ویژگیهای خاک و گیاه ذرت در چهار نظام زراعی

شکل ۸ کارکرد چهار نظام زراعی را در ارتباط با برخی صفات اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، در مورد صفاتی چون عملکرد دانه، تعداد بلال، و تنفس خاک، برتری با نظام زراعی پرنهاده بود. از نظر ارتفاع بوته، اختلاف موجود بین نظام‌های مختلف، قابل توجه نبود. دمای کانوپی در نظام اکولوژیک، تقریباً ۱۰ درصد کمتر از نظام پرنهاده بود.

اگر بخواهیم با یک دید کوتاه‌مدت و صرفاً اقتصادی و بر مبنای عملکرد دانه، یک ارزیابی کلی از شکل داشته باشیم، باز هم مزیت نظام‌های اکولوژیک و کم‌نهاده آشکار می‌شود، زیرا اختلاف دو نظام اکولوژیک و کم‌نهاده با یکدیگر بسیار کم و درعین‌حال، حد وسط دو نظام پرنهاده و متوسط‌نهاده قرار می‌گیرند. به‌عبارت‌دیگر، کاهش تقریباً ۱۰ درصدی عملکرد دو نظام اکولوژیک و کم‌نهاده نه‌تنها با مصرف کمتر نهاده از نظر هزینه‌ها، جبران می‌شود، بلکه در طولانی مدت نیز پایداری این‌گونه نظام‌ها را درپی خواهد داشت. اُاهل و همکاران (۵۲) گزارش کردند که مصرف کود و انرژی در مزارع زیستی نسبت به مزارع رایج، به میزان ۵۳-۳۴ درصد کاهش یافت، در حالی‌که کاهش عملکرد فقط ۲۰ درصد بود.

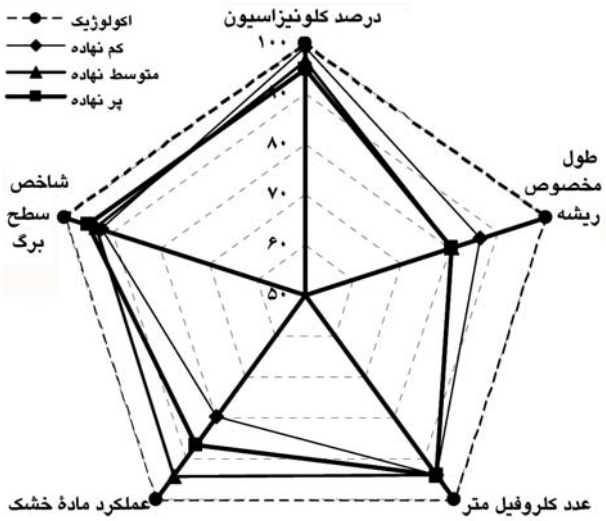
تغییرات برخی ویژگیهای ریشه و گیاه ذرت در چهار نظام زراعی

شکل ۹ نشان می‌دهد که از نظر صفاتی چون درصد کلونیزاسیون طول ریشه، طول مخصوص ریشه، عملکرد مادهٔ خشک، شاخص سطح برگ و عدد کلروفیل‌متر، برتری با نظام اکولوژیک بود، ضمن این‌که در مورد صفاتی مثل طول مخصوص ریشه و عملکرد مادهٔ خشک، اختلاف نظام اکولوژیک با نظام‌های دیگر، چشمگیر می‌باشد. با مقایسهٔ شکل‌های ۸ و ۹ می‌توان دریافت که عملکرد دانهٔ بیشتر در نظام پرنهاده، به دلیل شاخص برداشت بیشتر بوده است.



شکل ۸: تغییرات سرعت فتوسنتز، عملکرد دانه، دمای کانوپی، فلورسانس کلروفیل، تنفس خاک، ارتفاع بوته و تعداد بلال ذرت در چهار نظام زراعی (مقایسه بر مبنای درصد نسبت به نظام پرنهاده)

برخی محققان (۳۹، ۴۵ و ۵۵) زیست‌تودهٔ بیشتر گیاهان در نظام‌های اکولوژیک را یکی از دلایل مهم پایداری این‌گونه نظام‌ها از نظر تأمین انرژی برای سایر سطوح درگیر در این نظام‌ها ذکر کرده‌اند. آنچه که در این‌گونه نظام‌ها مهم است، شکل‌گیری اثرات متقابل، افزایش کارآیی مصرف مواد و انرژی، خوداتکایی، برگشت‌پذیری و در نهایت پایداری در طول زمان است، و عملکرد اقتصادی در



شکل ۹: تغییرات درصد کلونیزاسیون، شاخص سطح برگ، عملکرد مادهٔ خشک، عدد کلروفیل‌متر و طول مخصوص ریشهٔ ذرت در چهار نظام زراعی (مقایسه بر مبنای درصد نسبت به نظام اکولوژیک)

این نظام‌ها در میان ارزش‌های بالای اکولوژیکی، چندان مورد توجه نمی‌باشد (۳۴ و ۵۵)، هر چند از این‌نظر نیز، همان‌گونه که ذکر شد در بعضی موارد در جایگاهی بالاتر از نظام‌های رایج قرار می‌گیرند، به‌عنوان مثال ژنفنگ و همکاران (۶۹) گزارش کردند که عملکرد توت‌فرنگی در نظام زیستی نسبت به نظام رایج، ۲۸ درصد بیشتر بود. لوتر (۴۳) گزارش کرد که کاهش عملکرد در نظام‌های زیستی به‌طور متوسط ۱۰ تا ۱۵ درصد است که آن هم عموماً با هزینهٔ کم‌نهاده‌ها و فواید جانبی بیشتر، جبران می‌شود.

به‌منظور تحلیل عمیق‌تر رابطهٔ بین عملکرد به‌عنوان متغیر تابع (Y) و صفات مؤثر بر آن (متغیرهای مستقل، X) از تکنیک رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. به‌این منظور، ابتدا کلیهٔ متغیرهای تحت بررسی شامل شاخص سطح برگ (X_1)، دمای کانوپی (X_2)، عدد کلروفیل‌متر (X_3)، درصد کلونیزاسیون طول ریشه (X_4)، طول مخصوص ریشه (X_5)، تنفس خاک (X_6)، تعداد بلال (X_7)، ارتفاع بوته (X_8)، قطر ساقه (X_9)، نسبت فلورسانس کلروفیل متغیر به حداکثر (X_{10})، فتوسنتز (X_{11}) و عملکرد مادهٔ خشک (X_{12})، در مدل رگرسیون قرار گرفت. در اولین مرحله از اجرای رگرسیون، رابطهٔ بین عملکرد دانه (Y) و کلیهٔ متغیرهای تحت بررسی (X_1 ... X_n) برآورد گردید. ضریب همبستگی این مدل r = ۰/۸۸ محاسبه شد. سپس، به‌منظور حذف متغیرهای دارای تأثیر جزئی بر عملکرد، از روش رگرسیون گام‌به‌گام پس‌رونده استفاده گردید. نتایج این رگرسیون نشان داد که در این تحقیق، متغیرهای شاخص سطح برگ (X_1)، دمای کانوپی (X_2)، عدد کلروفیل‌متر (X_3)، طول مخصوص ریشه (X_5) و تعداد بلال (X_7)، اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد دانهٔ ذرت بوده‌اند (معادلهٔ ۲).

$$Y = -31.1 + (2.27\ X_1) + (0.430\ X_2) + (0.349\ X_3) + (0.0119\ X_4) + (0.557\ X_5) \qquad r = 0.86^{**}$$

(معادلهٔ ۲)

که در آن:

Y= عملکرد دانه (تن در هکتار)

X_1= شاخص سطح برگ

X_2= دمای مطلق کانوپی (درجهٔ سانتی‌گراد)

X_3= عدد کلروفیل‌متر

X_4= طول مخصوص ریشه (متر در ۲۵ سانتی‌متر مکعب خاک)

X_5= تعداد بلال است.

ضرایب معادلهٔ ۲، تأثیر نسبی تغییرات هر یک از متغیرهای موجود در مدل را بر عملکرد دانه نشان می‌دهد. برای مثال، طبق ضرایب این معادله، تغییر عملکرد دانه به ازای هر واحد تغییر شاخص سطح برگ، ۲/۲۷ واحد بوده در حالی‌که این تغییر به ازای هر واحد افزایش یا کاهش دمای کانوپی، ۰/۴۳ خواهد بود. به بیان دیگر، سهم نسبی شاخص سطح برگ در مقایسه با دمای کانوپی در حدود ۵ برابر می‌باشد. البته باید جهت تفسیر بهتر این نتایج، به واحد اندازه‌گیری هر متغیر نیز توجه داشت. حال با توجه به تأثیر تیمارهای آزمایش (نظام‌های زراعی و کاربرد میکروارگانیزم‌ها) موجود در مدل فوق، این امکان فراهم شد تا بر اساس میزان افزایش یا کاهش متغیرهای تحت تأثیر تیمارهای به‌کار رفته، پاسخ عملکرد دانهٔ ذرت را به صورت کمی ارزیابی نمود.

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

منابع

۱- اصغری، ح.ر.، و غلامی، ا. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر قارچ میکوریزای آربسکولار (AM) و فسفر در استقرار گیاه شبدر در شرایط شوری. خلاصه مقالات دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران، ۲۵ و ۲۶ مهرماه ۱۳۸۶، گرگان. ص. ۹۲.

۲- اصغری‌پور، م.ر.، ریاحی‌نیا، ش.، و کوچکی، ع. ۱۳۸۶. اثر مدیریت کاربری زمین بر بیوماس و تنوع جامعه میکروبی خاک. مجله دانش کشاورزی. ۱۷(۲): ۲۶-۱۵.

۳- بیاری، آ.، غلامی، ا.، و اسدی رحمانی، ه. ۱۳۸۶. تولید پایدار و بهبود جذب عناصر غذایی ذرت در عکس العمل به تلقیح بذر توسط باکتری های محرک رشد. خلاصه مقالات دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران، ۲۵ و ۲۶ مهرماه ۱۳۸۶، گرگان. ص. ۸.

۴- حاجی‌بلند، ر.، علی‌اصغرزاده، ن.، و مهرفر، ز. ۱۳۸۳. بررسی اکولوژیکی ازوتوباکتر در دو منطقهٔ مرتعی آذربایجان و اثر تلقیح آن روی رشد و تغذیهٔ معدنی گیاه گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۸ (۲): ۹۰-۷۵.

۵- رجالی، ف.، علیزاده، ع.، ملکوتی، م.ج.، صالح راستین، ن.، خاوازی، ک.، و اصغرزاده، ا. ۱۳۸۵. تکثیر *Glomus intraradices* و تهیهٔ مایه تلقیح آن قارچ به روش کشت درون شیشه‌ای.. مجلهٔ علوم خاک و آب. ۲۰ (۲): ۲۸۳-۲۷۳.

۶- ریاحی‌نیا، ش.، کوچکی، ع.، و نصیری محلاتی، م. ۱۳۸۵. درجه حرارت در داخل پوشش گیاهی و ارتباط آن با پتانسیل آب برگ در چند گونه زراعی. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۲۰: ۱۶۲-۱۵۵.

۷- علی‌آبادی فراهانی، ح.، لباسچی، م.ح.، شیرانی راد، ا.ح.، ولدآبادی، ع.، حمیدی، آ.، دانشیان، ج.، عباس‌زاده، ب.، و علیزاده سهزابی، ع. ۱۳۸۶. 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، ۲۵ و ۲۶ مهرماه ۱۳۸۶، گرگان. ص. ۸۳

۸- غلامی، ا. ۱۳۷۹. نقش قارچ های میکوریز وزیکولار آربسکولار در تأمین پایدار عناصر غذایی در ذرت. پایان‌نامهٔ دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۹- ناظری‌اردکانی، و. ۱۳۸۲. حضور و فراوانی میکوریزای آربوسکولی در خاکهای زراعی استان خراسان و بررسی همزیستی آنها با گیاه یونجه در یک خاک شور. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

10-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.*

11-Ahiabor, D.B., and H. Hirata. 1994. Characteristics response of three tropical legumes to the inoculation of two species of VAM fingi in Andosol soils with different fertilities. *Mycorrhiza. 5:163-170.*

12-Allen, M.F. 2001. Modeling arbuscular mycorrhizal infection: is % infection an appropriate variable? *Mycorrhiza, 10: 255-258.*

13-Aliasgharzade, N., M.R. Neyshabouri and G. Salimi. 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. *Biologiae, 61: 324-328.*

14-Anderson, T.H., and K.H. Domsch. 1993. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry, 22: 251-255.*

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

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

17-Barea, J.M., C. Azcon-Aguilar and R. Azcon. 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.

18-Barea, J.M., A.F. Bonis and J. Olivares. 1983. Interaction between Azospirillum and VA mycorrhiza and their effects on growth and nutrition of maize and ryegrass. *Soil Biology and Biochemistry, 15: 706-709.*

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

20-Bethlenfalvay, G.J., M.S. Brown, R.N. Ames and R.S. Thomas. 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Physiologia Plantarum, 72: 565-57.*

21-Bremner, J.M., and C.S. Mulvaney. 1965. Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agronomy Series No. 9, Part 2. pp. 595-622.

22-Brundrett, M.C., and L.K. Abbott. 2002. Arbuscular mycorrhizas in plant communities. In: Microorganisms in Plant Conservation and Biodiversity. Sivasithamparam, K., Dixon, K.W., and Barrett, R.L. (Eds.). Kluwer Academic Press. ISBN: 1402007809. pp. 151-193.

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

24-Dodd, J.C. 2000. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro-natural ecosystems. *Outlook on Agriculture, 29: 63-70.*

25-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. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 43: 325-335.*

26-Evans, L.T. 1993. Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge University Press. 512 p. ISBN: 0521295580.

27-Fairchild, G.L., and M.H. Miller. 1990. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and the soil-disturbance-induced reduction of nutrient absorbtion in maize III. Influence of phosphorus amendments to soil. *New Phytologist, 114:641-650.*

28-Galvez, L., Jr.D.D. Douds, 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: 299-308.*

29-Gianinazzi, S., H. Schuepp, J.M. Barea and K. Haselwandter. 2001. Mycorrhizal technology in agriculture: from genes to bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 376436858. Also in: *Mycorrhiza, 13: 53-54.* Lovato, P. Book review.

30-Giovannetti, M., and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist, 84: 489-500.*

31-Given, D.R., K.W. Dixon, R.L. Barrett and K. Sivasithamparam. 2002. Plant conservation and biodiversity: The place of microorganisms. In: Microorganisms in Plant Conservation and Biodiversity. Sivasithamparam, K., K.W. Dixon and R.L. Barrett. (Eds.). Kluwer Academic Press. ISBN: 1402007809. pp. 1-24.

32-Gliessman S.R., 1998. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. CRC Press. ISBN: 1-57504-043-3

33-Golner, M., J. Friedel and B. Freyer. 2005. Arbuscular Mycorrhiza of winter wheat under different duration of organic farming. *Proceeding of the conference "Researching Sustainable Systems*. 2005, Adelaide, Australia,.

34-Gosling, P., A. Hodge, G. Goodlass and G.D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhiza fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 113: 17-35.*

35-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: 159-166.*

36-Gryndler, M. 2000. Interaction of arbuscular mycorrhizal fungi with other soil organisms. In: Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Kapulnik Y., and D.D. Douds. (Eds.). pp. 239-262. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. ISBN 0-7923-6444-9.

37-Harrison, M.J. 2005. Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of Microbiology, 59: 19-42.*

38-Hodge, A. 2000. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. *FEMS Microbiology Ecology, 32: 91-96.*

39-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? *Biological Conservation, 122: 113-130.*

40-Khalvati, M.A., Y. Hu, A. Mozafar and U. Schmidhalter. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relation, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology, 7: 706-712.*

41-Kormanik, P.P., and A.C. McGraw. 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.

42-Kuepper, G. 2003. Manures for organic crop production. ATTRA, Fayetteville, AR 72702. Available online (July 2004) at: www.attra.ncat.org/attra-pub/manures.htm

43-Lotter, D.W., R. Seidel and W. Liebhardt. 2003. The performance of organic and conventional cropping systems in an extreme climate year. *American Journal of Alternative Agriculture, 18: 146-154.*

44-Mader, P., A. Fliessbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science, 296: 1694-1697.*

45-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. *Biology and Fertility of Soils. 31: 150-156.*

46-Marulanda, A., R. Porcel, J.M. Barea and R. Azcon. 2007. Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought-tolerant or drought-sensitive Glomus Species. *Microbial Ecology, 54: 543-552.*

47-McGonigle, T.P., and M.H. Miller. 1999. Winter survival of extraradical hyphae and spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the field. *Applied Soil Ecology, 12: 41-50.*

48-Miller, M.H. 2000. Arbuscular mycorrhiza and phosohorus nutrition of maize; a review of Guelph studies. *Canadian Journal of Plant Science, 80: 47-52.*

49-Miller, R.M., and J.D. Jastrow. 1992. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. *Proceedings of a symposium on mycorrhizae in sustainable agriculture. Bethlenfalvay, G.J., and Linderman, R.G. (Eds.). ASA Special Publication. No. 54. Madison, Wisconsin, USA. pp. 29-44.*

50-Mohammad, M.J., H.I. Malkawi and R. Shibi. 2003. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts. *Journal of Plant Nutrition, 26: 125-137.*

51-Morphy, J., and J.P. Riley. 1962. Phosphorus analysis procedure. In: Methods of soil analysis: part 2, Chemical and

Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. Madison, Wisconsin USA. pp. 413-427.

52-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: 574-583.*

53-Okon, Y., and C. Labandera. 1994. Agronomic application of Azospirillum: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biol. Biochem. 26: 1591-1601.*

54-Panwar J.D.S. 1991. Effect of VAM and *Azospirillum brasilense* on photosynthesis, nitrogen metabolism and grain yield in wheat. *Indian Journal of Plant Physiology, 34: 357-361.*

55-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: 573–582.*

56-Probst, B., C. Schuler and R.G. Joergensen. 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.*

57-Rajapakse, S., and C. Miller. 1992. Methods for studying vesicular-arbuscular mycorrhizal root colonization and related root physical properties. In: Methods in microbiology, Volume 24. Norris, J.R., Read, D.J., and Varma, A. K. (Eds.). Academic Press Ltd., USA. pp. 302-316.

58-Roth, G., and Goyne, Ph. 2004. Measuring plant water status. In: Waterpak. Dugdale, H., Harris, G., Neilsen, J., Richards, D., Roth, G., and Williams, D. (Eds.). 2004. Cotton CRC, CSIRO, Narrabi, Australia. pp. 157-164. Available online at: http://web.cotton.crc.org.au/content/Industry/publications/Water and Irrigation/Waterpak

59-Ryan, M.H., G.A. Chilvers and D.C. Dumaresq. 1994. Colonization of wheat by VAM fungi was found to be higher on a farm managed in an organic manner than on a conventional. *Plant and Soil, 160: 33-40.*

60-Sakamoto, K., and Y. Oba. 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.*

61-Schloter, M., H.J. Bach, S. Metz, U. Sehy and J.C. Munch. 2003. Influence of precision farming on the microbial community structure and functions in nitrogen turnover. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 98: 295–304.*

62-Schoenwitz, R., and H. Ziegler. 1986. Influence of rhizosphere bacteria on morphological characteristics of maize seedlings (*Zea mays* L.). *Z. Pflanzenernaehr. Boden, 149: 614-622.*

63-Stahl, P.D., T.B. Parkinand and M. Christensen. 1999. Fungal presence in paired cultivated and uncultivated soils in central Iowa, USA. *Biology and Fertility of Soils, 29: 92-97.*

64-Sylvia, D.M., J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel and D.A. Zuberer. 2005. Principles and applications of soil microbiology. 2nd ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey. 640 p. ISBN: 0130941174

65-Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology, 63: 995-1001.*

66-Tilak, K.V.B.R., and C.S. Singh. 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.*

67-Tilman, D., K.G. Cassman, P.A. Matson, R. Naylor and S. Polaskt. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature, 418: 671-677.*

68-Van der Heijden, M.G.A., and I. Sanders. 2002. Mycorrhizal ecology. Springer, Berlin, Heidelberg. 469 p. ISBN:3540424075

69-Zhenfeng, L.I., X. Yunguan, T. Chongei and W. Oiuhua. 1994. A comparative study of energy and economic flows between organic and conventional strawberry production systems in Nonging. China. (Unpublished).

70-Zhu, Y.G., and R.M. Miller. 2003. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. *Trends in Plant Science, 8: 407-409.*

The effect of biological fertilizers application on some agroecological characteristics of corn under conventional and ecological cropping systems

M. Jahan, A. Koocheki, R. Ghorbani, F. Rejali, M. Aryayi, E. Ebrahimi

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 2005-2007. 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. Dry matter (DM), seed yield (SY), leaf area index (LAI) canopy temperature (CT), soil respiration rate (SRR), root length colonization percent (RLCP), specific root length (SRL), plant and soil N, P, and K content were measured. Results showed that the lowest CT existed in ecological cropping system. The same was observed for inoculants effect on CT. SRS and RLCP were not affected by cropping systems, but the effect of inoculants was significant, the highest SRS existed in dual inoculation. The highest SRL observed in fungus and bacterial inoculation. The effect of inoculants on plant P and K was not significant and the lowest plant N was observed in fungus inoculation. Correlation coefficients showed that, the strongest correlation obtained for DM and LAI, and between SRL and SY. The positive and significant correlation between RLCP and LAI, and between SRL and DM, emphasis that any factor increasing RLCP and SRL will increase LAI and DM, thereby, seed yield. Yield estimation model predicted that SY was determined by some variables such as LAI, CT, SRL. 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: Corn, biological fertlizers, mycorrhiza, Azotobacter, Azospirillum, conventional cropping system, ecological cropping system.

1-Contribution from College of Agriculture, College of Natural Resources and Environmental Sciences, Ferdowsi University of Mashhad and National Institute for Soil and Water Researches