بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد اگرواکولوژی

تأثیر دو گونه قارچ میکوریز آرباسکولار (AM) بر کارایی مصرف آب در ذرت

مریم‌السادات یوسف‌ثانی

استادان راهنما

دکتر محمدرضا عامریان- دکتر علیرضا کوچکی

استاد مشاور

دکتر مهدی نصیری‌محلاتی

دکتر حمید عباس‌دخت

شهریور ۱۳۹۰

تأثیر دو گونه قارچ میکوریز آرباسکولار (AM) بر کارایی مصرف آب در ذرت

چکیده

یکی از مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود آب است. تعیین عملکرد در تنش های مختلف و استفاده از میکروارگانیزم های خاک برای کاهش خسارت ناشی از آن از راه حل های نوین کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک است. همزیستی قارچ های میکوریزای آرباسکولار (AM) با ریشه گیاهان زراعی تاثیرات مثبتی در نظام های زراعی نشان داده است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر دو گونه قارچ میکوریزا بر کارایی مصرف آب در گیاه ذرت در سال زراعی ۸۸-۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح میکوریزا (شاهد و دو گونه قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) و چهار سطح آبیاری (۲۵٪ نیاز آبی ذرت، ۵۰٪ نیاز آبی ذرت، ۷۵٪ نیاز آبی ذرت و ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت) بود. صفات عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد بلال، عملکرد بیولوژیک، تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، دمای کانوپی (CTD)، عدد کلروفیل متر (SPAD)، درصد رطوبت نسبی برگ (RWC)، طول مخصوص ریشه، درصد کلونیزاسیون ریشه، و کارایی مصرف آب اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که استفاده از هر دو نوع قارچ میکوریزای مذکور، تأثیر معنی داری بر صفات عملکرد دانه، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، دمای کانوپی، عدد کلروفیل متر، درصد رطوبت نسبی برگ، طول مخصوص ریشه و کارایی مصرف آب داشت ($p\leq$۰/۰۵). اما تأثیر آن بر تعداد بلال، معنی دار نبود ($p\geq$۰/۰۵). نوع میکوریزای استفاده شده، تأثیر معنی داری بر درصد کلونیزاسیون ریشه نداشت. استفاده از سطوح آبیاری مختلف هم تأثیر معنی داری بر تمام صفات مذکور داشت ($p\leq$۰/۰۵). به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از قارچ های میکوریز در سطوح کم آبیاری، می تواند با گسترش ریشه و افزایش سطح جذب آن، جذب آب و عناصر غذایی را توسط گیاه افزایش داده و ضمن افزایش مقاومت گیاه در برابر کم آبی، موجب افزایش ماده خشک تولیدی در ازای مقدار آب مصرفی (افزایش کارایی مصرف آب) گردیده و مصرف آب و نهاده های شیمیایی را در تولید این گیاه کاهش دهد.

واژه های کلیدی: عملکرد بیولوژیک، دمای کانوپی، شاخص سطح برگ، طول مخصوص ریشه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه **۱**

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- اهمیت آب **۷**

۲-۱-۱- کارآیی مصرف آب **۸**

۲-۲- اهمیت بوم نظام خاک **۱۰**

۲-۲-۱- بوم شناسی میکروبی خاک **۱۱**

۲-۳- تعریف، تاریخچه و ویژگی های قارچ شناسی میکوریزا **۱۲**

۲-۳-۱- تقسیم بندی قارچ های میکوریز **۱۵**

۲-۳-۲- تاکسونومی میکوریزا **۱۸**

۲-۳-۳- چگونگی و مراحل رشد میکوریزا **۱۹**

۲-۴- اهمیت میکوریزا در بوم نظام ها **۲۰**

۲-۴-۱- میکوریزا و بوم نظام خاک **۲۳**

۲-۴-۲- میان کنش بین میکوریزا و میکروارگانیزم های خاک **۲۵**

۲-۵- نقش قارچ های میکوریز در بوم نظام های کشاورزی **۲۶**

۲-۵-۱- تأثیر عملیات زراعی بر قارچ های میکوریز **۲۷**

۲-۵-۲- نقش قارچ های میکوریز در کشاورزی پایدار **۲۸**

۲-۶- بعضی از اثرات اکوفیزیولوژیک میکوریزا بر گیاه میزبان **۲۹**

۲-۶-۱- میکوریزا و جذب فسفر و برخی عناصر غذایی دیگر **۲۹**

۲-۶-۲- میکوریزا و روابط آبی **۳۰**

۲-۶-۳- میکوریزا و سرعت فتوسنتز **۳۵**

۲-۶-۴- میکوریزا و میزان کلروفیل برگ **۳۶**

۲-۷- کلیاتی در مورد گیاه ذرت **۳۶**

۲-۷-۱- تاریخچه و اهمیت اقتصادی ذرت **۳۶**

۲-۷-۲- توسعه کشت ذرت در ایران **۳۶**

۲-۷-۳- مشخصات گیاهشناسی ذرت **۳۷**

۲-۷-۴- انواع ذرت **۳۸**

۲-۷-۵- نیازهای اکولوژیکی ذرت **۳۸**

۲-۷-۵-۱- حرارت **۳۸**

۲-۷-۵-۲- خاک **۳۸**

فهرست مطالب

۲-۷-۵-۳- رطوبت ۳۹
۲-۷-۶- عملکرد ذرت ۳۹

فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱- موقعیت جغرافیایی محل آزمایش ۴۰
۳-۲- طرح آماری آزمایش ۴۱
۳-۳- عملیات مزرعه ای ۴۱
۳-۳-۱- اندازه گیری سطح برگ
۳-۳-۲- اندازه گیری ارتفاع بوته ۴۲
۳-۳-۳- تعیین مقدار ماده خشک ۴۳
۳-۳-۴- اندازه گیری شاخص کلروفیل برگ یا عدد کلروفیل متر ۴۳
۳-۳-۵- اندازه گیری دمای کانوپی ۴۳
۳-۳-۶- اندازه گیری درصد رطوبت نسبی برگ ۴۳
۳-۳-۷- محاسبه کارآیی مصرف آب ۴۴
۳-۳-۸- تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ۴۵
۳-۳-۹- تعیین طول مخصوص ریشه ۴۵
۳-۳-۱۰- تعیین درصد کلونیزاسیون طول ریشه ۴۶
۳-۴- تجزیه و تحلیل آماری ۴۸

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- عملکرد دانه ۵۰
۴-۲- وزن هزار دانه ۵۳
۴-۳- تعداد بلال در متر مربع ۵۵
۴-۴- عملکرد بیولوژیک ۵۷
۴-۵- شاخص سطح برگ ۶۰
۴-۶- ارتفاع بوته ۶۲
۴-۷- تجمع ماده خشک ۶۵
۴-۸- میزان کلروفیل ۶۸
۴-۹- محتوای رطوبت نسبی برگ ۷۰
۴-۱۰- دمای کانوپی ۷۳

۴-۱۱- طول مخصوص ریشه ۷۶

فهرست مطالب

۴-۱۲- درصد کلونیزاسیون طول ریشه ۷۹
۴-۱۳- کارایی مصرف آب (در مورد عملکرد بیولوژیک) ۸۱
۴-۱۴- کارایی مصرف آب (در مورد عملکرد دانه) ۸۵

فصل پنجم: نتیجه گیری ۸۹
فصل ششم: پیشنهادات ۹۱
فصل هفتم: منابع ۹۲

پیوست ها

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل۱) تأثیر نوع میکوریزا بر عملکرد دانه **۵۲**
شکل۲) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر عملکرد دانه ذرت **۵۲**
شکل۳) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر عملکرد دانه **۵۳**
شکل۴) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری بر وزن هزاردانه ذرت **۵۴**
شکل۵) تاثیر نوع میکوریزا بر وزن هزاردانه ذرت **۵۴**
شکل۶) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر وزن هزاردانه ذرت **۵۵**
شکل۷) تاثیر نوع میکوریزا بر تعداد بلال ذرت **۵۶**
شکل۸) تاثیر گونه های میکوریز در سطوح آبیاری مختلف بر تعداد بلال ذرت **۵۷**
شکل۹) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر تعداد بلال ذرت **۵۷**
شکل۱۰) تاثیر نوع میکوریزا بر عملکرد بیولوژیک ذرت **۵۹**
شکل۱۱) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر عملکرد بیولوژیک ذرت **۵۹**
شکل۱۲) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر عملکرد بیولوژیک ذرت **۶۰**
شکل۱۳) تاثیر نوع میکوریزا بر روند تغییرات شاخص سطح برگ **۶۲**
شکل۱۴) تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر روند تغییرات شاخص سطح برگ **۶۲**
شکل۱۵) تاثیر نوع میکوریزا بر میزان ارتفاع بوته ذرت **۶۴**
شکل۱۶) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر ارتفاع بوته ذرت **۶۴**
شکل۱۷) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر میزان ارتفاع بوته ذرت **۶۵**
شکل۱۸) تاثیر نوع میکوریزا بر روند تجمع ماده خشک **۶۷**
شکل۱۹) تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر روند تجمع ماده خشک **۶۷**
شکل۲۰) تاثیر نوع میکوریزا بر روند تغییرات عدد کلروفیل متر **۶۹**
شکل۲۱) تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر روند تغییرات عدد کلروفیل متر **۷۰**
شکل۲۲) تاثیر نوع میکوریزا بر رطوبت نسبی برگ **۷۲**
شکل۲۳) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر رطوبت نسبی برگ **۷۳**
شکل۲۴) تاثیر نوع میکوریزا بر اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا (درجه سانتیگراد) در ذرت **۷۵**
شکل۲۵) تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا (درجه سانتیگراد) در ذرت **۷۶**
شکل۲۶) تاثیر نوع میکوریزا بر طول مخصوص ریشه ذرت **۷۸**
شکل۲۷) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری بر طول مخصوص ریشه ذرت **۷۸**
شکل۲۸) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر طول مخصوص ریشه ذرت **۷۸**
شکل۲۹) تاثیر نوع میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت **۸۰**

فهرست شکل ها

شکل۳۰) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت **۸۰**

شکل۳۱) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت **۸۱**

شکل۳۲) تاثیر نوع میکوریزا بر کارایی مصرف آب ذرت **۸۴**

شکل۳۳) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب ذرت **۸۴**

شکل۳۴) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر کارایی مصرف آب ذرت **۸۵**

شکل۳۵) تاثیر نوع میکوریزا بر کارایی مصرف آب ذرت **۸۷**

شکل۳۶) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر کارایی مصرف آب ذرت **۸۷**

شکل۳۷) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر کارایی مصرف آب ذرت **۸۸**

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول۴-۱) نتایج تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد بلال و وزن هزاردانه ذرت ۱۱۰

جدول۴-۲) نتایج تجزیه واریانس صفت شاخص سطح برگ ذرت در طی فصل رشد ۱۱۰

جدول۴-۳) نتایج تجزیه واریانس صفت تجمع ماده خشک ذرت در طی فصل رشد ۱۱۱

جدول۴-۴) نتایج تجزیه واریانس صفت عدد کلروفیل متر ذرت در طی فصل رشد ۱۱۱

جدول۴-۵) نتایج تجزیه واریانس صفت درصد رطوبت نسبی برگ ذرت در طی فصل رشد ۱۱۲

جدول ۴-۵-۱) نتایج مقایسه میانگین اثر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر درصد رطوبت نسبی برگ ذرت ۱۱۲

جدول۴-۶) نتایج تجزیه واریانس صفت اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا (درجه سانتیگراد) در طی فصل رشد در ذرت ۱۱۳

جدول ۴-۶-۱) نتایج مقایسه میانگین اثر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا (درجه سانتیگراد) در ذرت ۱۱۴

جدول۴-۷) نتایج تجزیه واریانس صفات طول ریشه، درصد کلویزاسیون و کارایی مصرف آب ذرت ۱۱۵

فصل اول

مقدمه

بوم شناسی[1] را می توان علم مطالعه روابط موجودات زنده با محیط اطرافشان تعریف نمود. اما در مورد انسان، این ارتباط مدتی است که ابعاد جدید و مخرّبی به خود گرفته است. فعالیت های مخرّب و غالبیت بی سابقه بشر در اکوسیستم های موجود، یک تغییر جهت فلسفی و عملی در ارتباط بین طبیعت و جامعه انسانی را ناگزیر ساخته است. بسیاری از انسان ها از دیرباز نگران رفتار نسل بشر با زیستگاهش، بوده و هستند.

کشاورزی از فعالیت هایی بوده که همواره انگشت اتهام طرفداران محیط زیست به سوی آن نشانه رفته است، البته این اتهام تا حدی نیز به جا بوده و هست. برای مثال، طبق گزارش لیست قرمز سال ۲۰۰۰ سازمان بین المللی حفاظت از طبیعت[2]، فعالیت های کشاورزی بر ۷۰ درصد کل گونه های پرندگان و ۴۹ درصد کلیه گونه های گیاهی در معرض انقراض تأثیر داشته است (Scialabba, N.E.H. 2003). در سال ۲۰۰۱ در کنفرانس سازمان همکاری و عمران اقتصادی[3] عنوان شد که نقش کشاورزی فشرده در انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از فعالیت های انسان، بیش از ۲۰ درصد کل مقدار جهانی آن بوده است (Scialabba, N.E.H. 2003).

کاهش تنوع زیستی که در حال حاضر در وضعیت بحرانی قرار گرفته، و یک عنصر ضروری برای تولید غذا است، به وسیله از دست رفتن پوشش جنگل ها (هر سال قریب به ۴ میلیارد اصله درخت برای تولید کاغذ

---

[1] - Ecology
[2] - IUCN
[3] - OECD

بریده می شود و هنوز سوخت اصلی یک سوم مردم دنیا، چوب است)، زمین های حاصلخیـز ساحلـی و حیات وحش تشدید شده است (Scialabba, N.E.H. 2003). اکنون به علت نابـودی جنگل ها، روزی ۱۴۰ و سالی ۵۰۰۰۰ گونه حیاتی نابود می شوند و به علاوه، برآورد شده است که یک چهارم کل گونه های گیاهی و جانوری طی ۵۰ سال آینده، برای همیشه از صفحه روزگار محو خواهند شد (FAO, 1999).

بنا به گزارش سازمان خوار و بار جهانی کشت های یکنواخت به طور تأسف انگیزی تعداد گیاهان و جانوران مورد استفاده در کشاورزی را کاهش داده است، در حال حاضر ۱۳۵۰ ژنوتیپ در معرض انقراض هستند و هر هفته، دو ژنوتیپ برای همیشه از صفحه روزگار محو می شوند (Scialabba, N.E.H. 2003). اصلاح نباتات و سایر عملیات تجارتی رایج در کشاورزی باعث پیشرفت فرسایش ژنتیکی در سطوح مختلف شده است. طی قرن گذشته، ۷۵ درصد از تنوع ژنتیکی محصولات کشاورزی از بین رفت.

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 نمی افزاید (Brown, L. 1997). اتکای بیش از حد کشاورزی به کودهای شیمیایی و آفت کش ها، اثرات جدی بر سلامت عمومی محیط زیست دارد. هزینه های زیست محیطی و سلامت مربوط به توصیه استفاده از آفت کش ها در ایالات متحده آمریکا، نزدیک به ۱۰ میلیارد دلار در سال برآورد شده است (Pimentel, D. 2005). در ایالات متحده، بیش از ۹۰ درصد از کشاورزان ذرت کار، به منظور کنترل علف هـای هرز از علف کش ها استفـاده می کنند (Pimentel, D. 1993). آترازیـن، علف کشـی که به طور گستـرده در مزارع ذرت مورد استفـاده قرار می گیرد، هنوز عمومی ترین علف کشی است که در جویبارها و آب های زیرزمینی یافت می شود (National Academy of Sciences (NAS). 2003).

سیستم های مدیریت تلفیقی آفات و عناصر غذایی و کشاورزی زیستی، می توانند اتکاء به مواد شیمیایی کشاورزی را کاهش داده و در عین حال کشاورزی را از ابعاد زیست محیطی و اقتصادی، ایمن و کارا سازند. پیمنتل[1] (۲۰۰۵) و آکادمی ملی علوم ایالات متحده آمریکا[2] (۲۰۰۳) نشان دادند که عملیات مدیریتی صحیح می تواند مصرف علف کش ها را کاهش دهد و در عین حال عملکرد بالای محصولات زراعی را حفظ

[1] - Pimentel, D.
[2] - National Academy of Sciences (NAS)

کرده و اقتصاد مزرعه را بهبود بخشد. تیلمن و همکاران[1] (۲۰۰۲) 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 عامه آسیب وارد نشود. کشاورزی زیستی در جستجوی راه هایی است که فرآیندهای بوم شناختی مسئول تغذیه گیاه را ضمن حفظ منابع خاک و آب، تشدید کند. نظام های زیستی، مواد شیمیایی را حذف کرده و مصرف سایر نهاده های خارجی را به منظور بهبود شرایط محیط زیست و اقتصاد مزرعه، کاهش می دهد. با روند مستمر توجه مصرف کنندگان به محیط زیست و مواد شیمیایی به کار رفته در امر تولید غذا و رشد روزافزون دسترسی به تولیدات زیستی گواهی شده، دورنمای رشد مداوم تولید زیستی، روشن به نظر می رسد (Dimitri, C., and Greene, C. 2002).

کاهش رو به رشد آب به عنوان محدودیت اصلی برای افزایش تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی در قرن بیست و یکم پذیرفته شده است (اگرچه مقدار آب در مقیاس جهانی بسیار زیاد است ولی ۹۷ درصد آن شور بوده و ۲/۲۵ درصد دیگر در یخچال ها به شکل یخ از دسترس خارج شده است و تنها ۰/۷۵ درصد به صورت آب شیرین در آبخیزها، رودخانه ها و دریاچه ها در دسترس می باشد، بخش عمده آب شیرین یعنی ۶۹ درصد آن برای تولیدات کشاورزی استفاده می شود) (Turner, N.C. 2001). حدود دو سوم آب مصرفی جهان به بخش کشاورزی اختصاص دارد و این عامل اصلی کمبود آب منطقه ای می باشد. کشاورزی به دلیل اتلاف شدید، آب بسیار زیادی را به صورت غیر کارآمد مورد استفاده قرار می دهد (برای مثال جهت تولید یک کیلوگرم دانه گندم، گیاه حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم آب از خاک جذب می کند). بیش از نیمی از آبی که برای محصولات زراعی به کار می رود هرگز به وسیله گیاه استفاده نمی شود (Gliessman, S.R. 1998). انجام آبیاری در سطوح وسیع، ضمن تغییر سیکل های هیدرولوژی، فشار قابل ملاحظه ای را بر اکوسیستم های طبیعی و حیات وحش وارد می کند. کشاورزی آب را بیش از هر منبع دیگری آلوده می سازد (Gliessman, S.R. 1998). شرایط خاص اقلیمی کشور ما که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، واقعیت گریز ناپذیر آن است، هرگونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب در کشور نموده است. در همین راستا می توان گفت آب آبیاری مهمترین نهاده تولید کشاورزی است (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹). در حال حاضر از کل منابع آب تجدید شونده کشور حدود ۸۸/۵ میلیارد متر مکعب جهت مصارف بخش های کشاورزی، صنعت و معدن و شرب

[1] - Tilman, D. et al

برداشت می شود که حدود ۸۳ میلیارد مکعب آن (۹۳درصد) به بخش کشاورزی اختصاص دارد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). بنابراین، با توجه به سهم عظیم مصرف آب در بخش کشاورزی، با انتخاب و بکارگیری راهکارهایی در زمینه بهبود روش های آبیاری، بالا بردن راندمان مصرف آب و بهینه سازی مصرف آب در گیاهـان، می توان یک صرفـه جویـی عظیـم در این بخش انجـام داد (کشـاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹). منظور از کارآیی مصرف آب، نسبت ماده خشک تولید شده در گیاه به تبخیر و تعرق است که بر حسب گرم ماده خشک به کیلوگرم یا سانتی متر آب بیان می‌شود (Howell. T.A. 2001). در شرایطی مانند شرایط حاکم بر کشور ما که محدودیت آبی و خاکی وجود دارد، نباید بدنبال حداکثر کردن عملکرد با سود خالص بود، بلکه نکته اساسی افزایش راندمان مصرف آب در گیاهان است. بهبود راندمان مصرف آب مشکل به نظر می رسد و تنها شامل فعالیت های کشاورز نمی گردد، بلکه فعالیت های اجتماعی، اقتصادی، هیدرولوژیکی و انسانی را نیز شامـل می شود (Zang, H., and Oweis, T. 1999). تلاش ها تاکنون به افزایش سطح زیر کشت در هر واحد از اراضی کشت شده معطوف بوده است، درصورتی که در شرایط محدودیت منابع آب و وجود اراضی قابل کشت مانند ایران باید هدف بالا بردن تولید به ازای هر واحد آب مصرفی و استفاده بهینه از منابع محدود آب باشد (توکلی، ۱۳۷۹).

کاربرد اصول و مفاهیم بوم شناسی از جمله مدیریت و استفاده از میکروارگانیزم های موجود در خاک و روابط بین آنها، در طراحی و مدیریت نظام های تولید غذا، قادر است ما را در تولید پایدارتر غذا یاری دهد.

موفقیت یک سیستم کشاورزی در تولید، تا حد زیادی به خصوصیات خاک و وضعیت غذایی موجود در خاک بستگی دارد. برخلاف کشاورزی رایج که به خاک فقط به عنوان یک بستر فیزیکی نگه دارنده گیاه و محیطی برای تزریق نهاده نگاه می شود، پایه و اساس کشاورزی زیستی و دیگر نظام های پایدار، خاک است و در آنها به جای تغذیه گیاه، به تغذیه خاک پرداخته می شود (Fliessbach, A., and Mader, P. 2004).

استفاده از منابع بیولوژیک در کشاورزی، دارای قدمت بسیار زیادی است و در گذشته نه چندان دور، تمام مواد غذایی مورد مصرف انسان با استفاده از چنین منابع ارزشمندی تولید می شدند. استفاده بهینه از منابع بیولوژیک نه تنها دارای اثرات مثبتی بر خصوصیات خاک می باشد، بلکه از جنبه های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نیز مثمر ثمر بوده و می تواند جایگزین مناسبی برای نهاده های شیمیایی باشد (Gosling, P. et al. 2006 ; Kennedy, I.R. et al. 2004). میکوریزا یکی از مجموعه عوامل بیولوژیک است که یکی از

اصلی ترین میکروارگانیزم های موجود در محیط ریشه بوده و بخش مهمی از موجودات خاکزی را شامل می شود (Barea, J.M. et al. 2005). همزیستی این قارچ با ریشه گیاهان میزبان و تشکیل سیستم میکوریزایی، نقش مهمی در حاصلخیزی و پایداری اکوسیستم خاک دارد (Dodd, J.C. 2000). مهمترین نقش همزیستی میکوریز در نظام های زراعی عبارت است از: افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی به ویژه فسفر برای گیاهان (Cardoso, I., and Kuyper, M.T.W. 2006)، افزایش فتوسنتز (Khalvati, M.A. et al. 2005)، افزایش کارآیی مصرف آب در گیاه میزبان (Marulanda, A. et al. 2007 ; Augé, R.M. 2001 ; Augé, R.M. 2004 ; Amerian, M.R. et al. 2001)، به تأخیر انداختن نقطه پژمردگی (Amerian, M.R. et al. 2001)، افزایش مقاومت به تنش خشکی و تنش شوری (Pinior, A. et al. 2005)، افزایش مقاومت میزبان به آفات و بیماری ها (Jeffries, P. et al. 2003)، افزایش غلظت هورمون های گیاهی و محتوای کلروفیل (Sannazzaro, A.L. et al. 2006 ; Cho, K. et al. 2006)، تسریع در گلدهی گیاهان میزبان (Given, D.R. et al. 2002)، تأثیر در اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام های مختلف گیاه میزبان (Ryan, M.H., and Graham, J.H. 2002)، ایجاد واکنش های مورفولوژیکی در گیاهان (Subramanian, K.S., and Charest, C. 1997)، افزایش قدرت رقابت گیاه میزبان مقابل علف های هرز (Bethlenfalvay, G.J. et al. 1996)، افزایش مقاومت گیاهان به فلزات سنگین (Joner, E.J., and Leyval, C. 1997)، کاهش اثر سوء مواد شیمیایی (ضدعفونی کننده ها، قارچ کش ها، آفت کش ها و علف کش ها) (Gianinazzi, S., and Vosatka, M. 2004)، تشدید فعالیت جمعیت میکروبی خاک از جمله باکتری های ریزوبیوم، ازوتوباکتر و آزوسپیریلوم (Andre, S. et al. 2004).

امروزه غلات یکی از مهم ترین منابع غذایی انسان می باشند (امام، ۱۳۸۶). ذرت یکی از قدیمی ترین و با ارزش ترین محصولات زراعی استفاده شده توسط بشر است. ذرت گیاهی چهار کربنه می باشد و لذا پتانسیل بالایی در تبدیل انرژی خورشیدی به ماده خشک دارد. ذرت سازگاری وسیعی به شرایط محیطی از خود نشان می دهد و بنابراین، میزان تولید بالایی در واحد سطح دارد (Shrestha, R. K., and Ladha, J. K. 1998؛ جامی الاحمدی و همکاران، ۱۳۸۵). ذرت از نظر تولید و سطح زیر کشت، بعد از گندم و برنج، سومین گیاه زراعی مهم در دنیا است (جامی الاحمدی و همکاران، ۱۳۸۵). بین مصرف ذرت برای نیاز انسان و حیوانات رقابت وجود دارد. به منظور کاهش این رقابت دستیابی به عملکرد بالا، خاک باید منبعی کافی از

مواد غذایی را از طریق کودهای آلی- زیستی برای گیاه و حصول به سیستم تغذیه تلفیقی گیاهان[1] داشته باشد تا بتواند بر هزینه بالای کودهای شیمیایی غلبه کند. بنابراین نیاز است که سیستم تغذیه تلفیقی گیاهان برای افزایش حاصلخیزی خاک و تولید پایدار گیاهان زراعی معرفی شود. همچنین در این سیستم خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بهبود می یابد، بنابراین به ایجاد نظام های پایدار کشت غلات با حداکثر تولید و حداقل هزینه کمک می کند (Abd El-Gawad, A. M. 2008).

ذرت نسبت به تشکیل همزیستی با قارچ های میکوریز واکنش خوبی نشان داده است. این آزمایش با هدف افزایش کارایی مصرف آب به کمک همزیستی دو گونه قارچ میکوریزا با گیاه ذرت انجام پذیرفت.

با عنایت به وضعیت اقلیمی خشک کشور ما و با توجه به اهمیت و جایگاه گیاه ذرت، امید است اطلاعات حاصل از این آزمایش، بتواند ضمن افزایش بازده اقتصادی برای تولیدکنندگان و نیز بالا بردن کارآیی انرژی، به عنوان ابزاری در جهت توسعه سیاست های کشاورزی پایدار هم راستا با محیط زیست، به کار گرفته شود.

[1] - Integrated Plant Nutrient System (IPNS)

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- اهمیت آب

عوامل محیطی با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی، رشد و نمو گیاهان را کنترل می‌کنند. بسیاری از فرآیندهایی که درگیاه صورت می‌پذیرد چه به‌طور مستقیم و چه بصورت غیرمستقیم به وجود آب بستگی دارد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۲). آب در واکنشهایی مثل: انتقال مواد آلی، آماس سلول‌های گیاهی، تعرق و خنک‌سازی گیاه، خنثی‌سازی الکتریکی مولکولهای کلوئید استفاده می‌شود (احمدی و آبیکر، ۱۳۷۹؛ حکمعت‌شعار، ۱۳۷۲). تمام جنبه‌های رشدگیاه شامل جنبه‌های آناتومیکی و بیوشیمیایی، تحت تاثیر کمبود آب قرار می‌گیرد. همچنین از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه و کاهش راندمان تثبیت کربن، فتوسنتز راتحت تاثیر قرار می‌دهد (احمدی و آبیکر، ۱۳۷۹).

یکی از مهمترین اثرات محدود کننده‌ی آب در گیاه، بسته شدن روزنه ها و کاهش فتوسنتز است. افزایش آبیاری، هدایت روزنه‌ای و در نتیجه تعرق و تولید ماده خشک را بیشتر می‌کند و بر عملکرد و اجزای عملکرد موثر است (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶). تولید ماده‌ی خشک تحت تأثیر کمبود آب قرار می‌گیرد (Singh, B.P. 1989). طبق گزارش کاکس و جولیف[1] (۱۹۸۶) ماده‌ی خشک تولیدی با کاهش آب مصرفی، نقصان می‌یابد. حاصلخیزی زیاد و بالا بودن رطوبت باعث تحریک رشد رویشی و تجمع ماده‌ی خشک شده و بر عکس، تنش رطوبتی و حاصلخیزی کم باعث محدودیت رشد رویشی و کاهش ماده‌ی خشک در گیاهان می‌شود (Eral, h.

[1] - Cox, W J., and Julliff, G.D.

J. and Davis, R.F. 2003). در آزمایشی مشاهده گردید که کمبود آب طی هر مرحله از رشد ذرت منجر به نقصان عملکرد دانه شد (Araus J.L. et al. 2002).

۲-۱-۱- کارآیی مصرف آب[1]

در گذشته به علت کمی جمعیت و پایین بودن سطح زیر کشت، منابع آب به اندازه کافی و ارزان در اختیار مصرف کنندگان قرار داشت. اما در حال حاضر، روند افزایش جمعیت دنیا با افزایش تولید مواد غذایی متناسب نبوده و لزوم سطح کشت آبی و چند برابر شدن تولیدات کشاورزی محسوس است. متأسفانه در سال های اخیر، گرم شدن هوای زمین و حادث شدن خشکسالی ها موجب شده که منابع آبی ایران محدودتر شده و و مشکل کم آبی، جنبهٔ بحرانی به خود بگیرد.

از آنجا که آب، محور توسعهٔ کشاورزی است، بدون مدیریت آبیاری مناسب، مصرف نهاده های مختلف کشاورزی از قبیل بذور اصلاح شده، کودهای شیمیایی و آفت کش های کشاورزی و انجام عملیات کاشت و داشت زراعی، تأثیر چندانی در رشد گیـاه و افزایش عملکـرد محصولات کشـاورزی نخواهد داشت (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹).

با توجه به شرایط خاص اقلیمی کشور که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش ها، از ویژگی های آن است و همچنین به دلیل عدم تناسب سطح زیر کشت محصولات با منابع آبی، نیاز آبی گیاهان به طور کامـل برآورده نمی شود و گیاهـان با تنش رطوبتـی مواجه می شوند (کشـاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹).

همانطـور که ذکر شد، آب آبیـاری مهم ترین نهادهٔ تولید کشاورزی است زیرا از یک طرف از حدود ۳۷ میلیون هکتار اراضی مستعد کشاورزی به دلیل محدودیت منابع آبی فقط ۷/۸ میلیون هکتار به صورت فاریاب کشت می شود و از طرف دیگر در حال حاضر از کل منابع آب تجدیدشوندهٔ کشور، حدود ۸۸/۵ میلیارد مترمکعب جهت مصارف بخش های کشاورزی، صنعت، معدن و شرب برداشت می شود که حدود ۸۳ میلیارد مترمکعب آن (۹۳/۵ درصد) به بخش کشاورزی اختصاص دارد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). بنابراین با توجه به سهم عظیم منابع آب در بخش کشاورزی با انتخاب و به کار گیری راهکارهایی در زمینه های

[1] - Water Use Efficiency (WUE)

بهبود روش های آبیاری، بالا بردن راندمـان مصرف آب و بهینـه سازی مصرف آب در گیاهـان می توان یک صرفه جویـی عظیـم را در این بخش انجام داد (کشـاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹).

یکی از شاخص های مهم در مورد آب، کارآیی مصرف آب است که نوعی رابطهٔ کمّی بین رشد گیاه و مقدار آب مصرفی برقرار می نماید و تولید به ازای هر واحد حجم آب مصرف شونده را نشان می دهد (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹).

تعریف دیگر این شاخص عبارت است: از نسبت محصول تولیدی بر مجموع آب تأمین شده برای گیاه (Araus J.L. et al. 2002). کارآیی مصرف آب به این صورت نیز تعریف می شود: نسبت ماده خشـک تولیـد شـده در گیاه به تبخیر و تعرق است که بر حسب گرم ماده خشـک بـه کیلـوگرم یـا سـانتی متـر آب بیـان مـی‌شـود (Howell. T.A. 2001).

هرچه اقلیم خشک‌تر باشد، نیاز اتمسفری تبخیر و تعرق بیشتر بوده و برای تولید یک واحد ماده خشک، گیـاه نیازمند از دست دادن آب بیشـتری اسـت. سـاختار بنیـادی مفهـوم کـارآیی مصـرف آب، بـا افـزایش تولیـد محصولات کشـاورزی به ازای واحد حجم مصرفـی آب است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

عواملی که بر کارآیی مصرف آب تاثیر می‌گذارند، توسط استانهیل[1] (۱۹۸۶) معرفی شده اند. او این عوامل را آب، دی اکسید کربن، دمای هوا، گونه گیاهی، مسیرفتوسنتزی گیاه، رفتار روزنه‌ای و اندازه و ساختمان و آرایش برگها، خصوصیات خاک و عوامل اقتصادی دخیل در تولید می‌داند.

تبخیر از سطح خاک روی کارآیی مصرف آب تاثیر زیادی دارد. در پایان دوره خشکی، هنگامی که سطح خاک خشک می‌باشد، عملاً تبخیر نزدیک به صفر است و لذا مفهوم تبخیر و تعرق مساوی تعرق به تنهایی خواهد بود (حکمت‌شعار، ۱۳۷۲).

در شرایطی مانند شرایط حاکم بر کشور ما که محدودیت آبی و خاکی وجود دارد، نباید به دنبال حداکثر کردن عملکرد با سود خالص بود، بلکه نکتهٔ اساسی، افزایش راندمان مصرف آب در گیاهان است. بهبود راندمان مصرف آب مشکل به نظر می رسد و تنها شامل فعالیت های کشاورز نمی گردد، بلکه فعالیت های اجتماعی، اقتصادی، هیدرولوژیکی و انسانی را نیز شامل می شود (Zang, H., and Oweis, T. 1999).

[1] - Stanhill, G. 1986

تلاش ها تاکنـون به بالا بردن تولید در هر واحد از اراضی کشت شده معطـوف بوده است در صورتـی که در شرایط محدود بودن منابع آب و زیادی اراضی قابل کشت مانند شرایط ایران می بایست هدف، بالا بردن تولید به ازای هر واحد آب مصرفی و استفادهٔ بهینه از منابع محدود آب باشد (توکلی، ۱۳۷۹).

با صرف نظر از ترکیب محصولات زراعی و تفاوت ریزش جوی در مناطق مختلف کشور، تقریباً به ازای هر واحد حجم آب (متر مکعب) مصرف شده، معادل ۰/۷ کیلوگرم محصول تولید شده است که در مقایسه با ارقام متناظر کشورهای پیشرفته بسیار پایین است. این در صورتی است که میزان تولیدات کشاورزی اراضی فاریاب در افق ۲۵ سال آیندهٔ کشور بایستی به حداقل ۱۸۶ میلیون تن بالغ گردد که اگر با کارآیی مصرف آب فعلی یعنی تولید ۰/۷ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب بخواهیم به اهداف فوق دست یابیم در افق ۲۵ سالهٔ آینده باید بالغ بر ۲۶۶ میلیارد مترمکعب آب مصرف شود که با توجه به کل آب قابل استحصال کشور، امکان حصول آن به هیچ وجه میسر نیست. جهت نیل به اهداف تولیدات کشاورزی در ۲۵ سال آینده، چارهٔ دیگری غیر از افزایش کارآیی مصرف آب در اراضی فاریاب کشور به میزان ۱/۸ تا ۲ کیلوگرم تولید به ازای هر مترمکعب نیست (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹).

در مورد اهمیت بهینه سازی کارآیی مصرف آب، همین بس که اگر این شاخص فقط ۵ درصد افزایش یابد، مقدار آب صرفه جویی شده معادل با کل نیاز فعلی بخش های صنایع و معادن و آب مشروب شهرها و روستاها خواهد شد (کشاورز و صادق زاده، ۱۳۷۹). بهبود روش‌های مدیریت خاک، روی ظرفیت نگهداری آب خاک تاثیر مثبت می‌گذارد. لذا هر گونه عملیاتی که باعث افزایش جذب آب خاک در منطقه ریشه شود اثر مثبتی بر روی کارآیی مصرف آب بدلیل افزایش دسترسی به آب و افزایش جذب عناصر غذایی خواهد داشت (Gregory, P.T. et al. 2000).

۲-۲- اهمیت بوم نظام خاک

خاک بستر حیات و تولید است و حفظ آن، ضامن بقای نسل های آینده می باشد. خاک محیطی است که تنوع زیستی قابل توجهی را در خود جای داده و محل رویدادهای زیادی است که هر کدام یک فرایند حیاتی را راهبری می کنند (کامکار و مهدوی دامغانی، ۱۳۸۷). سیلویا و همکاران[1] (۲۰۰۵) گزارش کردند که به

[1] - Sylvia, D.M. et al.

طور میانگین در هر گرم خاک، دو میلیون موجود زنده وجود دارد. آنها پیشنهاد کردند که با افزایش شناخت و آگاهی از این ارتباط پیچیده، می توان خاک و میکروارگانیزم های 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 زیستگاه خاک و فعل و انفعالاتشان با مجموعه میکروارگانیزم های مقیم در خاک، تأثیر مهمی بر رشد و فعالیت میکروارگانیزم ها و به دنبال آن حاصلخیزی خاک دارد (Probst, B. et al. 2007). کوچک ترین آسیب به خاک از طریق کاربرد ماشین آلات، مصرف نهاده های شیمیایی و عوامل دیگر که موجب تضعیف و نابودی ریزموجودات خاکزی یا کارکردهای آنها می شود، بر کل سطح کشت بوم تأثیر قابل ملاحظه ای خواهد گذاشت (Doran, J. W. 2002). بنابراین، اجتنـاب از آسیب و فشـار های منفی به محیط زیست، و همچنین بهبود برنامه های توسعه ای که نیازهای کودی گیاهان را تأمین می کند، شرط لازم در حفظ سلامت خاک است (Kokalis-Burelle, N. et al. 2006). در کشاورزی پـایدار، سلامت خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

بعضی از محققین (Hart, M.M., and Trevors, J.T. 2005) معتقد هستند که در آینده، آگاهی بیشتر ما از زیست شناسی خاک و بوم شناسی میکروبی آن، فرصت های بیشتری را برای اصلاح زیستی و درک تنوع جمعیت خاک و بهره گیری از آن در فرآیندهای بوم نظام، پیش بینی کارکرد بوم نظام مثل چرخه مواد غذایی، برهم کنش های بیوشیمیایی و فرآیندهای تنوع زیستی، ترکیب گونه ای و پاسخ به تخریب و نظام های کشاورزی پایدار ایجاد خواهد کرد.

۲-۲-۱- بوم شناسی میکروبی خاک

گیون و همکاران[1] (۲۰۰۲) بیان کردند که کوچکترین میکروارگانیزم های خاک، باکتری ها، اکتینومیست ها، قارچ ها و جلبک ها می باشند که در مجموع از آنها تحت عنوان میکروفلور یاد می شود. اگرچه تعداد باکتری ها ده ها بار بیشتر از قارچ ها می باشد ولی به طور کلی، زیست توده قارچ ها بیشتر از باکتری ها است (۵۰۰۰-۵۰۰ در برابر ۳۰۰۰-۳۰۰ بر حسب کیلوگرم وزن تر بر هکتار خاک). قارچ ها در حیات و سلامت تمام بوم نظام ها، اهمیت بسزایی دارند. نظام های انشعـابی ریشه گیاهان و میسلیوم های قارچ ها که امکان

[1] - Given, D.R. et al. 2002

دستیـابی به مواد غذایی پخش شده در نقاط مختلف خاک را فراهـم می کنند، مثال هایی از رشد توسعه ای می باشند (Brundrett, M.C., and Abbott, L.K. 2002).

در یک تقسیم بندی قارچ ها بر مبنای الگوهای تغذیه ای، میکوریزای آرباسکولار جزو دسته قارچ های همزیست اجباری بیوتروفیک (زنده خواری) قرار می گیرد (Hart, M.M. et al. 2001). روابط بیوتروفیک بسیار پیچیده تر از روابط اندوتروفیک هستند، زیرا قارچ ها از طریق ساختارهای جذب کننده تخصص یافته، تماس نزدیک تری با محتویات سلول میزبان ایجاد می کنند، سپس تغییرات هورمونی به وجود می آورند که جریان کربن در میزبان را به طرف محل های تماس هدایت می کند (Shabayev, V.P. et al. 1996). مشارکت میکوریزها در ساختمان خاک به دلیل ترشح مواد کربوهیدراته از ریسه های قارچ اهمیت دارد. اکنون دانشمندان در تلاش هستند تا درک صحیحی از نقش میکوریزا در کشاورزی و بوم نظام های طبیعی بیابند (Dodd, J.C. 2000).

۲-۳- تعریف، تاریخچه و ویژگی های قارچ شناسی میکوریزا

واژه میکوریزا[1] از دو کلمه میکو[2] به معنی قارچ و ریزا[3] به معنی ریشه تشکیل شده است. علم دیرین شناسی با بررسی آثار فسیلی به جا مانده از ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلیون سال قبل، نشان داده است که همزیستی گیاهان با این قارچ ها، قدمتی بس طولانی دارد (Taylor, T.N. et al. 1995 ; Remy, W. et l. 1994). آنالیز پلی ژنتیک با استفاده از توالی DNA و استفاده از کدهای RNA ریبوزومی نشان داده است که میکوریز آرباسکولار بین ۳۵۳ تا ۴۶۲ میلیون سال پیش از دوران پالئوزوئیک منشأ گرفته است (Simon, et al. 1993). از شواهد و مستندات می توان نتیجه گرفت که برای یک مدت طولانی، میکوریزا جزء جدانشدنی اندام های جذب کننده آب و مواد غذایی گیاهان بوده است. نکته دیگر این است که تکامل اندام های جذبی در گیاهان در طی زمان طولانی، منجر به اختصاصی شدن قارچ با توجه به دامنه وسیع میزبان آنها نشده است (Allen, M.F. et al. 2003 ; Read, D.J. 1998). از خصوصیات بارز میکوریز آرباسکولار، وجود اندامی به نام آرباسکول (به معنی درخت کوچک است و ساختارهایی بسیار منشعب هستند که قارچ درون سلول

[1] - Mycorrhiza
[2] - Myco
[3] - Rhiza

های پوست ریشه تشکیل می دهد) است که بنا به شواهد، شکل گیری و نمو آن در میکوریزا، در رابطه نزدیکی با گیاهان و در اواخر دوره تریاس رخ داده است (Malloch, D. 1987). تمام موجودات زنده، برای ساختن اسیدهای نوکلئیک و ATP به فسفر نیاز دارند اما در گیاهان اولیه که از زیستگاه های آبی و هوموژن خارج شده و به خشکی آمده بودند، جذب مواد غذایی به ویژه فسفر، با مشکل مواجه شد که با تشکیل همزیستی میکوریزایی و کلونیزاسیون ریشه گیاهان، این محدودیت برطرف گردید (Taylor, T.N. et al. 1995). اینگونه بود که گیاهان از محیط های آبی خارج شدند و در خشکی های کره زمین گستردگی و تنوع پیدا کردند، به طوری که آنها به عنوان اصلی ترین و مهم ترین موجودات زنده و جزء جدانشدنی حیات بر روی کره خاکی مطرح شدند (Giovannetti, M., and Gianinazzi, P.V., 1994). در واقع، به دلیل حضور گیاهان بود که حیات به صورت امروزی اش بر روی کره زمین شکل گرفت. هاریسون[1] (۲۰۰۵) معتقد است که همزیستی میکوریزا با گیاهان خشکی در سراسر دنیا، بر تغذیه فسفر گیاهان، تأثیر جهانی دارد.

بعضی از محققین قارچ های میکوریز را پارازیت های اهلی شده می دانند و برخی دیگر آنها را مدل تکامل یافته ای از سازوکار ساپروفیتی محسوب می کنند. از نظر تاکسونومیکی، خویشاوندی کمی بین قارچ های میکوریز آرباسکـولار و قارچ هـای پارازیت وجود دارد، به همین خاطـر، احتمال اینکه قارچ های میکوریز از تکامل قارچ های ساپروفیت به وجود آمده باشند، بیشتر است (Malloch, D. 1987). اولین مشاهدات درباره ساختمان میکوریزا توسط اونگر در سال ۱۸۴۰ میلادی گزارش شده است (Marks, G.C. 1991). همچنین نخستین شواهد در مورد نقش میکوریزا از طریق مطالعات ری سک (۱۸۴۷) و کامینسکی (۱۸۸۱) به دست آمد (Taylor, T.N. et al. 1995). با این وجود، هنوز نام مشخصی برای این گروه از موجودات زنده، در نظر گرفته نشده بود. تا اینکه در سال ۱۸۸۵، فرانک برای اولین بار کلمه میکوریزا را برای نامیدن این گروه از قارچ ها به کار برد (Japgal, R. et al 1987). نامبرده برای نخستین بار ضمن مطالعـه بر روی بعضی گیاهان متعلق به کاپولیفرا[2]، به وجود میکوریـزا پی برد (Harley, J.L. and Smith, S.E. 1983). بعد از آن تاریخ، میکوریزا به ترتیب در نهاندانگان[3]، مخروطیان[4] به ویژه در کاج ها[5] و همچنین در تعدادی از نهاندانگان علفی مشاهده گردید.

---

[1] - Harrison, M.J.
[2] - Capuliferae
[3] - Angiospermae
[4] - Coniferae
[5] - Pinaceae

امروزه مشخص شده است که میکوریـزا نه تنها در نهاندانگـان و بازدانگـان، بلکـه همراه بعضی از نهان زادان آوندی[1] و خزه ها[2] نیز حضور دارد (Harley, J.L. and Smith, S.E. 1983). محققیـن در این نکتـه هم عقیده هستند که تقریبا ۸۳ درصد از گیاهـان دولپه و ۷۹ درصد از تک لپه ای ها و نیز همه بازدانگان (بنا به نظر بعضی محققین، ۸۰ درصد کل گیاهان ساکن در خشکی) با میکوریزا رابطه همزیستی برقرار می کنند (Remy, W. et al 1994). برخی محققین از جمله اسمیت و رید[3] (۱۹۹۷) معتقد هستند که خانواده های جگن[4]، اویارسلام[5]، اسفناجیان[6]، و شب بو[7] از این نظر استثناء هستند، اگر چه در این خانـواده ها نیز ممکن ممکن است جنس هـا و گونه هایی وجود داشته باشند که با میکوریزا همزیست شوند.

گردمن و ترپ[8] (۱۹۷۴)، ۱۴ خانواده گیاهی از جمله خانواده های شب بو و اسفناج را برای میکوریزا به عنوان غیر میزبان معرفی کردند. کاردوسو و کویپر[9] (۲۰۰۶) خانواده های تاج خروس و میخک را نیز به این فهرست اضافه کردند. با این وجود، در سال های بعد موارد استثنـایی پیدا شد و برخـی گونـه های این خانواده ها، میکوریزایی تشخیص داده شدند. داد[10] (۲۰۰۰) بیان کرد که بیش از ۱۰ درصد کل خانواده های گیاهی، غیرمیکوریزایی هستند و البته گیاهان متعلق به این خانواده ها مثل اسفناجیان و شب بوئیـان، از طریق طراحـی نظام ریشه فوق العـاده منشعب، فقـدان میکوریزا را تا حـدی جبران می کنند. به طور کلی، شواهد موجود به این مطلب اشاره دارند که حالت غیرمیکوریزایی در سلسله گیاهی به صورت یک استثناء مطرح است (Marks, G.C. 1991).

طبق مدل ارائه شده توسط مورتون[11] (۱۹۹۰)، گونه های جدید قارچ میکوریز آرباسکولار در طی دوران تکامل همزیستی ایجاد شده اند و پس از اینکه این قارچ ها از نظر تغذیه ای به صورت همزیست اجباری درآمدند، به خاطر رابطه قارچ با گیاهان میزبان، ژن های مربوط به سازگاری در گیاهان میزبان توسعه یافت و فرآیند تخصصی شدن، متوقف شد و یا کاهش پیدا کرد. به عبارت دیگر، در طول دوران زمین شناسی، تکامل متقابل بین این دو موجود همزیست، همراه با تکامل محیط زیست بوده است.

---

[1] - Peteridophyta
[2] - Bryophyta
[3] - Smith, S.E., and Read, D.J.
[4] - Juncaceae
[5] - Cyperaceae
[6] - Chenopodiaceae
[7] - Brassicaceae
[8] - Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M.
[9] - Cardoso, I., and Kuyper, M.T.W.
[10] - Dodd, J.C.
[11] - Morton, J.B.

۲-۳-۱- تقسیم بندی قارچ های میکوریز

بر اساس نوع رابطه قارچ با گیاه و نیز چگونگی ارتباط بین میسلیوم قارچ و سلول ریشه، میکوریزا به سه گروه میکوریزای خارجی، میکوریزای داخلی و میکوریزای داخلی- خارجی تقسیم می شود (Read, D.J. 1998). اخیراً نوعی ارتباط، تحت عنوان آلودگی مختلط به این گروه ها اضافه شده است.

۱- اکتومیکوریزا[1]: اکتومیکوریزاها بر روی گیاهان چوبی، از درختچه ها گرفته تا درختان جنگلی یافت می شوند. بالغ بر ۴۰۰۰ گونه قارچی شناخته شده اند که تشکیل دهنده اکتومیکوریزا هستند و عمدتاً متعلق به بازیدیومیست ها و تعداد اندکی از آنها نیز متعلق به آسکومیست ها هستند. بسیاری از این قارچ ها در کف جنگل، قارچ های خوراکی تولید می کنند. ویژگی مشخصه اکتومیکوریزا حضور هیف در بین سلول های پوست ریشه و تشکیل ساختاری شبکه مانند به نام شبکه هارتینگ است. اصطلاح شبکه هارتینگ به افتخار رابرت هارتینگ که پدر علم بیولوژی جنگل است بر روی این ساختار گذاشته شده است. بسیاری از اکتومیکوریزاها دارای غلافی از بافت های قارچی هستند که ممکن است تمامی ریشه های جذب کننده (معمولا ریشه های ریز تغذیه کننده گیاه) را به طور کامل بپوشاند. ضخامت، رنگ و بافت غلاف، بستگی به نوع قارچ و گیاه شرکت کننده در رابطه همزیستی داشته و بسیار متغیر است. معمولا غلاف، سطح جذب ریشه ها را افزایش داده و بر روی ریخت شناسی ریشه های ظریف اثر می گذارد که این امر موجب منشعب شدن ریشه می گردد. ریسه های هیفی در مجاورت غلاف وجود دارند که به سمت خاک گسترش می یابند، این ریسه ها غالباً به هم پیوسته ریزومورف را تشکیل می دهند. این ساختار را با چشم غیرمسلح نیز می توان مشاهده کرد. بخش داخلی ریزومورف ها می تواند به شکل ساختارهای لوله مانندی تمایز پیدا کند که این ساختارها، مواد غذایی و آب را به فواصل دورتر انتقال می دهند.

۲- اندومیکوریزا[2]: به تمام انواع میکوریزاهایی که در آنها قارچ در داخل سلول های پوست ریشه گیاه (کورتکس) رشد می کنند، اندومیکوریزا گفته می شود و در یک تقسیم بندی کلی به ۲ گروه تقسیم می شوند: اول گروهی که میسلیوم آنها دارای دیواره عرضی است. دوم، گروهی که میسلیوم آنها فاقد دیواره عرضی است (مانند میکوریزایی که در خزه ها دیده می شود).

---

[1] - Ectomycorrhizae
[2] - Endomycorrhizae

به طور کلی، اندومیکوریزاها، عمومی ترین نوع میکوریزا هستند و از نظر نحوه تولید اسپور، شکل ظاهری و سازوکار برقراری همزیستی، سه تیپ مشخص در آنها دیده می شود (Smith, S.E., and Read, D.J. 1997):
الف) میکوریزای آرباسکولار[1]، ب) میکوریزای اریکاسئوس[2]، پ) میکوریزای ارکیداسئوس[3].

الف) میکوریزای آرباسکولار: همزیستی نوع میکوریزای آرباسکولار بسیار متداول است و قارچ مربوطه می تواند در گستره وسیعی از گیاهان علفی و چوبی، کلونی ایجاد کند که این موضوع نشان دهندهٔ اختصاصی نبودن میزبان در این همزیستی است (Hayman, D.S. 1986). قارچ ابتدا در بین سلول های پوست ریشه رشد می کند، اما به زودی به درون دیواره سلولی میزبان نفوذ کرده و به رشد خود در داخل سلول (در فضای آپوپلاستی) ادامه می دهد. با ادامه رشد قارچ درون سلول ریشه، یک عضو جدید یا همان آرباسکول به وجود می آید که در آن مواد دارای ترکیب پیچیده مولکولی رسوب می کنند. فضای آپوپلاستی ایجاد شده مانع از تماس مستقیم سیتوپلاسم قارچ و گیاه می شود که این امر موجب انتقال کافی مواد غذایی بین دو همزیست می گردد. آرباسکول ها، محل اصلی تبادل مواد غذایی بین قارچ و گیاه میزبان هستند (Dodd, J.C. 2000). آرباسکول ها کمتر از ۱۵ روز عمر می کنند، بنابراین مشاهده آنها در نمونه های جمع آوری شده از مزرعه مشکل است (Alexander, T. et al. 1988 ; Bagyaraj, D.J. and Varma, A.K. 1987).

ساختارهای دیگری که توسط تعدادی از قارچ های میکوریز آرباسکولار تولید می شوند عبارتند از: وزیکول، سلول های فرعی، اسپورهای غیرجنسی و شبکه هیفی در ناحیه ریزوسفر.

وزیکول، اندامی کیسه مانند و دارای دیواره نازک است که محل تجمع لیپیدها می باشد و نیز مخزنی برای مواد فتوسنتزی گیاه میزبان فراهم می کند. وزیکول برخلاف آرباسکول، در فضاهای بین سلولی پوست ریشه گیاه میزبان تشکیل می شود. وزیکول ها به عنوان اندام های تکثیرشونده برای قارچ، نیز عمل می کنند (Giovannetti, M., and Gianinazzi, P.V., 1994). سلول های فرعی که مارپیچ و یا گرزمانند هستند در خاک تشکیل می شوند و نقش آنها ناشناخته است. اسپورها عمدتاً در ریشه و خاک تشکیل می شوند. اسپورهایی که توسط این گروه از قارچ ها تولید می شوند، غیرجنسی بوده و از طریق تمایز هیف های رویشی ایجاد می شوند. داد (۲۰۰۰) بیان کرد که اسپورهای میکوریز آرباسکولار، بزرگترین اسپورهای قارچی هستند که در خاک یافت می شوند و از نظر اندازه ژنوم، قابل مقایسه با ژنوم انسان می باشند. در تعدادی از گونه

[1] - Arbuscular mycorrhizas
[2] - Ericoid mycorrhizas
[3] - Orchid mycorrhizas

های این گروه (مثل گلوموس اینترارادیسس[1]) وزیکول ها در ریشه، یک مرحله ثانویه ضخیم شدن را طی کرده و یک دیواره عرضی در امتداد محل تماس با هیف ایجاد و منجر به تشکیل اسپور می گردند، اما معمولا اسپورها در خاک و از تورم هیف به وجود می آیند.

شبکه متشکل از هیف های خارج سلولی قارچ، از طریق افزایش سطح موثر جذب ریشه در نتیجه افزایش دسترسی ریشه به منابع درون خاک از قبیل آب و مواد غذایی، مزایای بسیاری را برای گیاه میزبان به ارمغان می آورد (Giovannetti, M., and Gianinazzi, P.V., 1994). قارچ های میکوریز آرباسکولار از لحاظ میزان کلونی هایی که در ریشه تولید می کنند و نیز تأثیر بر جذب مواد غذایی و رشد گیاه، بسیار متفاوت هستند (Sylvia, D.M. et al. 2005).

مهم ترین ماده سازنده دیواره سلولی قارچ های میکوریز آرباسکولار، کیتین می باشد که از واحدهای N-استیل گلوکز آمین تشکیل شده است و به کمک پیوندهای β ۱ و ۴ به هم متصل شده اند. همچنین در دیواره این قارچ ها، چندین گلوسید و اسید آمینه شناسـایی شده است. علاوه بر کیتین، β-D گلوکان ها نیز از اجزاء اصلی ساختمانی دیواره برخی از این قارچ ها است. با استفاده از روش های جدید سیتوشیمیایی، ثابت شده است که کیتین، پروتئین ها و پلی ساکاریدهای مثبت به تست نقره و نیز احتمالاً اتصالات β(1-6)، از اجزاء اصلی دیواره قارچ ها در طی مراحل مختلف نمو اندومیکوریزایی هستند (علی اصغرپور، ۱۳۷۱).

ب) میکوریزای اریکاسئوس: کلمهٔ اریکاسئوس برای روابط میکوریزایی که در گیاهان ردهٔ اریکالز[2] مشاهده شده است، به کار می رود. در این گروه از میکوریزا، ریسه به درون سلول های پوستی ریشه نفوذ می کند، ولی آرباسکول تشکیل نمی شود.

ج) میکوریزای ارکیداسئوس: این گروه از میکوریزا نقش منحصر به فردی در چرخه زندگی گیاهان خانوادهٔ ارکیداسه[3] دارند. معمولاً گیاهان این خانواده دارای بذرهای بسیار کوچک با ذخیره غذایی کم می باشند. گیاه، مدت کمی پس از جوانه زنی، کلونیزه می شود و قارچ میکوریزا کربن و ویتامین های مورد نیاز برای تکامل رویان را تأمین می کند. در گونه های بدون کلروفیل، گیاه در تمام طول مدت زندگی، برای تأمین کربن مورد نیازش به شریک قارچی خود وابسته است.

---

[1] - *Glomus intraradices*
[2] - Ericales
[3] - Orchidaceae

۳- اکت-اندومیکوریزا[1]: حد واسط دو گروه قبلی است، یعنی در ساختمان این قارچ، هم میسلیوم درونی و هم میسلیوم بیرونی دیده می شود. این نوع میکوریزا در سیب و بلوط (صفایی، ۱۳۷۸)، در مخروطیان و گیاهان خزان دار و جنگل های سوخته دیده شده است. اکتندومیکوریزا یک ساختمان اکتومیکوریزای مشخص تشکیل می دهد، به استثنای این که غلاف نازک بوده و یا وجود ندارد و هیف شبکه هارتینگ ممکن است به داخل سلول های پوستی نفوذ کند. با بالغ شدن گیاهچه ها، اکتومیکوریزا جایگزین اکتندومیکوریزا می شود.

آلودگی مختلط: معمولاً نوع میکوریزایی که در یک میزبان تشکیل می شود منحصر به فرد است، ولی در بعضی موارد، یک میزبان می تواند بیشتر از یک نوع رابطه میکوریزایی داشته باشد، به عنوان مثال توسکا[2]، بید[3]، سپیدار[4] و اکالیپتوس[5] می توانند هر دو نوع مشارکت اکتومیکوریزایی و اندومیکوریزایی (میکوریز آرباسکولار) را به طور همزمان داشته باشند. همچنین، تعدادی از گیاهان اریکوئید، گاهی میکوریزای آرباسکولار و گاهی اکتومیکوریزا تشکیل می دهند (Sylvia, D.M. et al. 2005).

۲-۳-۲- تاکسونومی میکوریزا

تا قبل از سال ۱۹۲۳ میکوریز آرباسکولار در راسته های چریدز[6] و پیتیوم[7] طبقه بندی می شدند، تا این که بنیامین پیرونل در سال ۱۹۲۳ میلادی، این قارچ ها را در راسته اندوگونالز[8] قرار داد (Schenck, N.C., and Perez, Y. 1990 ; Schenck, N.C. 1984). در سال ۱۹۸۶ با ارائه روش غربال تر، توسط دو محقق به نام های نیکلسون و گردمن، مشکل جمع آوری، مشاهده و طبقه بندی قارچ های میکوریز آرباسکولار برطرف و مطالعه آنها آسان گردید (Nicolson, T.H., and Gerdemann, J.W. 1986). تحقیقات بیشتر، نشان داد که قارچ میکوریز آرباسکولار را به دلیل تولید اسپور غیرجنسی نمی توان در راسته اندوگونالز که اعضای آن اسپور جنسی تولید می کنند، قرار داد.

---

[1] - Ectendomycorrhizae
[2] - *Alnus sp.*
[3] - *Salix sp.*
[4] - *Populus sp.*
[5] - *Eucalyptus sp.*
[6] - Chterids
[7] - Phythium
[8] - Endogonales

به همین خاطر مورتون در سال ۱۹۸۸ میلادی این قارچ ها را در راسته جدیدی به نام گلومالز[۱] قرار داد. راسته گلومالز بر اساس امکان تشکیل وزیکول و سلول های کمکی به دو زیر راسته گلومینه[۲] و ژیگاسپورینه[۳] ژیگاسپورینه[۳] تقسیم می شود.

کلمهٔ وزیکولار آرباسکولار میکوریزا ابتدا برای روابط همزیستی ای که تمامی قارچ های راسته گلومالز تشکیل می دادند به کار می رفت، اما چون یک زیر راسته عمده آن یعنی ژیگاسپورینه، فاقد توانایی تشکیل وزیکول در ریشه ها بود، امروزه به کار بردن اصطلاح قارچ های میکوریز آرباسکولار ترجیح داده می شود (Sylvia, D.M. et al. 2005).

طبق جدیدترین طبقه بندی میکوریزا (Schüßler and Walker, 2010)، قارچ های میکوریز در شاخه بزرگی به نام گلومرومیکوتا[۴] و در ردهٔ گلومرومیستز[۵] که خود شامل چهار راسته به نام های گلومرالز[۶] ، دایورسیسپورالز[۷] ، پاراگلومرالز[۸] و آرکوسپورالز[۹] قرار داده شده اند. به طور کلی ردهٔ گلومرومیستز، شامل چهار راسته و ۱۱ خانواده و ۱۷ جنس می باشد. در این طبقه بندی، جنس گلوموس[۱۰] در راستهٔ گلومرالز و خانوادهٔ گلومراسه[۱۱] قرار می گیرد (طبقه بندی یاد شده، به طور کامل در پیوست آورده شده است).

در یک طبقه بندی کلی تر و بر اساس مورفولوژی اندام های قارچی تشکیل شده در ریشه گیاه میزبان، دو نوع میکوریز آرباسکولی قابل شناسایی می باشند: ۱- نوع آروم[۱۲] که در آن، هیف های قارچ به داخل سلول های ریشه گیاه میزبان نفوذ می کند و آرباسکول تشکیل می دهد. ۲- نوع پریس[۱۳] که در آن هیف های قارچ وارد سلول های ریشه نمی شوند. رشد قارچ های متعلق به این گروه، کندتر از قارچ های نوع آروم می باشد (Cavagnaro, T.R. et al. 2001 ; Smith, F.A., and Smith, S.E. 1997).

۲-۳-۳- چگونگی و مراحل رشد میکوریزا

---

[1] - Glomales
[2] - Glomineae
[3] - Gigasporineae
[4] - Glomeromycota
[5] - Glomeromycetes
[6] - Glomerales
[7] - Diversisporales
[8] - Paraglomerales
[9] - Archaeosporales
[10] - Glomus
[11] - Glomeraceae
[12] - Arum types
[13] - Paris types

برای رشد و توسعه آلودگی میکوریزا، سه مرحله شناخته شده است (Bowen, G.D. 1980): ۱- مرحله رشد آهسته. ۲- مرحله رشد سریع یا لگـاریتمـی: در این مرحله، آلودگـی به شدت گسترش می یابد. ۳- مرحله رشد ثابت: در این مرحله، حداکثر ریشه های آلوده به میکوریزا، تشکیل شده اند. روند رشد و توسعه آلودگی، دقیقاً مشابه با منحنی رشد در گیاهان می باشد، به عبارت دیگر قارچ نیز متناسب با رشد گیاه توسعه می یابد. نیاز بیشتر گیاه به آب و عناصر، می تواند منجر شود به این که قارچ فعالیت و گسترش ریسه های خود را افزایش دهد. سوریاپروما و کوسکه[1] (۱۹۹۵) گزارش کردند که مقادیر فسفر موجود در خاک، جوانه زنی اسپورها، ترشحات ریشه، رشد لوله نفوذ هیف ها، تاکتیک شیمیایی گیاه برای جذب میکوریزا، پاسخ میکوریزا به تاکتیک گیاه، همگی بر شناسایی میزبان توسط قارچ، نفوذ، تکثیر و تشکیل ساختار میکوریزایی تأثیر می گذارند. هاریسون (۲۰۰۵) گزارش کرد که شواهدی وجود دارد مبنی بر این که در داخل گیاه، سامانه سیگنال دهی و سیگنال های خاص میکوریزای آرباسکولار، پاسخ های کمبود فسفر و توسعه ریشه را تحت تأثیر قرار می دهند. اسبرانا و جیووانتی[2] (۲۰۰۵) گزارش کردند که در محیط های آزمایشگاهی هیف های گونه گلوموس موسه[3] قادرند از فاصله ۹۱۰ نانومتری، سیگنال های شیمیایی را از ریشه گیاه میزبان دریافت کرده و به طرف آن تغییر جهت داده و رشد کنند. آنها این پدیده را شیمیوتروپیسم نامیده و بیان کردند از آن جایی که رشد پیش از همزیستی، یک مرحله بحرانی در چرخه زندگی قارچ های همزیست اجباری است، لذا راهنمای شیمیوتروپیک می تواند یک مکانیسم کارکردی مهم برای تعیین مکان ریشه میزبان، تشکیل اپرسوریوم (اندام چسبیدن و نفوذ قارچ به ریشه) و ایجاد همزیستی باشد.

۲-۴- اهمیت میکوریزا در بوم نظام ها

با توجه به مطالعـات انجـام شده، گیاهـان موجودات منفردی نیستند بلکه نظـام های بیولوژیکی پیچیده ای هستند که با قارچ ها و گاهی با دیگر موجودات زنده خاک پیوند برقرار می کنند و از این طریق با تعداد زیادی از نظام های بیولوژیکی دیگر موجود در بوم نظام، ارتباط می یابند (Gianinazzi, S. et al. 2001). رید[4] (۱۹۹۱) بیان کرد که در طبیعت، هر نوعی از میکوریزا با یک بوم نظام و محیط خاک دارای شرایط

[1] - Suriyapperuma, S.P., and Koske, R.E.
[2] - Sbrana, C., and Giovannetti, M.
[3] - *Glomus mosseae*
[4] - Read, D.J.

مشخص همراه شده اند، به طوری که این شرایط منجر به توسعه دامنه ویژه ای از خصوصیات می شود. قارچ های میکوریز آرباسکولار به شرایط مختلف محیطی سازگار بوده و در بیشتر مناطق اکولوژیک به جز شرایط غرقـابی یافت می شوند (Stahl, P.D., and Christensen, M. 1991).

رابطه قارچ با میزبان از نوع سودبری دوجانبه، پارازیتی و یا خنثی است که به عوامل ژنتیکی و محیطی بستگی دارد، ولی به طور کلی، رابطه سودبری دوجانبه غالبیت دارد (Allen, M.F. 1991). کوتاماسی و همکاران[1] (۲۰۰۱) گزارش کردند که همزیستی میکوریزایی یک استراتژی برتر رقابتی برای گیاه میزبان فراهم می آورد. اکثر محققین بر این نکته تأکید کرده اند که در استفاده از قارچ های میکوریز، نه تنها باید همزیستی قارچ و گیاه میزبان را در یک محیط جدا بررسی کرد، بلکه لازم است ارتباط آنها را در بوم نظام و در کنار سایر عوامل محیطی مورد توجه قرار داد. به این دلیل که قارچ و گیاه وقتی جدا از هم هستند، نسبت به وقتی که یک نظام میکوریزایی شامل قارچ، خاک و ریشه گیاه میزبان را تشکیل می دهند، اثرات کاملا متفاوتی دارند (Jeffries, P. et al. 2003 ; Bethlenfalvay, G.J., and Linderman, R.G. 1992).

بیش از ۱۰۰ سال تحقیق در زمینه قارچ های میکوریز نشان می دهد که برای شناخت پویایی بوم نظام، درک کامل وظایف میکوریزا ضرورت دارد (Van der Heijden, M.G.A. Scheublin, T.R. 2007). آلن و همکاران[2] (۲۰۰۳) گزارش کردند که میکوریزا، جریان های عناصر و انرژی را در بوم نظام های خشکی، تنظیم می کند. داد (۲۰۰۰) بیان کرد که میکوریزا تنوع زیستی گیاهی را در بوم نظام های احیاء شده افزایش می دهد. جانسون و همکاران[3] (۲۰۰۵) بیان کردند که برای تنظیم ساختار و کارکرد جوامع میکوریزایی در جوامع گیاهی پتانسیل قابل توجهی وجود دارد و در بعضی حالات، غنای گونه ای گیاهی با غنای گونه ای میکوریزا در ارتباط است. آنها همچنیـن بیان کردند فشـاری که در حال حاضر بر بوم نظـام های زمینی وارد می آید، منجر به نابودی گونه ها می شود که بخشی از آن را می توان با میکوریزا جبران کرد. تیلمن و همکـاران (۲۰۰۱) بیـان کردند که افزایش گونه هـای گیاهـی، منجر به افزایش بهره وری بوم نظـام می شود. جیانینازی و همکاران[4] (۲۰۰۱) بیان کردند که میکوریزا پدیده ای است که بر سطوح مختلف جامعه و بوم نظام تأثیر می گذارد، لذا لازم است که ارتباط آن با بوم شناسی جمعیت ها مورد بحث و توجه

---

[1] - Kothamasi, D. et al.
[2] - Allen, M.F. et al.
[3] - Johnson, D. et al.
[4] - Gianinazzi, S. et al.

قرار گیرد. بروندرت و ابوت[1] (۲۰۰۲) بیان کردند که همزیستی میکوریزایی باعث ایجاد واکنش هایی در گیاه میزبان می شود و نتیجه این واکنش ها، تغییراتی است که در نیچ گیاه میزبان اتفاق می افتد. میکوریزا ساختار نیچ را از دو طریق می تواند تغییر دهد (Read, D.J. 1991): ۱- قابل دسترس ساختن منابع برای گیاه میزبان. ۲- امکان جذب بیشتر منابع برای گیاه میزبان.

شواهد زیادی وجود دارد که میکوریزا تحمل به خشکی را افزایش می دهد (Gosling, P. et al. 2006 ; Amerian, M.R. et al. 2001). صرف نظر از چگونگی عمل، این موضوع به اثرات تنظیم روزنه ای، بهبود تغذیه ای به خصوص فسفر و انتقال هیفی آب نسبت داده شده است (Augé, R.M. 2000). بتلنفالوی و لیندرمن[2] (۱۹۹۲) تأکید کردند که این موضوع، یکی از مهم ترین فواید میکوریزا در بوم نظام هایی است که با کمبود آب مواجهند. باس و الیس[3] (۱۹۸۵) گزارش کردند که قارچ های میکوریز جذب عناصر غذایی را در شرایط تنش آبی افزایش می دهند. قارچ های میکوریز به گیاهان این امکان را می دهند که به طور موثری از آب استفاده کنند و موجب افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه می گردند (Graham, J.H. and Syversen, J.P. 1984). مطالعات انجام شده بیانگر آن است که در مناطق خشک و نیمـه خشک، تلقیح خاک با قارچ های میکوریز، بخشی از کمبود میکروارگانیسم های خاک و به دنبال آن کمبود مواد معدنی مورد نیاز گیاه را جبران می نماید. بنابراین در این مناطق واکنش رشد گیاه به میکوریزا مثبت است (Dodd, J.C. 2000).

ثابت شده است که گیاهان میکوریزایی می توانند از طریق ریسه های قارچ با گیاهان مجاور خود ارتباط برقرار نمایند و مواد فتوسنتزی و عناصر غذایی مورد نیاز خود را در یک ارتباط چندگانه مبادله نمایند (Cardoso, I., and Kuyper, M.T.W. 2006). معمولا وجود مخلوطی از گیاهان نسبت به تک کشتی، تنوع و فراوانـی قارچ های میکوریز را بیشتر افزایش می دهد (Cardoso, I., and Kuyper, M.T.W. 2006). آلن و همکاران[4] (۱۹۸۴) در یک چمنزار که حاوی مخلوطی از گیاهان سه کربنه و چهارکربنه بود، مشاهده کردند که قارچ گلوموس فاسیکولاتوم[5] به تنهایی با دو گونه گیاهی اگروپیرون اسمیتی[6] (یک گونه سه کربنه) کربنه) و بوتلِوآ گراسیلیس[7] (یک گونه چهارکربنه) در ارتباط است. این دو گونه، فنولوژی متفاوتی داشتند، به

---

[1] - Brundrett, M.C., and Abbott, L.K.
[2] - Bethlenfalvay, G.J., and Linderman, R.G.
[3] - Busse, M.D. and Ellis, J.R.
[4] - Allen, M.F. et al.
[5] - *Glomus fasiculatum*
[6] - *Agropyron smithii*
[7] - *Bouteloua gracilis*

به طوری که رقابت بین گیاهی در حداقل مقدار خود بود. حداکثر رشد و فتوسنتز گونه سه کربنه در اوایل فصل رشد بود، حال آن که، حداکثر رشد و تولید مواد فتوسنتزی علف چمنی چهارکربنه در روزهای گرم تر و خشک تر تابستان بود. فعالیت قارچ و دریافت مواد آلی از گیاهان میزبان دقیقاً بر فنولوژی این دو گونه گیاهی منطبق بود. قارچ مواد آلی مورد نیاز خود را در اول فصل از گونه سه کربنه و در انتهای فصل از گونه چهارکربنه دریافت کرد.

تشکیل ساختار میکوریزایی در اعماق مختلف خاک، از کمتر از ۵ سانتی متر تا بیشتر از ۴ متر، در بعضی از درختان جنگلی، حاکی از تمایز نیچ میکوریزا در مکان می باشد (Read, D.J. 1991). سیلویا و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که در شرایط جنگلی، جذب سریع یون ها به وسیله میکوریزا دارای اهمیت است، زیرا یون های محلول به سرعت از لایه های سطحی خاک شسته شده و به بخش های عمیق تر منتقل می شوند. میکوریزا این یون ها را که برای مدت کوتاهی فراوان هستند، جذب و ذخیره کرده و سپس به تدریج و هنگام کمبود، به داخل گیـاه آزاد می کند. بنابراین، وجود چنین ساختـارهایی برای بوم نظام های جنگلی ضروری به نظر می رسد.

القاء مقاومت سیستمیک به گیاه میزبان، احیاء نواحی تخریب شده، تبادل مواد و انرژی، درمان زیستی و کنترل عوامل بیماری زای گیاهی و احیاء پوشش گیاهی بوم نظام های بیابانی از جمله نقش های میکوریزا در بوم نظام است و بنا به اهمیت آنها، جیانینازی و همکاران (۲۰۰۱) پیشنهاد کردند که ارائه یک فرضیه در مورد نقش میکوریزا در بوم نظام، اجتناب ناپذیر می نماید. آنها به نقل از تسیمیلی و استراسر، بر نقش میکوریزا در تخفیف تنش ها تأکید و بیان کردند که معرفی میکوریزا به یک نظام، آنتروپی آن را کاهش می دهد. این بدان معنی است که بوم نظام های متعادل و سالم، نیاز به ایجاد و برقراری ارتباطات همزیستی دارند.

۲-۴-۱- میکوریزا و بوم نظام خاک

خاک به طور کلی، تحت تأثیر قارچ های میکوریز آرباسکولار قرار می گیرد. این قارچ ها نقش موثری در بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک دارند (Newsham, K.K. et al. 1995). این قارچ ها در نگهداری، ثبات و تجمع ذرات خاک اهمیت زیادی دارند (Cardoso, I., and Kuyper, M.T.W. 2006).

تشکیل خاکدانه، جنبه مهمی از ساختمان خاک است که خصوصیاتی از قبیل سرعت جریان داخلی آب، حجم منافذ خاک و مقاومت به فرسایش را تعیین می کند. هیف های متراکم میکوریز آرباسکولار ذرات خاک را درون شبکه خود به دام می اندازند و تشکیـل خاکدانه را تسهیل می کنند (Miller, R.M., and Jastrow, J.D. 1992). هیف های متراکم میکوریز آرباسکولار تا فاصله ۸ سانتی متری دورتر از ریشه گسترش می یابند و نظام ریشـه را جهت جذب عناصـر غذایی از خاک، توسعـه می دهند (Douds, D.D.Jr., and Millner, P.D. 1999).

زو و میلر[1] (۲۰۰۳) گزارش کردند که وزن زیست توده میکوریزا از ۵۴ تا ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار تغییر می کند. جاکوبسن و روزندال[2] (۱۹۹۰) بیان کردند که میسلیوم خارجی میکوریزا، ۳ درصد وزن ریشه را تشکیل می دهد. مک گونیگل و میلر[3] (۱۹۹۹) گزارش کردند که در یک گـرم خاک، حدود ۱۰ تا ۱۰۰ متر میسلیـوم میکوریـزا می توانـد وجـود داشتـه باشد که خود مخـزن بزرگی برای کربن محسوب می گردد. در دیواره هیف های خارجی[4]، گلیکوپروتئینی به نام گلومالین تولید و ترشح می شود (Rilling, M.C. 2004). گلومالین ممکن است تا یک و نیم درصد وزن خشک خاک را شامل شود (Wright, S.F., and Upadhyaya, A. 1996). این ماده مانند یک چسب، ذرات خاک را به هم چسبانده و نقش مهمی در تشکیل و حفظ خاکدانه های آبدار و باثبات خاک دارد (Miller, R.M., and Jastrow, J.D. 2000). ریلینگ و استینبرگ[5] (۲۰۰۲) بیان کردند که تولید گلومالین به وسیلهٔ میکوریزا، ممکن است سازوکاری به منظور اصلاح زیستگاه باشد. میسلیوم موجود در خاک در مقایسه با میسلیوم داخل ریشه، نه تنها به صورت شدیدتر تحت تأثیر عناصر غذایی قابل دسترس قرار دارد، بلکه جریان ترکیبات کربن به توده خاک را تسهیل می کند و این فرآیند برای ثبات خاک ضروری است (Cardoso, I., and Kuyper, M.T.W. 2006). داد (۲۰۰۰) گزارش کرد که اثر میکوریزا بر حرکت کربن به سوی ریشه، رشد و تنفس ریشه را تشدید می کند. افزون بر این، میکوریز آرباسکولار به خاطر اثر بر ترشحات ریشه، چرخه مواد غذایی و جریان کربن از گیاه اتوتروف به جامعه میکروبی خاک را تحت تأثیر قرار می دهد. این تنظیم جریان کربن، خود عامل اصلی و مهم تنظیم کننده جامعه میکروبی خاک است.

---

[1] - Zhu, Y.G., and Miller, R.M.
[2] - Jakobsen, I., Rosendahl, L.
[3] - McGonigle, T.P., and Miller, M.H.
[4] - extraradical hyphe
[5] - Rilling, M.C. and Steinberg, P.D.

لاولاک و همکاران[1] (۱۹۹۷) با انجام آزمایشی در شرایط غلظت دی اکسید کربن بیش از حد طبیعی، مشاهده کردند که میکوریز آرباسکولار، با افزایش غلظت فسفر در اندام های گیاهی، سبب افزایش فتوسنتز و غلظت کربوهیدرات ها در برگ سه گونه درخت گرمسیری شد. آنها بر نقش میکوریز آرباسکولار در کاهش میزان دی اکسید کربن جو در شرایط تغییر اقلیم تأکید کردند. استادون و همکاران[2] (۲۰۰۴) گزارش کردند که اثر عمده افزایش غلظت دی اکسید کربن، افزایش مقدار هیف های میکوریزا در خاک است و بر مقدار کلونیزاسیون تأثیر اندکی دارد. آنها پیشنهاد کردند که تغییر اقلیم احتمالی در آینده، بر بازچرخش و تنفس قارچ های میکوریز تأثیر می گذارد، که این پدیده خود می تواند بر چرخه کربن در کره زمین اثرات مهمی بگذارد. جکوبسن و روزندال (۱۹۹۰) نیز به نقش هیف های میکوریزای موجود در خاک به عنوان اندام های اضافه کننده کربن به خاک تأکید کردند.

۲-۴-۲- میان کنش[3] بین میکوریزا و میکروارگانیزم های خاک

فیتر و گاربایه[4] (۱۹۹۴) بیان کردند که میان کنش بین قارچ های میکوریز و میکروارگانیزم های خاک در محیط ریزوسفر، می تواند حالات مختلفی از جمله ممانعت کنندگی، تحریک کنندگی، رقابت و حتی همزیستی را شامل شود. آنها همچنین پیشنهاد کردند که قارچ های میکوریز، روابط متقابل گیاهان با سایر میکروارگانیزم های خاک از جمله عوامل بیماری زا، نماتدها و قارچ های ممانعت کننده از رشد ریشه، موجودات همزیست به ویژه باکتری های تثبیت کننده نیتروژن را تحت تأثیر قرار می دهند. هادج[5] (۲۰۰۰) گزارش کرد که میکوریزا و باکتری های موجود در خاک در یک ارتباط متقابل، اسیدهای آمینه، ویتامین ها و برخی هورمون ها را ترشح می کنند که باعث تشدید رشد و تکثیر هر دوی آنها می گردد.

مطالعات حاکی از آن است که همزیستی قارچ، متابولیسم گیاه را از طریق کمیت و کیفیت مواد دفع شده از ریشه تغییر می دهد که این موضوع بر توانایی باکتری ها در تولید و آزادسازی تنظیم کننده های رشد گیاهی تأثیر می گذارد. نتایج آزمایش داد و همکاران (۱۹۹۰) که در خاک های غیرحاصلخیز و خاک هایی

---

[1] - Lovelock, C.E. et al.
[2] - Staddon, P.L. et al.
[3] - Interaction
[4] - Fitter, A.H., and Garbaye, J.
[5] - Hodge, A.

که فسفر در آنها تثبیت شده بود صورت گرفت، نشان داد که قارچ های میکوریز آرباسکولار سبب تحریک گره زایی و تثبیت نیتروژن در لگوم ها می شوند، این تحریک صرفاً به تغذیه فسفر ارتباط داده شد.

وجود اثرات متقابل بین باکتری های حل کننده فسفات و قارچ های میکوریز آرباسکولار در گیاهان مختلف گزارش شده است (Souchie, E.L. et al. 2006 ; Krone, W. et al. 1987). داد و همکاران (۱۹۸۷) گزارش کردند که فعالیت اسید فسفاتاز در اطراف ریشه های گندم و پیاز، در نتیجه کلونیزاسیون گلوموس موسه یا گلوموس ژئوسپروم[1] افزایش یافت. همچنین، وزن خشک اندام های هوایی و فسفر نیز افزایش پیدا کرد. نتایج آزمایش آنها معلوم نکرد که تعداد و فعالیت میکروب های تولیدکننده فسفاتاز می تواند از طریق آلودگی با میکوریز آرباسکولار افزایش یابد یا خیر؟ در مورد این که آیا افـزایش در رشد گیاه، ناشـی از افزایش دسترسـی به فسفر حل شده توسط باکتـری های حل کننده فسفات است و یا این که سایر میکروارگانیزم ها در این مورد دخالت دارند، گزارشات ضد و نقیضی وجود دارد، ولی به نظر می رسد که با توجه به اثرات متقابل بین باکتری های حل کننده فسفات و میکوریز آرباسکولار ممکن است افزایش در رشد گیاه صرف نظر از محلولیت فسفر، به خاطر تولید هورمون های گیاهی و یا ویتامین های تولید شده توسط باکتری های حل کننده فسفات باشد (Gryndler, M. 2000).

۲-۵- نقش قارچ های میکوریز در بوم نظام های کشاورزی

ارتقاء مدیریت بوم نظام های کشاورزی باید با توجه به آگاهی از عمل بوم نظام های طبیعی و چگونگی تغییرپذیری فرآیندهای این نظام های طبیعی از طریق فعالیت های کشاورزی صورت گیرد (Gliessman, S.R. 1998). رشد گیاهـان در بوم نظام های طبیعی به دلیل وجود سازوکارهای تعادلی که در طول دوره تکامل رخ داده است، انجام می شود. این تعـادل بین گیـاه میزبان، موجودات ذره بینـی همزیست آنها و محیط اطرافشـان ایجـاد شده است. برهم زدن این تعادل، امکان ایجاد هر گونه پایداری را در تولید، بدون مصرف نهاده ها جهت جبران اثرات تخریبی کاهش می دهد. بارآ و همکاران[2] (۲۰۰۵) بیان کردند که تغییر، تبدیل و مدیریت زیست توده میکروبی خاک، فرآیندی کلیدی در حفظ چرخه های غذایی خاک است.

---

[1] - *Glomus geosporum*

[2] - Barea, J.M. et al.

نیوشام و همکاران[1] (۱۹۹۵) گزارش کردند که میکوریزا در بوم نظام های کشاورزی، چندین نقش از جمله، بهبود کیفیت خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، ایفا می کند. بارآ و همکاران (۲۰۰۵ و ۱۹۹۸) بیان کردند که همزیستی میکوریز آرباسکولار، یک جزء کلیدی بوم نظام های زراعی به شمار می رود. الگوهـای زراعـی موجود در نظـام های کشـاورزی به جای حفـاظت از نظـام، در جهت بهـره برداری از آن صـورت می گیرد و می تواند اثرات زیان باری بر تشکیل، بقاء و فراوانی اندام های قارچی و تکثیر میکوریز آرباسکولار داشته باشد. بنابراین، اگر درجه ای از عملیات زراعی، معیاری برای پایداری باشد، از بین رفتن مایکوفلور میکوریز آرباسکولار، شاخصی برای کاهش ثبات در نظام خاک و گیاه خواهد بود (Linderman, R.G. 1991).

امکان بالقوه به کارگیری میکروارگانیزم ها در تولید گیاهان زراعی با این حقیقت محدود می شود، که در اصلاح نباتات به منظور بهینه کردن نقش همزیست هایی مانند میکوریزا، هیچ گونه غربالی انجام نمی شود (Dodd, J.C. 2000). در نظام های کشاورزی در مقایسه با بوم نظام های طبیعی، پیش بینی تکثیر فصلی قارچ های میکوریز آرباسکولار و اثرات مثبت یا منفی آنها بر گیاه زراعی دشوارتر است. از دلایل این موضوع می توان به عدم تعادل بین گیاهـان بومی و قـارچ ها، اثرات اقلیمـی و خاک بر قارچ ها و همچنین تأثیر عملیات زراعی بر شرایط طبیعی اشاره کرد (Johnson, N.C., and Pfleger, F.L. 1992).

تجدید ساختار نظام های تولیدی و حرکت به سوی نظام های تولید بیولوژیکی، از طریق استقرار جمعیت های مناسبی از قارچ های میکوریز و موجودات سودمند همزیست همراه با آنها با اتکاء به بینش صحیح و راهبردهای مبتنی بر پایداری امکان پذیر است (Barea, J.M. et al. 2005).

۲-۵-۱- تأثیر عملیات زراعی بر قارچ های میکوریز

تحقیقات متعدد طولانی مدت نشان داده اند که گیاهان در مزارع زیستی[2] و کم نهاده[3]، نسبت به مزارع رایج، بیشتر توسط قارچ های میکوریز کلونیزه شده و فراوانی اسپور و تنوع گونه ای در آنها بیشتر است (Galvez, L. et al. 2001).

[1] - Newsham, K.K. et al.
[2] - Organic
[3] - low input

اُاِهل و همکاران[1] (۲۰۰۴) گزارش کردند که مصرف کود و انرژی در مزارع زیستی نسبت به مزارع رایج، به میزان ۳۴ تا ۵۳ درصد کاهش یافت، در حالی که کاهش عملکرد فقط ۲۰ درصد بود، با این حال تنوع و گسترش گونه های میکوریزا در نظام زیستی، بیشتر از نظام رایج بود. دادز و همکاران[2] (۱۹۹۳) با مقایسه دو نظام زراعی کم نهاده و رایج تولید ذرت و سورگوم بیان کردند که بیشترین جمعیت اسپور میکوریزا و میزان آلودگی گیاهان میزبان، در نظام زراعی کم نهاده مشاهده شد. اُرتاس[3] (۱۹۹۶) بیان کرد که پتانسیل استفاده از قارچ های میکوریز آرباسکولار همانند استفاده از کودهای آلی است. او ضمن انجام آزمایشی با استفاده از مقادیر مختلف مایه تلقیح، نتیجه گرفت که در خاک های فقیر، میزان آلودگی بیشتر از خاک های غنی از مواد غذایی بوده و رشد و نمو بوته های آلوده بهتر از بوته های غیر آلوده بوده است.

۲-۵-۲- نقش قارچ های میکوریز در کشاورزی پایدار

برخلاف دیدگاه های رایج که به خاک فقط به چشم یک بستر فیزیکی و نگهدارنده گیاه نگاه می شود، در بوم نظام های پایدار، خاک به عنوان موجودی زنده، مبدأ و منشأ تمام فرآیندهای بیولوژیک بوده و مهم ترین رکن این گونه نظام ها محسوب می شود. در بوم نظام های پایدار، به ویژه بر نقش میکروارگانیزم ها که عامل اصلی در چرخش عناصر غذایی هستند، تأکید می شود (Mader, P. et al. 2002). بارآ و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که یک بوم نظام پایدار باید بتواند با استفادهٔ درست از منابع طبیعی، ضمن حفظ کیفیت محیط زیست و افزایش تنوع جوامع طبیعی گیاهی، جوامع و فعالیت های مفید میکروبی را تشدید کند. آنچه که از دیدگاه کشاورزی پایدار مهم است، اِعمال روش هایی است که بر اساس آنها بتوان فعالیت های مفید را از طریق تلقیح با خاک، بذر یا گیاهچه افزایش داد (Bethlenfalvay, G.J., and Linderman, R.G. 1992).

فیتر و گاربایه (۱۹۹۴) از میکوریزا به عنوان ابزاری ارزشمند در طراحی نظام های تلفیقی کنترل آفات و تحریک کننده رشد گیاهان در نظام های زراعی یاد کردند. هارت و تروورز[4] (۲۰۰۵) و جیانینازی و همکاران (۲۰۰۱) پیشنهاد کردند که در جریان گذر از نظام های متمرکز و پر نهاده کشاورزی به سوی نظام های تلفیقی، کم نهاده و دوست دار محیط زیست، بر نقش روزافزون میکوریزا، بیش از پیش تأکید می شود.

---

[1] - Oehl, F. et al.
[2] - Douds, D.D. et al.
[3] - Ortas, I.
[4] - Hart, M.M., and Trevors, J.T.

داد (۲۰۰۰) سودمندی بیشتر میکوریزا در بوم نظام های طبیعی و پایدار را به دلیل نیاز کمتر میکوریزا به منابع کربن گیاه در این گونه نظام ها مربوط دانسته و دلیل این امر را برقراری ارتباط گیاه با میسلیوم های از قبل موجود در خاک، ذکر کرده است.

۲-۶- بعضی از اثرات اکوفیزیولوژیک میکوریزا بر گیاه میزبان

۲-۶-۱- میکوریزا و جذب فسفر و برخی عناصر غذایی دیگر

بعضی از مطالعات نشان داده است که فسفر، نیتروژن، پتاسیم، روی، مس، گوگرد، کلسیم و آهن توسط نظام میکوریزایی جذب شده و به گیاه منتقل می شوند (Gosling, P. et al. 2006). به طور کلی، سازوکار جذب از طریق افزایش سطح تماس توسط هیف های قارچ، یا به عبارت دیگر از طریق افزایش طول موثر ریشه است. مک گونیگل و میلر (۱۹۹۹) گزارش کردند که در یک نظام میکوریزایی، طول موثر ریشه ممکن است به میزان ۱۰۰ برابر و یا بیشتر در واحد طول ریشه افزایش یابد. آنها پیشنهاد کردند که بالاتر بودن این پارامتر، می تواند حاکی از کارآیی بیشتر نظام میکوریزایی باشد. اسمیت و جیانینازی- پیرسون[۱] (۱۹۸۸) ضمن مطالعه و اندازه گیری طول هیف های ایجاد شده توسط جنس های مختلف میکوریزا در شبدر، پیاز و علف چمنی[۲]، بیشترین طول هیف بر حسب متر بر سانتی متر ریشه را برابر با ۱۴/۳ برای شبدر میکوریزایی شده توسط گونه گلوموس تنو[۳] گزارش کردند. در بین عناصر غذایی، بیشترین نقش میکوریزا در جذب فسفر است زیرا فسفر کمترین تحرک را در بین عناصر غذایی دارد. وان در هیدن و شوبلین[۴] (۲۰۰۷) بیان کردند که رابطه هزینه و سود برای گیاه، بر حسب فسفر حاصل شده و کربن مصرف شده توسط قارچ میکوریز آرباسکولار ممکن است تنها در مقادیر خاصی از فسفر و یا در دوره زمانی مشخصی از چرخه زندگی گیاه که جذب بیشتر فسفر از طریق میکوریزا در جهت رفع نیازهای گیاه لازم است، سودمند باشد.

---

[1] - Smith, S.E., and Gianinazzi-Pearson, V.
[2] - *Lolium sp.*
[3] - *Glomus tenue*
[4] - Van der Heijden, M.G.A. Scheublin, T.R.

اثر متقابل میکوریزا و کودهای شیمیایی فسفره در چارچوب کشاورزی پایدار پیچیده است، با این حال مشخص شده است که مقادیر زیاد فسفر در خاک، هرچند موقتی، به قارچ های میکوریز آرباسکولار آسیب می رساند (Waterer, D., and Coltman, R. 1989).

به دلیل ضریب پخش زیاد یون نیترات، نقش میکوریزا در تغذیه نیتروژن گیاه ناچیز است. افزایش جذب آمونیوم به وسیله نظام میکوریزایی به ویژه در اکتومیکوریزای همزیست با گیاهان جنگلی مشاهده شده است، ولی اثر آن مانند فسفر نمی باشد. گزارشات کمی در بهبود مستقیم جذب نیتروژن به وسیله نظام میکوریزایی موجود است، به عنوان مثال فورلان و برنیر- کاردو[1] (۱۹۸۹) ضمن مطالعه پیاز میکوریزایی شده، گزارش کردند که نیتروژن می تواند موجب توقف یا بهبود کلونیزاسیون ریشه شود. ریان و اش[2] (۱۹۹۹) گزارش کردند که نیتروژن سبب کاهش کلونیزاسیون و نیز کـاهش تنوع گونه ای میکوریزا شد. سیلویا و نیل[3] (۱۹۹۰) بر نقش تغذیه فسفر در تعیین اثرات مستقیم نیتروژن بر میکوریزا تأکید کردند.

۲-۶-۲- میکوریزا و روابط آبی

نقش فعال هیف قارچ میکوریز آرباسکولار در انتقال آب و ارتباط این پدیده ها با توانایی بهره برداری از آب خاک توسط گیاهان آلوده به میکوریز آرباسکولار در پتانسیل هایی پایین تر از حدی که گیاهان غیر میکوریز آرباسکولار به آن دسترسی دارند، سبب شده است که همزیستی میکوریز آرباسکولار به عنوان یک فن آوری مفید در کشاورزی مناطق خشک، مورد توجه قرار گیرد (Faber, B.A. et al. 1991). شواهـدی (Augé, R.M. 2001 ; Augé, R.M. 2004) وجود دارد مبنـی بر اینکه میکوریـزا می تواند موجب تغییراتی در روابط آبی گیاه از جمله هدایت هیدرولیکی، پتانسیل آب برگ، مقاومت برگ و سرعت تعرق شده و باعث بهبـود مقاومت به خشکـی و یا تحمل به خشکـی در گیـاه میزبان شود.

عامریان و همکاران[4] (۲۰۰۱) در بررسی خود بر روی ذرت تحت تنش، علاوه بر بهبود روابط آبی در سلول های گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی، گزارش کردند که وجود میکوریزا باعث تأخیر در نقطه پژمردگی در

[1] - Furlan, V., and Bernire-Cardou, M.
[2] - Ryan, M.H., and Ash, J.
[3] - Sylvia, D.M., and Neal, L.H.
[4] - Amerian, M.R. et al.

گیاهان تحت تنش می شود. خلوتی و همکاران[1] (۲۰۰۵) گزارش کردند که تحت شرایط خشکی، ۴ درصد از آب موجود در ساختار هیف ها، به گیاه میزبان منتقل شد.

سانازارو و همکاران[2] (۲۰۰۶) گزارش کردند که تلقیح شبدر با گلوموس اینترارادیسس، از تجمع سدیم در گیاه جلوگیری کرده و در عوض غلظت پتاسیم را در ریشه ها افزایش داد، آنها این پدیده را یک سازوکار عمومی در تخفیف تنش شوری توسط میکوریزا در شبدر دانستند. ابوالنصر[3] (۱۹۹۸) نیز نتایج مشابهی را در نتیجهٔ تلقیح کدوی پوست کاغذی با گلوموس اینترارادیسس، به دست آورد.

علی آبادی فراهانی و همکاران[4] (۲۰۰۸) گزارش کردند که استفاده از میکوریزا موجب افزایش کارآیی مصرف آب در گشنیز[5] شد. آنها بیان کردند که کاربرد میکوریزا می تواند موجب افزایش جذب فسفر و آب در شرایط تنش خشکی گردد. اسمیت و رید (۱۹۹۷) گزارش کردند که میکوریزا به جذب آب و عناصر غذایی (عناصر غذایی ای که برای گیاهان غیر قابل دسترس هستند) کمک می کند. آگ و همکاران[6] (۱۹۸۶) گزارش کردند کردند که میزان جذب آب در گل سرخ کلونیزه شده با قارچ میکوریزا افزایش یافت. همزیستی گیاهان با قارچ های میکوریزا، جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر را در شرایط تنش آبی افزایش می دهد (Tobar, R. et al. 1994). در سویا همزیستی با قارچ میکوریزا موجب افزایش ۴۱ درصدی جذب آب شد (Augé, R.M. et al. 1994). وزن خشک، سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه ای بطور معنی داری در سورگوم میکوریزایی در مقایسه با سورگوم غیرمیکوریزایی، هم در شرایط خشکی با دمای بالا و هم در شرایط خشکی با دمای متوسط، بیشتر بود (Ibrahim, M.A. et al. 1990). آزکن و همکاران[7] (۱۹۹۶) گزارش کردند که فعالیت فتوسنتزی و تجمع پرولین (هورمون تنش) در کاهوی میکوریزایی نسبت به کاهوی غیر میکوریزایی بیشتر بود، که این مطلب اهمیت وجود میکوریزا را در سازگاری گیاهان به شرایط خشکی خاطر نشان می سازد. پنا[8] (۱۹۸۵) گزارش کرد همزیستی میکوریزا با یونجه در شرایط تنش آبی، موجب افزایش هدایت روزنه ای، فتوسنتز، جذب فسفر و افزایش نسبت وزن خشک ریشه به ساقه گردید. علی اصغر زاده و

---

[1] - Khalvati, M.A. et al.
[2] - Sannazzaro, A.L. et al.
[3] - Aboul-Nasr, A.
[4] - Aliabadi Farahani, H. et al.
[5] - *Coriandrum sativum* L.
[6] - Augé, R.M. et al.
[7] - Azcon, R. et al.
[8] - Pena, CJI.

همکاران[1] (۲۰۰۶) بهبود وضعیت آبی و تغذیه ای سویای میکوریزایی شده را نتیجهٔ کلونیزاسیون دانستند. آنها همچنین افزایش وزن خشک اندام هوایی و دانه در گیاهان تلقیح دوجانبه شده (گلوموس اتونیکاتوم[2] و برادی رایزوبیوم جاپنیکوم[3]) را به محتوای آب نسبی و پتانسیل آب برگ بیشتر، نسبت دادند. سوبرامانیان و همکاران[4] (۱۹۹۷) گزارش کردند که زیست توده اندام هوایی و ریشه ذرت میکوریزایی شده با گلوموس اینترارادیسس تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش، از گیاهان شاهد بیشتر بود. آنها همچنین، گزارش کردند که پتانسیل آب برگ در طی سه هفته خشکی، در گیاهان میکوریزایی شده بیشتر از گیاهان شاهد بود، ضمن اینکه بعد از رفع دوره تنش، گیاهان میکوریزایی نسبت به شاهد، به زمان کمتری برای بازیابی نیاز داشتند و محتوای فسفر در پایان دوره تنش و بازیابی در آنها بیشتر بود. آروکا و همکاران[5] (۲۰۰۷) گزارش کردند که در شرایط کنترل شده، هدایت هیدرولیکی در لوبیای تلقیح شده با گلوموس اینترارادیسس، نصف هدایت هیدرولیکی در گروه شاهد بود، ولی با اِعمال سه تنش خشکی، سرما و شوری به طور جداگانه، هدایت هیدرولیکی در گیاهان میکوریزایی ثابت ماند ولی در گروه شاهد کاهش یافت.

کوی و نوبل[6] (۱۹۹۲) گزارش کردند که تلقیح یک گونه بیابانی پر آب با میکوریزا، ضمن افزایش جذب آب و مواد غذایی، هدایت هیدرولیکی ریشه را به طور متوسط به مقدار ۲۴ درصد نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی افزایش داد. آلن و آلن[7] (۱۹۸۶) ضمن مطالعه چندین گونه گندمی خشکی پسند، نتیجه گرفتند که میکوریزا بر روابط آبی گیاه تأثیر گذاشته و این موضوع، ضمن به تأخیر انداختن فنولوژی، موجب تغییر در قدرت رقابت آنها شد. نتایج بسیاری از آزمایشات، این موضوع را تأیید می کند که میکوریزا در شرایط خشک نسبت به شرایط دارای رطوبت کافی، در رشد گیاه اهمیت بیشتری دارد (Marulanda, A. et al. 2007). گویی کوچی و همکاران[8] (۲۰۰۴) با مطالعه واکنش گیاه آنتیلیس سایتیسوییدز[9] تحت شرایط کمبود رطوبت، دریافتند که گیاهان میکوریزایی شده با استفاده از سازگاری بوم شناختی، افزایش موم در سطح برگ و نیز تسریع پیری برگ، به کاهش شدید آب پاسخ دادند. آنها همچنین گزارش کردند که

---

1 - Aliasgharzade, N. et al.
2 - *Glomus etunicatum*
3 - *Bradyrhizobium japonicum*
4 - Subramanian, K.S. et al.
5 - Aroca, R. et al.
6 - Cui, M., and Nobel, P.S.
7 - Allen, E.B., and Allen, M.F.
8 - Goicoechea, N. et al.
9 - *Anthyllis cytisoides*

محتوای نسبی آب برگ در گیاهان میکوریزایی، ۱۵ درصد بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزایی بود (۵۰ در برابر ۳۵ درصد).

خلوتی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که در جو میکوریزایی شده تحت شرایط خشکی، کاهش اندازه برگ نسبت به گیاهان شاهد بیشتر بود، ضمن اینکه گیاهان میکوریزایی شده میزان فتوسنتز خالص، هدایت روزنه ای و فشار تورژسانس برگی بیشتری داشتند. بعضی از محققین معتقدند که بهبود وضعیت فسفر گیاه، هدایت هیدرولیکی ریشه را افزایش داده و یا بر متابولیسم هورمونی گیاه تأثیر می گذارد، با این حال، هدایت روزنه ای گیاهان میکوریزایی حتی زمانی که فسفر برگ آنها کمتر از گیاهان غیرمیکوریزایی باشد، بیشتر است (Augé, R.M. 2000). چو و همکاران[1] (۲۰۰۶) گزارش کردند که قرارگرفتن سورگوم میکوریزایی شده با گلوموس اینترارادیسس، در معرض تنش توأم خشکی و شوری، موجب شد تا روزنه ها از نظر زمانی، ۱۷ تا ۲۲ درصد طولانی تر از گیاهان شاهد باز بمانند.

گزارش های زیادی مبنی بر نمود بیشتر گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی در شرایط تنش خشکی وجود دارد که به طور عمده به کارآیی مصرف آب بیشتر در گیاهان میکوریزایی اشاره دارند (Marulanda, A. et al. 2007). کارآیی گیاهان در شرایط تنش خشکی، تا حد زیادی توسط کارآیی مصرف آب تعیین می شود (کوچکی و سلطانی، ۱۳۷۷). در گیاهان میکوریزایی به دلیل افزایش فتوسنتز و تولید بیشتر مواد فتوسنتزی به ازای واحد آب مصرفی، کارآیی مصرف آب افزایش می یابد (Augé, R.M. 2001). سیلویا و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کردند در آزمایشی که در آن سطوح مختلف آبیاری برای گیاهان ذرت میکوریزایی و غیرمیکوریزایی اعمال شد، عملکرد دانه و زیست توده با افزایش مقدار آب، به طور خطی در گیاهان تلقیح شده افزایش یافت و در تمام مدت انجام آزمایش عملکرد دانه و زیست توده در گیاهان میکوریزایی بیشتر بود.

کریشنا و همکاران[2] (۱۹۸۵) ضمن بررسی وابستگی ژنوتیپی ارزن مرواریدی به کلونیزاسیون میکوریزایی و پاسخ به تلقیح، دریافتند که میکوریزا موجب افزایش تعداد دسته جات آوندی شد. قاضی و الکراکی[3] (۱۹۹۸) (۱۹۹۸) سودمندی، هزینه ها و کارآیی مصرف آب را در گندم میکوریزایی و غیرمیکوریزایی در شرایط تنش و عدم تنش خشکی مورد بررسی قرار دادند و عنوان کردند که تنش خشکی، میکوریزا و اثرات متقابل

[1] - Cho, K. et al.
[2] - Krishna, K.R. et al.
[3] - Ghazi, N., and Al- Karaki, G.N.

میکوریـزا و تنش خشکـی، تأثیـر معنی داری بر درصد تشکیـل کلونـی، وزن خشک اندام های هوایی و وزن ریشه ها داشت. آنها همچنین گزارش کردند که گیاهان میکوریزایی به ازای تولید هر واحد ماده خشک اندام های هوایی، آب کمتری مصرف نمودند و بنابراین کارآیی مصرف آب بالاتری داشتند.

مارولاندا و همکاران[1] (۲۰۰۶) گزارش کردند که تلقیح دوگانه گیاه رتاما فائروکارپا[2] با باکتـری باسیلیس تورنجینسیس[3] و قـارچ گلوموس اینترارادیسس، مقدار آب لازم برای تولیـد یک گـرم مـاده خشک اندام هوایـی را به مقـدار ۴۲ درصد، کاهـش داد. آنهـا همچنیـن بیـان کردند که جذب نسبـی آب در گیاهـان تلقیـح شده بیشتر از گیاهـان شاهد بود. علی آبادی فراهانی و همکـاران (۱۳۸۶) گـزارش کردند که کاربـرد میکوریـزا سبب افزایش کارآیـی مصرف آب در گشنیـز شد و از نظر عددی تفاوتی بین کارآیی مصرف آب ناشی از کاربرد میکوریزا و استفاده از ۷۰ کیلوگرم فسفر در هکتار وجود نداشت (به ترتیب ۰/۳۹۷ و ۰/۴ کیلوگرم بر متر مکعب).

گزارش هایی نیز مبنی بر عدم تغییر کارآیی مصرف آب در نتیجه تلقیح با میکوریزا نیز وجود دارد. به عنوان مثال، کلینگمن و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که تلقیح گیاه رز یخی با گلوموس اینترارادیسس که به طور دوره ای در معرض خشکی قرار داده شد، هیچ گونه بهبود معنی داری را در تبادل گازی و کارآیی مصرف آب، در پی نداشت.

کایا و همکاران[4] (۲۰۰۳) گزارش کردند که افزایش هزینه ها در گیاهان میکوریزایی در شرایط تنش خشکی (مصرف بیشتر کربوهیدرات) از طریق افزایش فتوسنتز و سایر فرآورده های متابولیکی جبران می شود و در نتیجه عملکرد در این گیاهان افزایش می یابد. سیلویا و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کردند که پاسخ ذرت به تلقیح گلوموس اتونیکوم، با افزایش تنش خشکی، بیشتر شد. آنها همچنین گزارش کردند که آبیاری پس از تنش خشکی، در گیاهان میکوریزایی شده نسبت به شاهد، افزایش بیشتری در عملکرد دانه و زیست توده هوایی ذرت را به دنبال داشت.

بوسالیس و همکاران[5] (۱۹۸۵) گزارش کردند که تلقیح گندم با میکوریز آرباسکولار، مقاومت به خشکی آنها را افزایش داد. آنها این موضوع را ناشی از تغییر در الاستیسیته برگ، بهبود محتوای آب برگ و پتانسیل

---

[1] - Marulanda, A. et al.
[2] - *Retama sphaerocarpa*
[3] - *Bacillus turengiensis*
[4] - Kaya,C. et al.
[5] - Boosalis, M.G. et al.

تورژسانس و باز ماندن روزنه ها، افزایش طول و عمق ریشه ها و توسعه هیف های خارجی قارچ، دانستند. ترنت و همکاران[1] (۱۹۸۹) نشان دادند که گندم های میکوریزایی در دوره های خشکی بهتر از گیاهان غیرمیکوریزایی، دی اکسید کربن را جذب می کنند و نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی، در پتانسیل های آب خاک پایین تر، روزنه های خود را باز نگه می دارند. گارمندیا و همکاران[2] (۲۰۰۵) گزارش کردند که میزان و مرحله وقوع تنش خشکی و نیز زمان تلقیح در فلفل میکوریزایی شده با گلوموس دسرتیکولا[3]، بر توانایی میکوریزا به عنوان عامل کنترل بیولوژیکی در کنترل بیماری ورتیسلیوم تأثیر گذاشت.

۲-۶-۳- میکوریزا و سرعت فتوسنتز

شواهد بسیار زیادی وجود دارد که گیاهان میکوریزایی شده، سرعت فتوسنتز خود را افزایش می دهند تا نیازهای همزیست خود را تأمین نمایند، این عمل از طریق افزایش سطح برگ، افزایش مقدار تثبیت دی اکسید کربن به ازای واحد وزن برگ و تغییر روابط آبی و هورمونی، انجام می گیرد (Valentine, A.J. et al. 2006). استرادا- لونا و همکاران[4] (۲۰۰۰) گزارش کردند که ۱۸ هفته پس از تلقیح گیاهچه های گواوا[5] با جنس گلوموس، سرعت رشد اندام هوایی و سرعت تولید برگ در آنها، بیشتر از گروه شاهد بود. آنها همچنین گزارش کردند که سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه ای در گیاهان میکوریزایی شده بیشتر بود. از طرفی، آلن و همکاران (۱۹۸۱) بیان کردند که با وجود انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه ها در گیاهان میکوریزایی، این انتقال تأثیری بر وزن خشک گیاه نمی گذارد، به عبارت دیگر وزن خشک گیاهان میکوریزایی، کمتر از گیاهان غیرمیکوریزایی نیست.

کاراواکا و همکاران[6] (۲۰۰۳) گزارش کردند که تلقیح گیاهچه های زیتون[7] و عناب[8] با گلوموس اینترارادیسس، موجب افزایش معنی داری در سرعت فتوسنتز و سرعت تعرق، هدایت روزنه ای و غلظت فسفر برگ در مقایسه با گیاهچه های شاهد شد. ترنت و همکاران (۱۹۸۹) گزارش کردند که گندم رشد داده

---

[1] - Trent, J.D. et al.
[2] - Garmendia, I. et al.
[3] - *Glomus deserticola*
[4] - Estrada-Luna, A.A. et al.
[5] - *Psidium guajava* L.
[6] - Caravaca, F. et al.
[7] - *Olea sp*.
[8] - *Rhamnus sp*.

شده در کرت های ضدعفونی شده، ۴۰ تا ۵۲ درصد فتوسنتز، ۴۱ تا ۵۵ درصد هدایت روزنه ای و ۲۴ تا ۳۶ درصد تعرق برگ پرچمی کمتر نسبت به گندم های میکوریزایی شده داشتند.

۲-۶-۴- میکوریزا و میزان کلروفیل برگ

بسیاری از محققان، افزایش میزان کلروفیل برگ در گیاهان میکوریزایی شده نسبت به گیاهان شاهد را گزارش کرده اند (Sanchez-Blanco, M.J. et al. 2004). ژائو و همکاران[1] (۲۰۰۴) نیز گزارش مشابهی ارائه و بیان کردند که تلقیح میکوریزایی، صرف نظر از سطوح فسفر، سبب افزایش کیفیت برگ تنباکو نیز گردید. برخی از محققین افزایش در میزان کلروفیل گیاهان میکوریزایی شده را به افزایش جذب نیتروژن توسط نظام میکوریزایی نسبت داده اند، به عنوان مثال، سوبرامانیان و کارست[2] (۱۹۹۵) گزارش کردند که پروتئین های محلول و کل محتوای نیتروژن در گیاهان ذرت میکوریزایی شده نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی، در شرایط خشکی بالاتر بود. آنها چنین عنوان کردند که ارتقاء فعالیت آنزیم های تثبیت نیتروژن و ترکیبات نیتروژنه در ذرت می تواند حاکی از انتقال نیترات از طریق هیف های برون سلولی میکوریزا باشد.

۲-۷- کلیاتی در مورد گیاه ذرت

۲-۷-۱- تاریخچه و اهمیت اقتصادی ذرت

در بین غلات، ذرت گیاهی است که از هزاران سال پیش بعنوان غذا مورد استفاده انسان و حیوانات و پرندگان بوده و حدود ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد در پرو وجود داشته است.

بیش از ۱۰۰ میلیون هکتار از زمین های زراعتی دنیا به کشت ذرت اختصاص دارد. سطح زیر کشت آن بعد از گندم، از غلات دیگر بیشتر است ولی محصول آن از نظر تولید بعد از گندم و برنج و در مکان سوم قرار دارد. در حال حاضر، سالانه حدود ۱۲۰ تا ۱۳۰ میلیون هکتار از زمین های زراعتی جهان، به کشت ذرت اختصاص دارد و مهمترین کشورهای صادرکنندهٔ ذرت، آمریکا، آرژانتین، آفریقای جنوبی و تایلند می باشند (خدابنده، ۱۳۷۷).

---

[1] - Zhao, F.G. et al.
[2] - Subramanian, K.S., and Charest, C.

۲-۷-۲- توسعه کشت ذرت در ایران

کشت ذرت تا چند سال پیش در ایران به مقیاس وسیع، معمول نبود. لکن در سال های اخیر با توجهی که به امر دامپروری شده، کشت ذرت نیز توسعه یافته و در حال حاضر، بیش از ۱۴ هزار هکتار از اراضی کشور زیر کشت آن قرار دارد که ۱۰ هزار هکتار آن مربوط به ذرت علوفه ای سیلوئی است و محصول آن برابر ۵ تا ۱۰ هزار تن گزارش شده و ۴ هزار هکتار نیز به کشت ذرت دانه ای اختصاص دارد. در حال حاضر، مهمترین مناطق کشت ذرت، استان های گیلان، مازندران، خوزستان و تهران می باشند. در خوزستان و سایر نواحی گرمسیر جنوب و غرب کشور، در صورت وجود یا تأمین آب، دو بار برداشت ذرت در یک سال با عملکرد ۴ تا ۷ تن دانه در هر کشت، امکان پذیر است. در گیلان و مازندران کشت ذرت دیم، کاملاً موفقیت آمیز و عملکرد آن بین ۴ تا ۸ تن دانه در هکتار می باشد (خدابنده، ۱۳۷۷).

۲-۷-۳- مشخصات گیاهشناسی ذرت

ذرت، گیاهی از تیرهٔ غلات و از جنس zea و گونهٔ آن zea mays با ۲n=۲۰ کروموزوم می باشد. ساقهٔ آن مانند سایر غلات، بند بند و میان تهی و بدون انشعاب است. فاصلهٔ بین گره ها در انواع مختلف بین ۶ تا ۲۰ سانتیمتر تغییر می نماید. ساقه ها راست و ارتفاع آنها حدود ۲ تا ۵ متر و در بعضی شرایط، طول ساقه ممکن است حداکثر به ۸ متر هم برسد. برگ از پهنک و غلاف تشکیل شده که غلاف، ساقه را در آغوش می گیرد. طول برگ به ۸۰- ۳۰ و گاهی ۱۵۰ سانتیمتر می رسد و عرض آن حدود ۱۰ سانتیمتر و ضخامت آن حدود ۲ میلیمتر است. ذرت قدرت پنجه زدن ندارد و دارای ریشه های قوی و انبوه ولی سطحی است. ضخامت ساقه ذرت در حدود ۳ سانتیمتر و حدود ۱۴-۱۲-۸ میان گره دارد. تعداد برگ های ذرت بین ۴۸-۸ عدد و به طور متوسط ۱۸-۱۲ عدد می باشد. ریشه اولیه ۵-۳ عدد و ریشه های ثانویه که در ۵-۳ سانتیمتری خاک ظاهر می شوند، ۲۰-۱۵ عدد می باشند. ریشه های ذرت گاهی به عمق ۳-۲ متری خاک نفوذ می کنند. ذرت دارای خاصیت تولید پاجوش هایی از اطراف گره های انتهایی خود می باشد. بوته ذرت یک پایه[1] بوده و آرایش گل های نر در انتهای ساقه و آرایش گل های ماده در محل گره ها و در بغل برگ می باشد. سنبلهٔ ماده از یک محور اصلی قطور تشکیل شده است که روی آن سنبلک ها روی ردیف های منظمی قرار گرفته

[1] - Monoique

اند. هر سنبلک دارای دو گل است که فقط بالایی بارور می شود. مجموعه آرایش ماده توسط غلافی به نام اسپات[1] پوشیده شده که اصطلاحاً پوست بلال نامیده می شود. لقاح، معمولاً غیر مستقیم و به وسیلهٔ باد صورت می گیرد. کلاله ها روی میله های بلندی که عوام آن را ریش ذرت می نامند، قرار دارد. رنگ دانه ذرت بسته به ارقام مختلف متفاوت است و از سفید، زرد، قرمز، ارغوانی تا سیاه تغییر می کند. وزن هزار دانهٔ آن از ۱۰۰ تا ۴۰۰ گرم متغیر است (خدابنده، ۱۳۷۷).

۲-۷-۴- انواع ذرت

ذرت را از نظر طول دوره زندگی به سه دستهٔ زودرس، متوسط رس و دیررس تقسیم می کنند. مهمترین طبقه بندی ذرت از نظر شکل ظاهری دانه و ترکیبات و خواص آن عبارتست از: ذرت دندان اسبی، ذرت بلوری، ذرت آردی، پاپ کورن، ذرت شیرین قندی، ذرت غلاف دار، ذرت مومی. (خدابنده، ۱۳۷۷).

۲-۷-۵- نیازهای اکولوژیکی ذرت

۲-۷-۵-۱- حرارت

ذرت گیاهی است که در دوره رشد احتیاج زیادی به حرارت دارد و در مناطق گرم بهترین محصول را تولید می نماید. احتیاجات حرارتی ذرت در مواقع جوانه زدن بیش از گندم و جو است و حداقل درجه حرارت در این مرحله حدود ۶ درجه سانتیگراد است. در موقع تولید جوانه، درجه حرارت خاک به خصوص قسمت سطحی (۵ سانتیمتری نزدیک سطح زمین) باید حدود ۱۰ درجه باشد. در چنین شرایطی مدت زمان لازم برای تولید جوانه و خروج آن از خاک بین ۶ تا ۲۰ روز و در خاک هایی که حرارت آنها ۱۶ تا ۲۰ درجه باشد، ۵ تا ۶ روز می باشد. مناسبترین درجه حرارت در طول دوره رشد ذرت ۳۰-۲۰ درجه است. ذرت را می توان تا ارتفاع ۳۰۰۰ متری از سطح دریا کشت کرد ولی در ارتفاعات زیادتر، ذرت، دیررس شده و از درجه رسیدگی آن کاسته می شود.

۲-۷-۵-۲- خاک

[1] - Spathe

کشت ذرت در خاک هایی که دارای عمق کافی، نرم و قابل نفوذ باشد، امکان پذیر بوده و باید دارای تهویهٔ مناسب باشند و از نظر آهک و هوموس، غنی و دارای مقادیر زیادی مواد کلوئیدی به ویژه هوموس باشند. مناسبترین PH خاک برای رشد و نمو ذرت، ۶/۵- ۵/۵ است.

۲-۷-۵-۳- رطوبت

یکی از مسائل مهم و قابل توجه در مورد ذرت تأمین آب و مراحل مختلف آبیاری این گیاه است. ذرت در دوران زندگی خود، به آب نسبتاً زیادی نیاز دارد و در مناطقی که میزان بارندگی به ۷۰۰-۶۰۰ میلیمتر با پراکندگی زمانی مناسب برسد، به خوبی رشد و نمو می نماید. مقدار آب و مراحل آبیاری بسته به شرایط جوی محیط، بافت خاک و مقدار رطوبت موجود در خاک دارد و با در نظر گرفتن درجه حرارت محیط، ۷ تا ۱۲ روز یکبار باید ذرت را آبیاری نمود.

۲-۷-۶- عملکرد ذرت

مقدار محصول ذرت درهر هکتار زمین زراعتی تابع عواملی مانند حاصلخیزی خاک، رطوبت محیط، آبیاری، جنس زمین، استفاده از مواد غذایی مختلف و مقدار آنها، درجه حرارت محیط، واریته و ... است. در مورد ذرت دانه ای و در شرایط خوب زراعتی، عملکرد دانه بین ۷ تا ۱۰ تن دانه در هکتار با رطوبت ۱۵ درصد می باشد (خدابنده، ۱۳۷۷).

فصل سوم

۳- مواد و روش ها

۳-۱- موقعیت جغرافیایی محل آزمایش

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه آموزشی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا انجام شد.

متوسط بارندگی منطقه، ۲۵۲ میلی متر، متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶ درجه سانتیگراد، متوسط حداکثر درجه حرارت ۳۹ درجه سانتیگراد و متوسط حداقل درجه حرارت ۲۱- درجه سانتیگراد برآورد و آب و هوای منطقه بر اساس روش آمبرژه، سرد و خشک تعیین شده است (آمار سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۸). قبل از اجرای آزمایش، از خاک محل اجرای طرح، نمونه برداری و خصوصیات محل اجرای آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت. مشخصات کلی خاک محل انجام آزمایش در جدول ۳-۱ آورده شده است.

جدول ۳-۱- مشخصات کلی خاک محل انجام آزمایش

نیتروژن (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	ماده آلی (%)
۰/۰۲۴	۸/۸	۱۲۵	۲/۰۴	۰/۴

۳-۲- طرح آماری آزمایش

آزمایش به صورت کرت های خرد شده[1] و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار در زمینی به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع اجرا گردید. کرت های اصلی، چهار سطح آبیاری شامل : ۲۵ درصد نیاز آبی ذرت، ۲- ۵۰ درصد نیاز آبی ذرت، ۳- ۷۵ درصد نیاز آبی ذرت و ۴- حدود ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت بود. کرت های فرعی شامـل: ۱- شاهد (بدون میکوریـز)، ۲- در حضور میکوریـز، تلقیح با گونه گلوموس موسه[2]، ۳- در حضور میکوریـز، تلقیح با گونـه گلوموس اینترارادیسس[3] بود. بنابراین در هر تکرار چهار کرت اصلی و در هر کرت اصلی، سه کرت فرعی وجود داشت. بذر مصرفی، بذر ذرت (متوسط رس) سینگل کراس ۷۰۴ [4] بود. ابعاد هر کرت اصلی ۴×۹ متر و هر کرت فرعی ۴×۳ متر بود. بین کرت های متوالی در هر تکرار، حدود یک متر و بین هر تکرار، ۲ متر فاصله در نظر گرفته شد.

۳-۳- عملیات مزرعه ای

کلیه عملیات زراعی و مصرف نهاده ها اعم از کاشت، داشت و برداشت، در زمان مناسب و معمول و طبق عرف منطقه و به شرح زیر انجام گردید: پس از تحویل گرفتن زمین، قبل از انجام کاشت، ابتدا از عمق ۳۰ سانتی متری خاک محل انجام آزمایش، نمونه گیری و جهت تعیین محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به آزمایشگاه ارسال شد و سپس زمین مطابق با اندازه های ذکر شده، مرزبندی گردید و عملیات کاشت در تاریخ ۸۸/۳/۱۲ انجام شد. کشت در کرت هایی که باید در آنها از میکوریزا (دو گونه) استفاده می شد، به این طریق انجام شد که ابتدا شیاری به عمق ۵-۴ سانتی متر در خاک ایجاد کرده و ۱۵ گرم از مایه تلقیحی میکوریزا (که با خاک همراه بود) را در شیار ریخته و دو عدد بذر ذرت را (که از قبل، سه بار با مایع ضد عفونی کننده شستشو داده شده بودند) روی مایه تلقیحی میکوریزا گذاشته و سپس روی آن با خاک پوشانده شد. فاصله بذور روی هر ردیف ۲۰ و فاصله بین ردیف ها ۷۵ سانتی متر بود. تراکم در نظر گرفته شده ۷ بوته در متر مربع بود.

---

[1] - split plot
[2] - *Glomus mosseae*
[3] - *Glomus intraradices*
[4] - Single Cross 704 (S.C 704)

سپس روز بعد، اولین آبیاری (بصورت کامل و یکنواخت در تمام زمین) انجام شد. و آبیاری دوم، پنج روز بعد باز هم بصورت کامل و یکنواخت در تمام زمین انجام شد. سومین، چهارمین و پنجمین آبیاری نیز به صورت کامل و یکنواخت در تمام زمین انجام گردید. پس از رسیدن گیاه به مرحله سه تا چهار برگی، زمین تنک گردید و سپس اِعمال تنش در تاریخ ۸۸/۴/۹ آغاز شد. اِعمال تنش بر اساس میزان نیاز آبی ذرت انجام گردید. نیاز آبی ذرت در مشهد توسط نرم افزار نِتوات[1] تعیین شد (در پیوست ۱ آورده شده است). در نرم افزار نِتوات، مقدار نیاز آبی ذرت بصورت ده روزه تعیین شده بود، ولی به دلیل هماهنگ شدن با شرایط مزرعه، مقدار آبیاری ذرت در این تحقیق، بصورت هفت روزه در نظر گرفته شد (یعنی عدد مربوط به مقدارنیاز آبی هر دهه، تقسیم بر ۱۰ شد تا نیاز آبی برای یک روز به دست آید. سپس با استفاده از یک تناسب ساده، مقدار نیاز آبی برای هفت روز تعیین شد). با شروع اِعمال تنش، میزان آب آبیاری در هفت روز اول (۸۸/۴/۹ تا ۸۸/۴/۱۵) برای تیمار حدود ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت، ۵۰۳ مترمکعب در هکتار و برای تیمارهای ۲۵ درصد (یک چهارمِ ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت)، ۵۰ درصد (یک دومِ ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) و ۷۵ درصد (سه چهارمِ ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت)، به ترتیب ۱۲۵/۷۵، ۲۵۱/۵ و ۳۷۷/۲۵ مترمکعب در هکتار محاسبه گردید. آبیاری های بعدی (اِعمال تنش ها)، به همین روش ذکر شده، هر هفت روز به هفت روز تا تاریخ ۸۸/۷/۵، انجام شد.

(برای روشن شدن بیشترِ روش محاسبه مقدار نیاز آبی ذرت، روش محاسبه برای هفت روز اولِ اِعمال تنش یعنی از ۸۸/۴/۹ تا ۸۸/۴/۱۵ برای تیمار حدود ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت، شرح داده می شود:

با مراجعه به جدول نیاز آبی ذرت که در پیوست ۱ آورده شده است، مشاهده می شود که دو روز اول اِعمال تنش یعنی روزهای ۸۸/۴/۹ و ۸۸/۴/۱۰، در دهۀ اول تیر ماه واقع شده که حاصلجمع نیاز آبی ذرت برای این دو روز با توجه به عدد جدول، مساوی ۱۱/۸ {۲ × ۵/۹ (نیاز آبی یک روز) } میلیمتر شد. پنج روز بعدی اِعمال تنش یعنی از روزهای ۸۸/۴/۱۱ تا ۸۸/۴/۱۵، در دهۀ دوم تیر ماه واقع شده که حاصلجمع نیاز آبی ذرت برای این پنج روز با توجه به عدد جدول، مساوی ۳۸/۵ {۵ × ۷/۷ (نیاز آبی یک روز) } میلیمتر شد که حاصلجمع ۱۱/۸ و ۳۸/۵ مساوی ۵۰/۳ میلیمتر می شود که معادل ۵۰۳ مترمکعب در هکتار می باشد).

آبیاری به طریق نشتی انجام شد و هر بار، مقدار آب آبیاری، به طور دقیق توسط کنتور ثبت می شد و پس از اینکه به اندازه مقدار محاسبه شده، به کرت ها آب داده می شد، آبیاری قطع می گردید.

[1] - NETWAT

از سه متر طول هر کرت، دو متر ابتدایی به نمونه برداری تخریبی در طول فصل رشد و یک متر انتهایی برای تعیین عملکرد اختصاص داده شد. برداشت در نیمه اول مهرماه ۱۳۸۸ انجام شد.

صفات اندازه گیری شده شامل، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزاردانه، تعداد بلال، تجمع ماده خشک، دمای کانوپی (CTD)، عدد کلروفیل متر (SPAD)، درصد رطوبت نسبی برگ، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، طول مخصوص ریشه، درصد کلونیزاسیون قارچ و کارایی مصرف آب بودند.

۳-۳-۱- اندازه گیری سطح برگ

سطح برگ بوته ها توسط دستگاه Leaf Area Meter, Li-Cor, LI-1300, USA اندازه گیری شد. اندازه گیری ها، ۴۰ روز پس از کاشت و به فاصلهٔ هر دو هفته یک بار تا انتهای فصل رشد انجام شد. در هر اندازه گیری، سه بوته به طور تصادفی انتخاب گردید.

۳-۳-۲- اندازه گیری ارتفاع بوته

در پایان مرحلهٔ کاکل دهی، ارتفاع سه بوته از اولین میانگره بعد از ریشه های نگه دارنده، از هر کرت فرعی اندازه گیری و میانگین آنها ثبت شد.

۳-۳-۳- تعیین مقدار ماده خشک

تعیین تجمع ماده خشک (شامل مقدار وزن ساقه و برگ)، ۴۰ روز پس از کاشت و به فاصلهٔ هر دو هفته یک بار تا انتهای فصل رشد انجام شد. در هر اندازه گیری، سه بوته به طور تصادفی انتخاب گردید.

۳-۳-۴- اندازه گیری شاخص کلروفیل برگ یا عدد کلروفیل متر

با استفاده از دستگاه کلروفیل متر [اسپد ۵۰۲ (SPAD 502, Minolta, Japan)] شاخص کلروفیل برگ قرائت شد. اندازه گیری ها، ۴۰ روز پس از کاشت و به فاصلهٔ هر دو هفته یک بار و بر روی سومین برگ کاملاً توسعه یافته، از بالای بوته و در نقطه ای واقع در وسط طول برگ و وسط فاصلهٔ لبه برگ با رگبرگ میانی (به طوری که نور مستقیم خورشید به حسگر دستگاه نتابد) انجام شد.

۳-۳-۵- اندازه گیری دمای کانوپی

برای اندازه گیری دمای کانوپی از ترمومتر مادون قرمز مدل Infra-red thermometer KM 842 Standard Model, Kane-May, England ضمن رعایت نکات دستورالعمل روت و گوین[1] (۲۰۰۴) و پس از چندین بار آزمایش در حالات مختلف استفاده شد. در آزمایش حاضر، به منظور اندازه گیری دمای کانوپی، در حالت پشت به آفتاب و موازی با ردیف های کاشت، با فاصلهٔ ۱/۵ متری از ابتدای ردیف میانی و در حالی که زاویه محور دستگاه نسبت به افق حدود ۳۰ درجه بود، نقطه ای مجازی در وسط میانگره پنجم سومین بوته نشانه گیری و دما قرائت شد. اندازه گیری ها، ۴۰ روز پس از کاشت به فاصله هر ۴ هفته یک بار، یک روز قبل از آبیاری و در ساعت ۱۱ صبح انجام شد. (از هر کرت فرعی، سه گیاه انتخاب و برای هر گیاه، عدد نمایش داده شده روی صفحه مانیتور ترمومتر، قرائت و ثبت شد).

۳-۳-٦- اندازه گیری درصد رطوبت نسبی برگ

برای اندازه گیری درصد رطوبت نسبی[2] مطابق روش وترلی[3] (۱۹۵۰)، مقدار ۰/۵ گرم از نمونه های برگی ترجیحاً برگ های سوم از انتهای هر گیاه جدا شدند. بلافاصله برگ های جدا شده جهت تعیین وزن تر با استفاده از ترازوی دقیق یکهزارم گرم توزین شدند. سپس نمونه های برگی در داخل پتری دیش های دربدار محتوی ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر غوطه ور شده و به مدت ۶ ساعت در محیط نسبتاً خنک و بدون نور نگهداری شدند. پس از گذشت این مدت، برگ ها را از داخل پتری دیش ها درآورده و سریعاً با کاغذ خشک کن، آب برگ ها خشک گردید و با ترازوی یکهزارم گرم، وزن آماس کامل آنها تعیین شد. سپس نمونه های برگی به داخل آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد منتقل شدند و بعد از ۴۸ ساعت، وزن خشک برگ ها اندازه گیری شد. بدین ترتیب، مقدار رطوبت نسبی برگ ها با استفاده از رابطه ۱-۳ زیر محاسبه گردید:

رابطه ۱-۳:

$$\mathrm{RWC} = \frac{wf - wd}{wt - wd} \times 100$$

[1] - Roth, G., and Goyne, Ph.
[2] - Ralative Water Content (RWC)
[3] - Weatherley, P.E.

(در این رابطـه، wf وزن تـر نمونـه برگ، wd وزن خشک نمونه برگ و wt وزن آمـاس نمونه برگ می باشد). اندازه گیری ها، ۴۰ روز پس از کاشت به فاصلهٔ هر ۴ هفته یک بار، یک روز قبل از آبیاری و در ساعت ۱۱ صبح انجام شد.

۳-۳-۷- محاسبه کارآیی مصرف آب

اساس مفهوم کارایی مصرف آب، رابطهٔ بین آب مصرفی گیاه و میزان عملکرد می باشد. به عبارت دیگر، کارآیی مصرف آب در تولید، بیانگر میزان عملکرد در ازای مقدار آب مصرفی می باشد.

یکی از روش های محاسبهٔ کارآیی مصرف آب، استفاده از رابطه ۲-۳ است که در آن، کارآیی مصرف آب بر حسب گرم بر کیلوگرم آب مصرفی (آب آبیاری+ بارندگی) محاسبه می گردد (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۸۰) (در تحقیق حاضر نیز، از این روش استفاده شده است).

رابطه ۲-۳:

$$WUE = \frac{D}{W_p + W_i}$$

D: عملکرد بیولوژیک یا عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)

W_p: آب بارندگی (میلی متر)

W_i: آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)

در تحقیق حاضر، جهت محاسبـه کارایـی مصرف آب، میزان آب وارده از طریق بارندگـی با توجـه به داده های ایستگاه هواشناسی محاسبه شد و داده های بدست آمده از آزمایش، در رابطه ۲ قرار گرفته و میزان کارآیی مصرف آب گیاه محاسبه گردید.

۳-۳-۸- تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک

جهت تعیین عملکرد دانه، پس از رسیدن گیاه به مرحله برداشت، تعداد ۷ بوته از هر کرت فرعی، انتخاب شد و عملکرد دانه، تعداد بلال و وزن هزار دانه در این ۷ بوته مورد محاسبه قرار گرفت. برای تعیین عملکرد بیولوژیک نیز وزن کل ۷ بوتهٔ مذکور تعیین گردید.

۳-۳-۹- تعیین طول مخصوص ریشه

به مقدار طول ریشهٔ موجود در حجم مشخصی از خاک، طول مخصوص ریشه گفته می شود. به منظور تعیین طول مخصوص ریشه، در اواخر فصل رشد از گیاهان رشد کرده در مزرعه، اقدام به نمونه گیری از هر کرت فرعی شد، بدین ترتیب که پس از حذف اندام های هوایی بوته هایی که برای نمونه گیری انتخاب شده بودند، خاک اطراف ساقه به صورت یک مکعب به ضلع ۲۵ سانتی متر برش داده شد (Tennant, D. 1975) و سپس تمام خاک و ریشهٔ موجود در این مکعب، بیرون آورده شد. پس از حذف اولیه خاک اضافی اطراف ریشه ها، بلافاصله نمونه ها به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه، ریشه ها به دقت با آب شسته شدند به طوری که کاملاً عاری از خاک شدند. از هر نمونه، مقدار ۵ گرم ریشه که تا حد امکان تمام نواحی ریشه در آن موجود بودند، برش داده شده و به منظور تعیین درصد کلونیزاسیون در مراحل بعد در ظروف شیشه ای حاوی محلول فیکساتور (ترکیبی از فرمالین، اسید استیک و اتانول به نسبت حجمی ۵:۵:۹۰ (فرمالین: اسید استیک: اتانول) که از قبل آماده شده بود، قرار داده شد (برخی محققین، فرمالین را به خاطر اثرات سمی آن از ترکیب فوق حذف کرده اند). قرار دادن ریشه ها در این محلول باعث مرگ آنها و پایان تمام فعالیت های سلولی می گردد. ریشه های فیکس شده در محلول فوق را می توان به مدت ۲/۵ سال نگهداری کرد (صفایی، ۱۳۷۸).

در ادامه، طول مخصوص ریشه (طول ریشهٔ موجود در ۲۵ سانتی متر مکعب خاک) با استفاده از روش تنانت اصلاح شده (Tennant, D. 1975) تعیین شد. روش کار بدین شرح است که ۱ گرم ریشهٔ تازه به طور تصادفی از هر نمونه برش داده شده و به قطعات ۱ سانتی متری تقسیم شدند، و به طور تصادفی بر روی یک مربع با مساحت ۱۰۰ سانتی متر مربع که خود از مربعات کوچکتر به ضلع ۱ سانتی متر تشکیل شده بود، قرار داده شدند. سپس محل برخورد قطعات ریشه با هر کدام از خطوط افقی و عمودی شبکهٔ مربعی، شمارش شد. در خاتمه، طول مخصوص ۱ گرم ریشهٔ تر با جمع کردن اعداد مربوط به تمام ردیف ها و ستون ها محاسبه شد. قطعات ۱ سانتی متری، درون یک پاکت کوچک و تمام ریشه اصلی، درون یک پاکت بزرگ قرار داده شد و به مدت لازم در آون با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی گراد خشک شدند. سپس وزن خشک نمونه ها تعیین شد. با داشتن طول یک گرم ریشهٔ تر و وزن خشک آن و با استفاده از یک تناسب، طول مخصوص ریشه (طول ریشه به ازای وزن خشک آن) برای هر نمونه (مقدار کل ریشهٔ موجود در هر نمونه) به دست آمد.

۳-۳-۱۰- تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه

تعیین درصد کلونیزاسیون طول ریشه ها مستلزم رنگ آمیزی ریشه های فیکس شده و سپس مشاهده و اندازه گیری آن قسمت از طول ریشه ها که توسط اندام های قارچی آلوده شده اند، می باشد که به این منظور به ترتیب از روش رنگ آمیزی کورمانیک و مک گرا[1] (۱۹۸۲a و ۱۹۸۲) و روش جی یووانتی و موسه[2] (۱۹۸۰) موسوم به روش گریدلاین اینترسکت[3] با کمی تغییرات (Rajapaske, S., and Miller, C. 1992) استفاده شد.

الف) رنگ آمیزی ریشه ها: در ابتدا به مقدار لازم (حدود ۲/۵ گرم) از ریشه هایی که قبلاً در محلول فیکساتور (F.A.A) قرار داده شده بودند، برداشته و سه بار با آب مقطر شستشو داده، پس از آن به منظور شفاف کردن ریشه ها (حذف سیتوپلاسم و هستهٔ سلول میزبان قارچ میکوریزا) و نیز نفوذ بهتر رنگ در بافت ریشه، در محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد (۱۰ گرم هیدروکسید پتاسیم در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر) به مدت لازم (با توجه به ضخامت ریشه ها و زمان لازم برای خارج شدن تانن و پیگمان ها از بافت ریشه) که بین ۲۴ تا ۷۲ ساعت است، قرار داده شدند (Schaffer, G.F., and Peterson, R.L. 1993). اگر از نظر زمانی محدودیت وجود داشته باشد، می توان ریشه ها را در فشار ۱۶ پاسکال به مدت ۱۰ دقیقه اتوکلاو کرد و یا آنها را به مدت ۶۰-۵ دقیقه در زیر هود جوشاند. در تحقیق حاضر، از روش اول استفاده شد. پس از این مرحله، ریشه ها سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند تا آخرین بقایای رنگ قهوه ای آنها کاملاً پاک شود. در ادامه، ریشه ها به مدت ۱۰ تا ۳۰ دقیقه (بسته به ضخامت آنها) در محلول آب اکسیژنهٔ قلیایی (۳ میلی لیتر هیدروکسید آمونیوم، ۳۰ میلی لیتر آب اکسیژنهٔ ۱۰ درصد، ۵۶۷ میلی لیتر آب مقطر) قرار داده شدند. به دلیل ناپایدار بودن آب اکسیژنه و تجزیهٔ آن، این محلول باید به مقدار نیاز تهیه شده و بلافاصله مورد استفاده قرار گیرد. بعد از سپری شدن زمان فوق، ریشه ها از محلول خارج شده و ۳ مرتبه با آب مقطر شستشو شدند، سپس به منظور اسیدی کردن بافت جهت نفوذ بهتر رنگ، به مدت ۳ تا ۵ دقیقه در محلول ۱ درصد اسید کلریدریک (۱ میلی لیتر اسید کلریدریک در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر) قرار داده و پس از آن بلافاصله به محلول رنگ آمیزی انتقال داده شدند. برای تهیه محلول رنگ آمیزی، ابتدا ۸۷۶ میلی لیتر اسید لاکتیک، ۶۴ میلی لیتر گلیسرین و ۶۰ میلی لیتر آب مقطر با هم مخلوط شده و به حجم ۱ لیتر

[1] - Kormanik, P.P., and McGraw, A.C.
[2] - Giovannetti, M., and Mosse, B.
[3] - Gridline-intersect method

رسانده شده و به خوبی توسط همزن شیشه ای هم زده شدند، سپس ۰/۱ گرم پودر آنیلین بلو[1] در ۱۰۰ میلی لیتر از محلول فوق (لاکتوگلیسرول) با استفاده از کمی حرارت کاملاً حل شده و محلول یکنواختی حاصل شد. همانند مرحلهٔ شفاف سازی، برای رنگ آمیزی ریشه ها نیز می توان از اتوکلاو و یا حرارت یا رعایت همان شرایط استفاده کرد. در تحقیق حاضر، نمونه ها در دمای آزمایشگاه، به مدت ۱ تا ۲ شبانه روز در محلـول رنگ آمیزی رهـا شدند تا به خود رنگ بگیرند. اگر فاصلهٔ زمانی بین رنگ آمیزی و مشاهده در زیر استرئومیکروسکوپ طولانی باشد، باید ریشه ها را از محلول رنگ آمیزی خارج کرده و به مدت ۱۰-۴ دقیقه در محلول اسید لاکتیک (به عنوان رنگ بر) نگه داشت تا رنگ اضافی حذف شود، در غیر این صورت، نگه داشتن نمونه های ریشه در داخل محلول رنگ آمیزی تا زمان مشاهده و اندازه گیری، بلامانع خواهد بود. در پایان مرحلهٔ رنگ آمیزی، اندام های قارچی به رنگ آبی دیده خواهند شد. از مزایای این روش، حذف فنل سمی از محلول رنگ آمیزی، قابلیت مجدد استفاده از محلول رنگ آمیزی بعد از چند بار استفاده و در نهایت امکان نگهداری ریشه ها در اسید لاکتیک رنگ بر، به مدت حدود ۳ سال می باشد.

ب) مشاهدهٔ اندام های قارچی و تعیین درصد کلونیزاسیون طول ریشه: از نمونهٔ ریشهٔ رنگ آمیزی شده، تعداد ۱۰۰ قطعهٔ ۱ سانتی متری جدا کرده و به طور تصادفی بر روی شبکهٔ مربعی که قبلاً شرح آن گذشت، قرار داده می شوند. به منظور وضوح بیشتر تصویر حاصل، می توان چند قطره لاکتوگلیسرول را بر روی قطعات ریشه ریخت. سپس شبکهٔ مربعی را در زیر استرئومیکروسکوپ با درجهٔ بزرگ نمایی ۴۰ قرار داده و همانند روش تعیین طول مخصوص ریشه عمل شد، با این تفاوت که در این جا ملاک، برخورد با خطوط افقی و عمودی شبکه نیست بلکه آن قسمتی از ریشه است که حداقل یکی از ساختارهای قارچ میکوریزا (آرباسکول، وزیکول، هیف و حتی اسپور) در آن دیده می شود. بدیهی است که به خاطر کامل قرار نگرفتن شبکه در میدان دید استرئومیکروسکوپ، باید از یک گوشهٔ شبکهٔ مربعی، مشاهده و ارزیابی را شروع کرده و به طور مرتب و به آهستگی شبکه را حرکت داده تا تمام قطعات ریشه از معرض دید شخص مشاهده کننده، بگذرند.

درصد کلونیزاسیون عبارت خواهد بود از حاصل جمع تعداد تلاقی های قطعات ریشهٔ دارای ساختار قارچی با خطوط افقی و عمودی شبکهٔ مربعی.

[1] - Aniline blue water soluble

در رنگ آمیزی ریشه ها با آنیلین بلو باید به چند نکته توجه شود از جمله این که دستجات آوندی ریشه که ممکن است به خود رنگ گرفته باشند با اندام های قارچی میکوریزا اشتباه گرفته نشوند. همچنین ممکن است مریستم انتهایی و کلاهک ریشه و به میزان کمتر پوشش هسته، به خود رنگ بگیرند. لازم به ذکر است که آنیلین بلو خاص قارچ میکوریزا نیست و امکان دارد که قارچ های ساپروفیتی موجود در ریشه نیز رنگ بگیرند که با استفاده از ریشه های تازه و نگهداری آنها در یخچال می توان از بروز اکثر این اشکالات جلوگیری کرد.

۳-۴- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده های آزمایش و رسم اشکال مربوط به آنها، توسط نرم افزارهای اِکسِل[1] و سَس[2] انجام گرفت. مقایسـهٔ کلیهٔ میانگیـن ها با آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

[1] - MS-Excel Ver. 11
[2] - SAS

فصل چهارم

۴- نتایج و بحث

۴-۱- عملکرد دانه

همان گونه که در جدول ۴-۱ مشاهده می شود، استفاده از هر دو گونه میکوریزا، تأثیر معنی داری بر عملکرد دانه داشت ($p\leq ۰/۰۱$)(شکل۱). در مقایسه کلی بین دو نوع میکوریزا، گلوموس اینترارادیسس[1] تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه داشت اما این تفاوت، معنی دار نبود (شکل۱).

با وجود اینکه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین (۳۴۵۸۳/۳ کیلوگرم در هکتار) و تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت، کمترین (۱۳۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (شکل۲). همچنین، در سطوح ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین عملکرد دانه به ترتیب ۱۸۲۰۳/۳، ۲۴۳۵۰، ۲۹۸۸۳/۳ و ۳۴۵۸۳/۳ کیلوگرم در هکتار با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس به دست آمد (شکل۲).

داده های جدول ۴-۱ نشان می دهد، سطوح مختلف آبیاری نیز تاثیر معنی داری بر عملکرد دانه داشت ($p\leq ۰/۰۱$). بیشترین عملکرد دانه، مربوط به تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و کمترین عملکرد دانه، مربوط به تیمار ۲۵٪ نیاز آبی ذرت بود (شکل۳).

هدف نهایی از زراعت ذرت، عملکرد دانه است. عملکرد هر جامعه گیاهی، نحوه فعالیت آن را در طی فصل رشد و نمو و نحوه استفاده از تشعشع، مواد غذایی، آب و سایر منابع محیطی نشان می دهد. تسهیم و تخصیص مواد فتوسنتزی در گیاهان مختلف، تابع خصوصیات ژنتیکی گیاه و نیز شرایط محیطی است.

---

[1] - *Glomus intraradices*

ظرفیت مخزن، روابط بین مبدأ و مخزن، نسبت بین هورمون های مختلف، شرایط محیطی به خصوص دما و رطوبت از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر شکل گیری عملکرد گیاهان زراعی هستند (Evans, L.T. 1993). به نظر می رسد که همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه ذرت از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی، موجب افزایش فتوسنتز شده و این امر سبب تولید فرآورده بیشتر و بهبود رشد از جمله عملکرد دانه گردیده است.

محققان مختلف اشاره کرده اند که یکی از فواید میکوریزا، می تواند افزایش عملکرد گیاه میزبان باشد. تخفیف شرایط سخت محیطی به ویژه تنش خشکی، شوری و تنش ناشی از فلزات سنگین و آلاینده های محیطی و حفاظت از گیاه میزبان در برابر عوامل بیماری زای خاکزی، از دیگر فواید میکوریزا برای گیاه میزبان می باشد (Linderman, R. 2006 ; Pinior, A. et al. 2005).

تأثیر میکوریزا بر افزایش عملکرد دانه، در طیف وسیعی از گیاهان مورد مطالعه قرار گرفته است که در این مورد، مثال هایی ذکر می گردد. کوتاماسی و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که همزیستی میکوریزایی یک استراتژی برتر رقابتی برای گیاه میزبان فراهم می آورد. با وجود این، در برخی موارد، میکوریزا باعث افزایش عملکرد گیاه میزبان نیز شده است، به عنوان مثال، سیوردینگ[1] (۱۹۹۱) طی انجام آزمایشات گسترده مزرعه ای ۵۰ واریته کاساوا[2] را با میکوریزا تلقیح کرد و مشاهده نمود که به طور متوسط عملکرد غده ۲۰ تا ۲۵ درصد (۳ تن در هکتار) افزایش یافت. او همچنین گزارش کرد که کاربرد میکوریزا، موجب افزایش ثبات در تولید گردید.

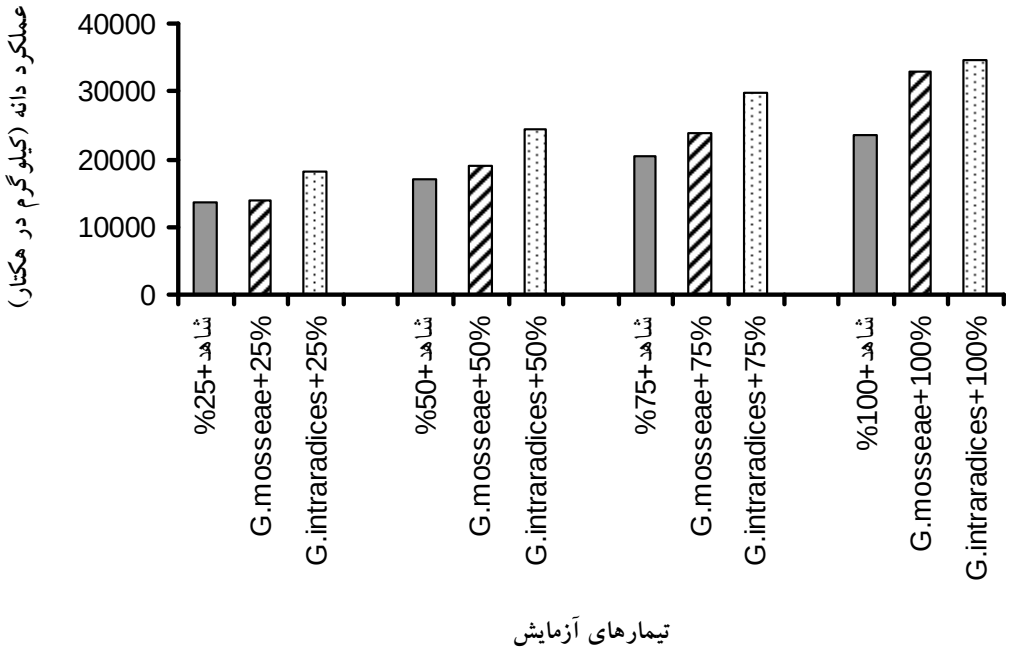
درزی و همکاران (۱۳۸۸ و ۱۳۸۵) در تحقیق خود بر روی رازیانه بیان کردند که بیشترین عملکرد دانه (۱۳۶۷ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۸۸ و ۱۰۴۷ کیلوگرم در سال ۸۵) در تلقیح با میکوریزا به دست آمد. آزکون و همکاران[3] (۱۹۹۲) گزارش کردند که تلقیح گیاهچه های کاهو با میکوریزا، سبب افزایش عملکرد شد. آگوئیلرا- گومز و همکاران[4] (۱۹۹۹) نیز افزایش زیست توده میوه فلفل میکوریزایی شده را نسبت به شاهد گزارش کردند. نامبردگان دلیل این امر را افزایش راندمان مصرف آب و بهبود وضعیت عناصر غذایی گیاه ذکر کردند. علی اصغرزاده و همکاران (۲۰۰۶) گزارش مشابهی را در مورد سویا ارائه نمودند. همزیستی ریشه رازیانه با دو گونه قارچ میکوریزا بطور معنی داری سبب بهبود زیست توده و عملکرد دانه رازیانه گردید

---

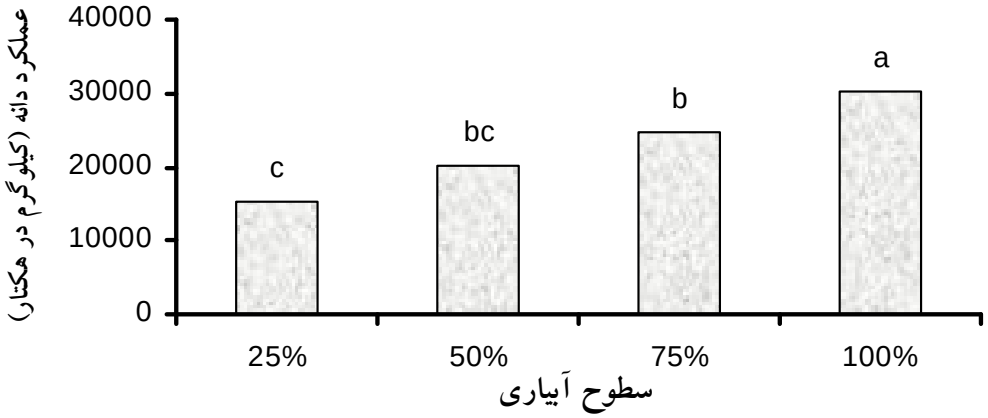
[1] - Sieverding, E.
[2] - *Manihot spp.*
[3] - Azcon, L.R. et al.
[4] - Aguilera-Gomez, L. et al.

(Kapoor, R. et al. 2004). سوبرامانیان و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند که در گیاه ذرت تلقیح شده با میکوریزا (گلوموس اینترارادیسس) عملکرد دانه افزایش یافته و محتوای نیتروژن، فسفر، پتاس، منیزیم، منگنز و روی در دانه این گیاهان نسبت به شاهد بیشتر بود. کوتاماسی و همکاران (۲۰۰۱) هزینه همزیستی میکوریزا برای گیاه میزبان را ۱۰ تا ۲۰ درصد از تولیدات فتوسنتزی گزارش کردند.

شکل۱) تأثیر نوع میکوریزا بر عملکرد دانه



شکل۲) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر عملکرد دانه ذرت



شکل۳) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر عملکرد دانه

۴-۲- وزن هزار دانه

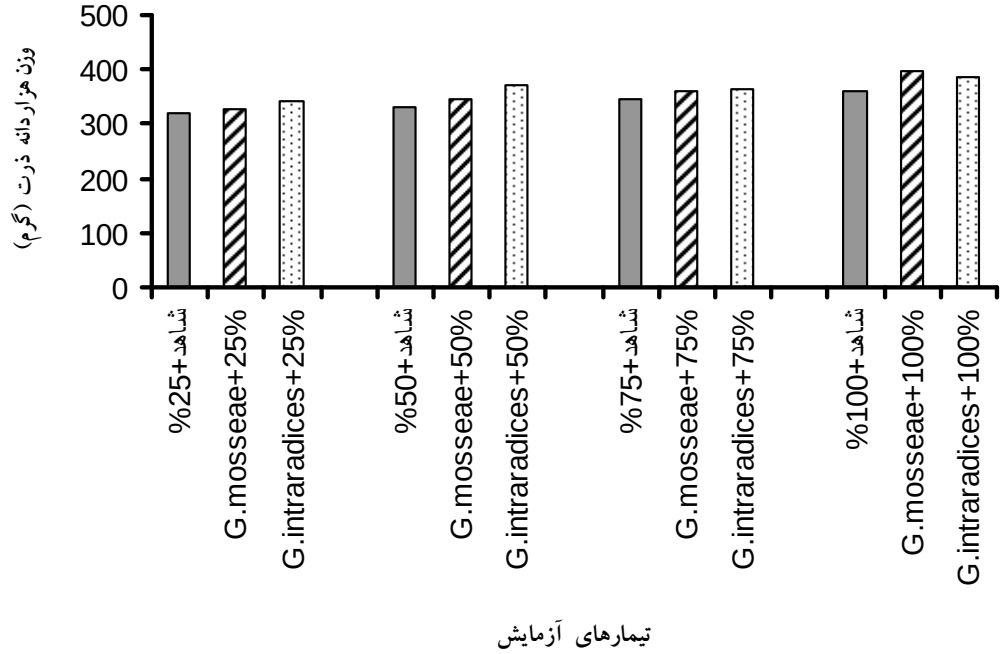
همان گونه که در جدول ۴-۱ مشاهده می شود، استفاده از هر دو گونه میکوریزا، تأثیر معنی داری بر وزن هزار دانه داشت ($p\leq$۰/۰۱). با وجود اینکه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما تیمار گلوموس موسه[1] + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت بیشترین (۳۹۶ گرم) و تیمار شاهد+ ۲۵٪ نیاز آبی ذرت، کمترین (۳۱۸/۲ گرم) وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند (شکل۴). همچنین، در سطوح ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین وزن هزار دانه به ترتیب ۳۴۱/۰۶، ۳۷۰/۴۳، ۳۶۲/۵۶ گرم با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس به دست آمد و در سطح ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین وزن هزار دانه (۳۹۶ گرم) با به کار بردن قارچ گلوموس موسه حاصل گردید (شکل۴). در مقایسه کلی بین دو نوع میکوریزا، اگرچه تلقیح با گلوموس اینترارادیسس تأثیر بیشتری بر وزن هزار دانه داشت اما این تفاوت، معنی دار نبود (شکل۵).

داده های جدول ۴-۱ نشان می دهد، سطوح مختلف آبیاری نیز تأثیر معنی داری بر وزن هزار دانه داشت ($p\leq$۰/۰۱). بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و کمترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار ۲۵٪ نیاز آبی ذرت بود (شکل۶).

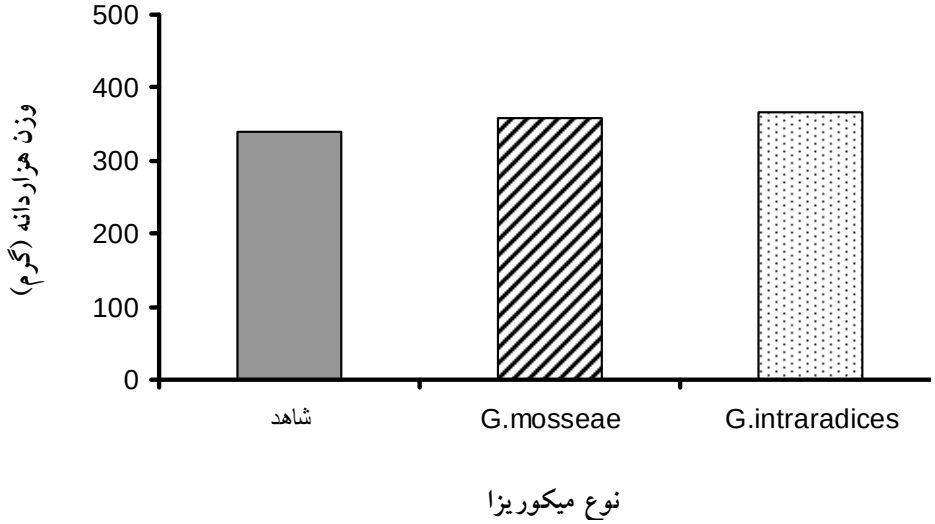
به نظر می رسد که میکوریزا از طریق همزیستی با ریشه ذرت جذب آب و عناصر غذایی را افزایش داده و در نهایت موجب افزایش فتوسنتز و به تبع آن تولید فرآورده بیشتر از جمله وزن هزار دانه گردیده است. درزی و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد رازیانه گزارش کردند که

[1] - *Glomus mosseae*

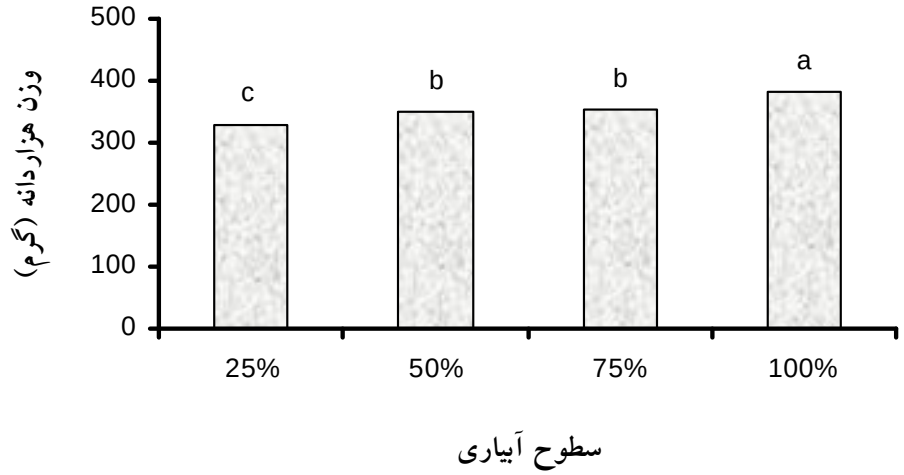
بیشترین وزن هزاردانه در تلقیح با میکوریزا حاصل شد. در مقابل، مرادی و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی خود بر روی رازیانه، بیان کردند که استفاده از کود بیولوژیک میکوریزا تأثیر معنی داری بر وزن هزار دانه نداشت. آنها بیان کردند شاید به دلیل کوچک بودن بذر رازیانه، اثرات افزایش وزن هزار دانه، چندان محسوس نبوده است.



شکل۴) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری بر وزن هزاردانه ذرت



شکل۵) تاثیر نوع میکوریزا بر وزن هزاردانه ذرت



شکل۶) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر وزن هزاردانه ذرت

٤-۳- تعداد بلال در متر مربع

با توجه به نتایج آورده شده در جدول ۴-۱، استفاده از قارچ های میکوریز تأثیر معنی داری بر تعداد بلال ذرت نداشت ($p\geq$۰/۰۵) (شکل۷).

با وجود اینکه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما در تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین تعداد بلال و در تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت و تیمار گلوموس موسه + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت، کمترین تعداد بلال به دست آمد (شکل۸). در تمام تیمارهای تحت تنش و تیمارهای آبیاری کامل (۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت)، آنهایی که همراه با میکوریزا بودند، تعداد بلال بیشتری نسبت به تیمارهای شاهد داشتند (شکل۸).

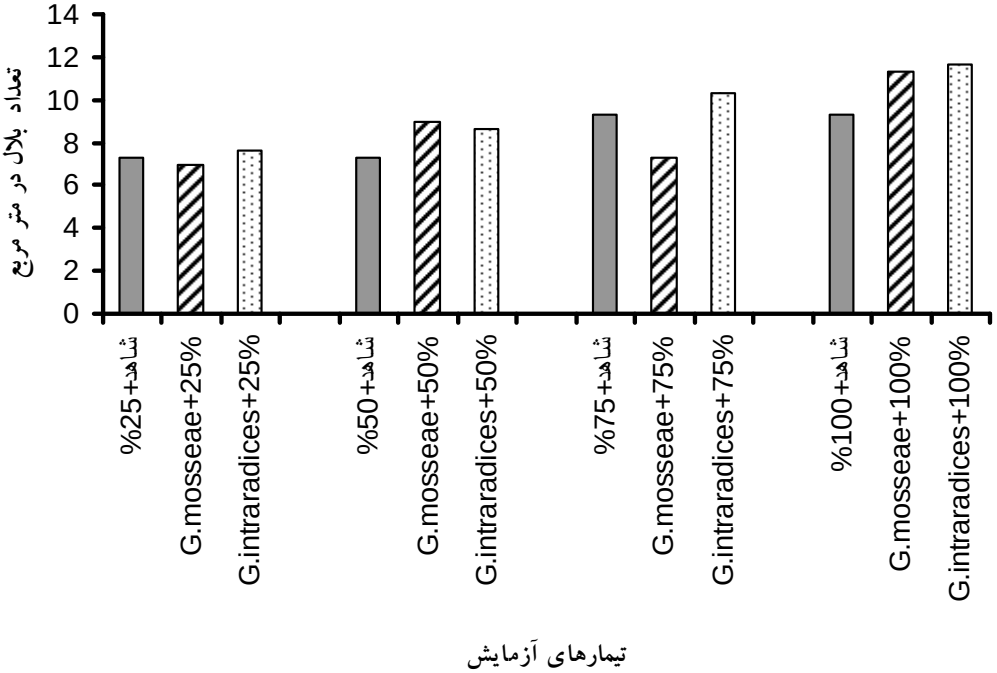
کاربرد سطوح مختلف آبیاری تأثیر معنی داری بر تعداد بلال داشت ($p\leq$۰/۰۵) (جدول۴-۱). بیشترین تعداد بلال در تیمارهای ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و کمترین تعداد بلال در تیمارهای ۲۵٪ نیاز آبی ذرت حاصل گردید (شکل۹).

بررسی مـرادی و همکاران (۱۳۸۸) بر روی گیاه رازیانه بیانگر این بود که تعداد چتر، دانه در چترک و وزن دانه در بوته در تیمار میکوریزایی بیشتر از تیمار غیرمیکـوریزایی بود. این نتیجـه با بررسی کاپور و همکـاران[1] (۲۰۰۴) و بررسی درزی و همکاران (۱۳۸۷) بر روی گیاه رازیانه مطابقت دارد. همچنین تحقیق

[1] - Kapoor, R. et al.

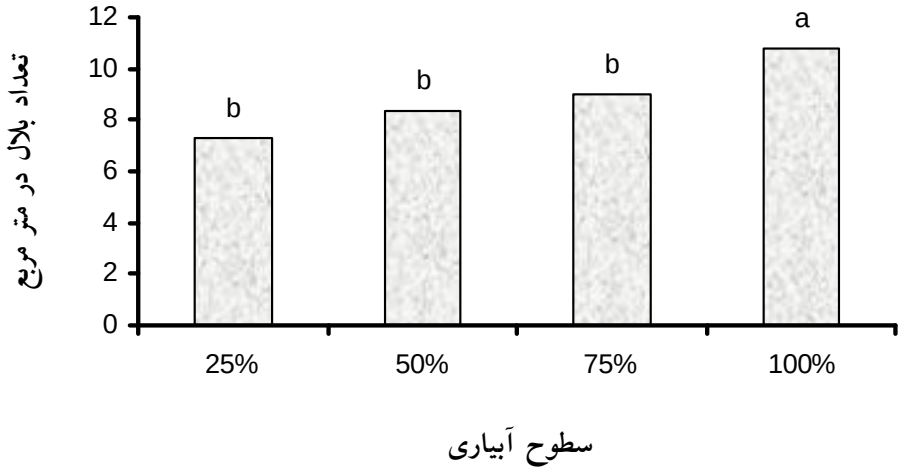
سوبرامانیان و همکاران (۲۰۰۶) بر روی گوجه فرنگی[1] نشان داد که همزیستی ریشه گوجه فرنگی با میکوریزا موجب افزایش بارز تعداد گل در بوته در مقایسه با تیمار غیرمیکوریزایی گردید. بررسی درزی و همکاران (۱۳۸۵) بر روی رازیانه نشان داد که تعداد چتر در بوته در تیمار میکوریزایی ۱۷/۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود.

شکل ۷) تاثیر نوع میکوریزا بر تعداد بلال ذرت



شکل۸) تاثیر گونه های میکوریز در سطوح آبیاری مختلف بر تعداد بلال ذرت

[1] - *Lycopersicon esculentum*



شکل۹) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر تعداد بلال ذرت

۴-۴- عملکرد بیولوژیک

جدول ۴-۱ بیانگر آن است که استفاده از میکوریزا، تأثیر معنی داری بر عملکرد بیولوژیک داشته است ($p\leq ۰/۰۵$)(شکل۱۰).

اگرچه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین (۵۸۴۶۶/۶ کیلوگرم در هکتار) و تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت، کمترین (۲۰۵۵۰ کیلوگرم در هکتار) عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند (شکل۱۱). در سطوح ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۳۳۵۱۶/۶، ۴۳۶۰۰، ۴۷۸۸۳/۳ و ۵۸۴۶۶/۶ کیلوگرم در هکتار با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس به دست آمد (شکل۱۱).

اگرچه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما استفاده از میکوریزا، هم در تیمارهای تحت تنش آبی و هم در تیمارهای با آبیاری مناسب، موجب افزایش عملکرد بیولوژیک در مقایسه با تیمار شاهد شد. به طور کلی در تیمارهای با کاربرد هر دو گونه قارچ میکوریز، میزان عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمارهای شاهد، افزایش نشان داد (شکل۱۱). در مقایسه بین دو نوع میکوریزا، گلوموس اینترارادیسس تأثیر بیشتری بر عملکرد بیولوژیک داشت (شکل۱۰).

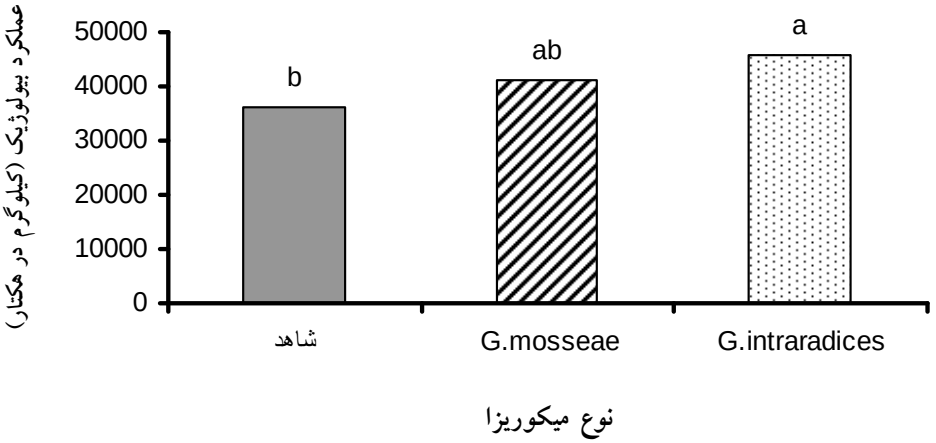
همانطور که در جدول ۴-۱ مشاهده می شود، به کار بردن سطوح مختلف آبیاری تأثیر معنی داری بر عملکرد بیولوژیک ذرت داشت ($p\leq ۰/۰۱$). بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و کمترین عملکرد بیولوژیک در تیمار ۲۵٪ نیاز آبی ذرت حاصل شد (شکل۱۲).

عملکـرد بیولوژیک کل قسمتهای هوایـی گیـاه را شامـل می شود. چنین به نظـر می رسد که استفاده از قارچ های میکوریز، ضمن کمک به گیاه جهت تأمین عناصر غذایی، با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی در خاک و ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه، باعث افزایش رشد اندام هوایی و میزان عملکرد بیولوژیک شدند.

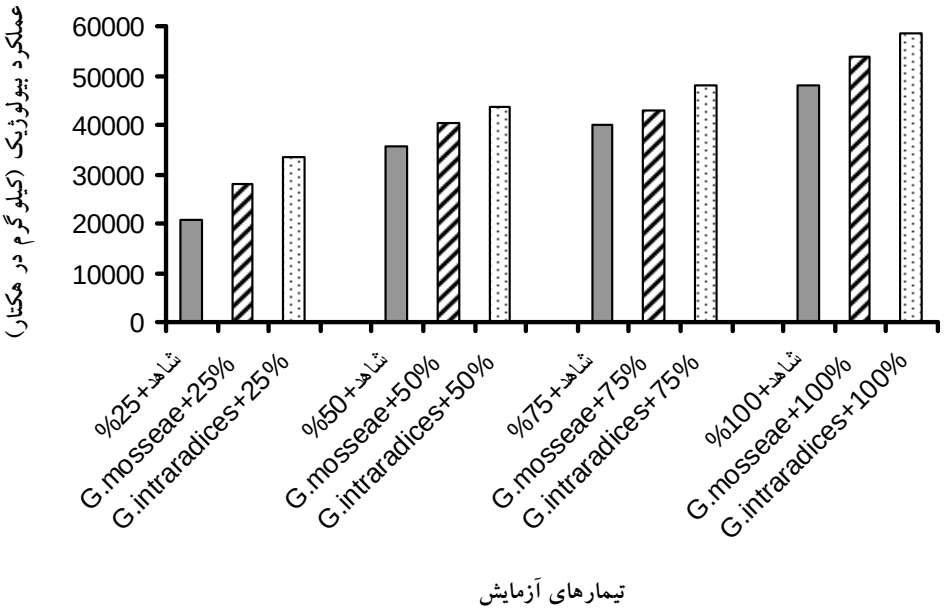
تأثیر میکوریزا بر افزایش عملکرد بیولوژیک در طیف وسیعی از گیاهـان مورد بررسی قرار گرفته است که مثال هایی در این مورد ذکر می گردد. بت و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که تلقیح میکوریزا با ماش[1] موجب افزایش معنی دار عملکرد بیولوژیک در این گیاه گردید. نتیجه تحقیق درزی و همکاران (۱۳۸۵) بر روی رازیانه نشان داد که عملکرد بیولوژیک در تیمار میکوریزایی ۱۷/۳ درصد بیشتر از تیمار غیرمیکوریزایی بود. در همین زمینه، کاپور و همکاران (۲۰۰۴) و گوپتا و همکاران[2] (۲۰۰۲) به نتایج مشابهی دست یافتند. بررسی علی آبادی فراهانی و همکاران (۱۳۸۷) بر روی گیاه گشنیز بیانگر این بود که بیشترین عملکرد بیولوژیک از کاربرد قارچ میکوریزا به دست آمد. نتیجه بررسی کلیک و همکاران[3] (۲۰۰۴) و نتایج کاپور و همکاران (۲۰۰۱) و شیرانی راد و همکاران (۱۳۷۹) نیز مؤید این مطلب است. دلیل این امر را می توان مکانیزم عمل قارچ های میکوریز آرباسکـولار در جذب فسفـر دانست. ریسه هـای میـکوریزا به دو دسته تقسیـم می شوند. تعدادی از آنها وارد سیستم ریشه گیاه شده و موجب کاهش غلظت آبسزیک اسید گشته و میزان سیتوکینین را افزایش می دهند. این عمل سبب افزایش جذب آب و گسترش سیستم ریشه ای گیاه می گردد. دسته دوم از ریسه ها خارج از سیستم ریشه اند. این ریسه ها از خود اسیدهای آلی محلول کننده فسفر نظیر اسید فسفاتاز ترشح کرده که جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می دهد. این عوامـل دست به دست هم داده و موجب افزایش کلیه صفـات در شـرایط کـاربرد قـارچ میکـوریزا می گردد (علی آبادی فراهانی و همکاران، ۱۳۸۷). مسلّماً گیاهی که آب و عناصر مغذی بیشتری جذب کند و همراه با آن افزایش فتوسنتز داشته باشد، عملکرد بیولوژیک بیشتری خواهد داشت.

---

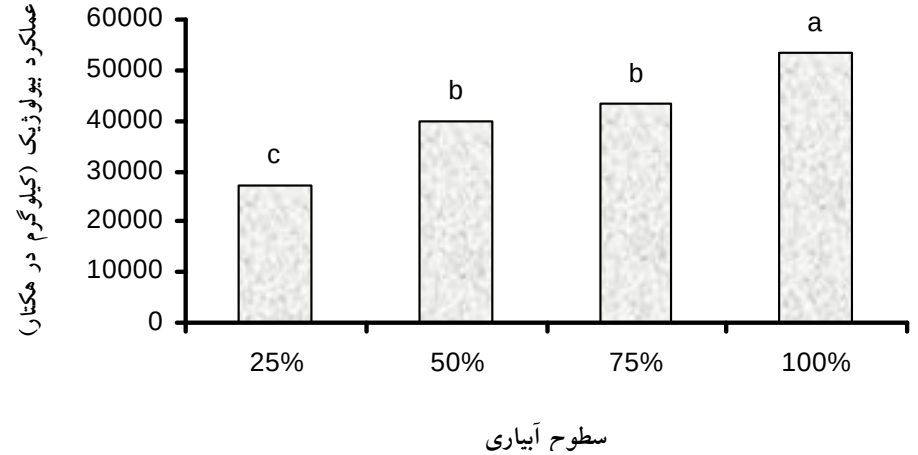
[1] - *Vigna radiate* L.
[2] - Gupta, M.L. et al.
[3] - Celik, I. et al.



شکل۱۰) تاثیر نوع میکوریزا بر عملکرد بیولوژیک ذرت



شکل۱۱) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر عملکرد بیولوژیک ذرت



شکل۱۲) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر عملکرد بیولوژیک ذرت

٤-٥- شاخص سطح برگ

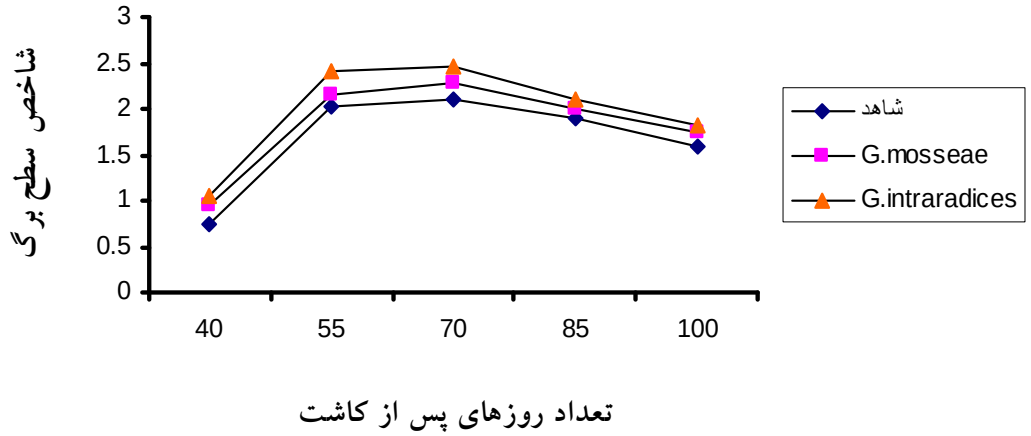
شکل ۱۳ روند تغییرات شاخص سطح برگ را در اثر کاربرد دو گونه میکوریزا نشان می دهد. در کلیه تیمارهای مورد آزمایش با گرم شدن هوا، دوره گسترش سریع برگ آغاز شد، و شاخص سطح برگ با روند افزایشی به حداکثر رسید. بعد از این مرحله با افزایش سایه اندازی و کاهش نفوذ نور به داخل کانوپی، فعالیت فتوسنتزی کاهش یافته و به دلیل زرد شدن و ریزش برگهای پایین کانوپی، روند نزولی در منحنی شاخص سطح برگ مشاهده گردید. زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها نسبتاً همزمان بود. استفاده از هر دو نوع قارچ میکوریز، در نمونه گیری های انجام شده (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ روز پس از کاشت)، تأثیر معنی داری بر شاخص سطح برگ داشت ($p\leq ۰/۰۵$)(جدول۴-۲).

با وجود اینکه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما بیشترین شاخص سطح برگ در طی فصل رشد به میزان ۲/۷۴ و در تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و کمترین شاخص سطح برگ در طی فصل رشد به میزان ۰/۵۱ و در تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت مشاهده شد. همچنین، در سطوح ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین شاخص سطح برگ به ترتیب ۲/۳۲، ۲/۳۸، ۲/۷ و ۲/۷۴ با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس حاصل شد.

در مقایسه بین دو نوع میکوریزا، گلوموس اینترارادیسس تأثیر بیشتری بر شـاخص سطح برگ داشت (شکل۱۳). کم بودن شـاخص سطـح برگ در تیمارهـای تحت تنش را می توان به اختصاص کمتر ماده خشک برای تولید برگ در گیاه نسبت داد. ولی در مقایسه بین تیمارهای میکوریزایی و شاهد تحت تنش، در تیمارهای میکوریزایی، حضور قارچ های میکوریز تا حدودی کمبود آب را جبران کرده و به گیاه در تأمین آب و عناصر غذایی مورد نیاز و افزایش رشد و شاخص سطح برگ، کمک نموده است. به همین دلیل است که استفاده از قارچ های میکوریز در شرایط تنش، خصوصاً تنش آبی، می تواند اهمیت بسزایی در تأمین نیاز آبی و غذایی گیاه داشته باشد.

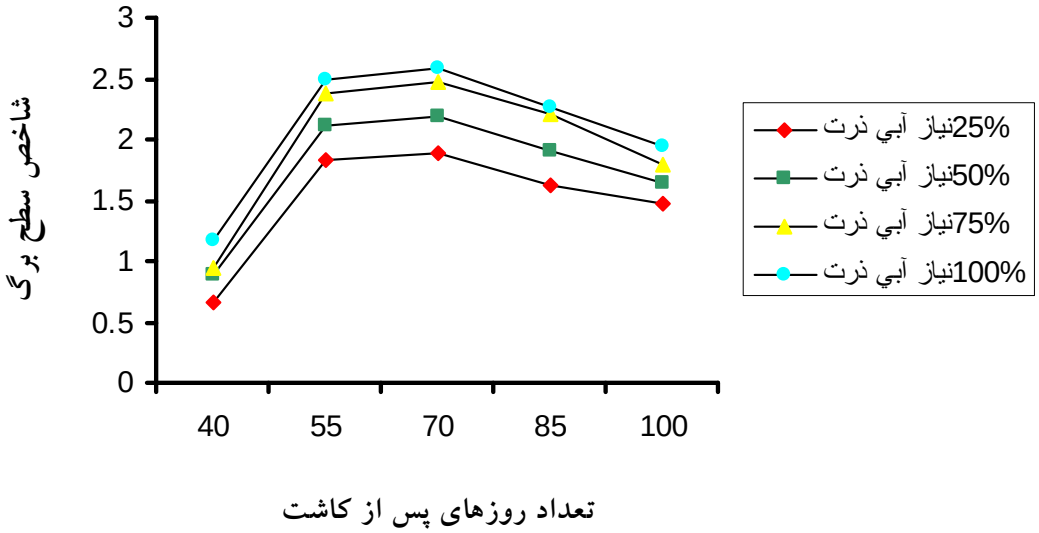
شکل ۱۴، روند تغییرات شاخص سطح برگ را در اثر کاربرد سطوح مختلف آبیاری نشان می دهد. با اعمال سطوح بیشتر آبیاری، شاخص سطح برگ نسبت به شاهد افزایش یافت. به طور کلی در سطوح آبیاری ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین میزان شاخص برگ حاصل شد (شکل۱۴).

از آنجایی که شاخص سطح برگ نشان دهنده پتانسیل جذب تشعشع فعال فتوسنتزی توسط پوشش گیاهی می باشد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۵)، به نظر می رسد که استفاده از میکوریزا در هر چهار سطح آبیاری موجب افزایش شاخص سطح برگ و نهایتاً دوام برگ و از طرف دیگر افزایش طول دوره فتوسنتزی در گیاه شده است. گزارشاتی وجود دارد مبنی بر اینکه قارچ های همزیست میکوریز، سطح برگ را مستقیماً افزایش نمی دهند، بلکه بر دوام سطح برگ و وزن مخصوص برگ تأثیر می گذارند (Wu, Q.S., and Xia, R.X. 2006 ; Valentine, A.J. et al. 2006). با وجود این، تاکور و پنوار[1] (۱۹۹۷) گزارش کردند که میکوریزا در گیاه لوبیا باعث ۹/۱ درصد افزایش در سطح برگ شد. در بررسی عامریان و همکاران (۲۰۰۱) بر روی ذرت، سطح برگ و سطح مخصوص برگ در گیاهان میکوریزایی تحت تنش خشکی بزرگتر از گیاهان غیرمیکوریزایی تحت تنش بود. محققین بسیاری بر نقش مثبت میکروارگانیزم های همزیست بر ویژگی های رشدی گیاهان میزبان، در نظام های طبیعی و در مزرعه تأکید کرده اند (Cardoso, I., and Kuyper, M.T.W. 2006 ; Barea, J.M. et al. 2005).



شکل۱۳) تاثیر نوع میکوریزا بر روند تغییرات شاخص سطح برگ

[1] - Thakur, A.K., and Panwar, J.D.S.



شکل ۱۴) تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر روند تغییرات شاخص سطح برگ

۴-۶- ارتفاع بوته

همان گونه که در جدول ۴-۱ ملاحظه می شود، کاربرد قارچ های میکوریز تأثیر معنی داری بر ارتفاع بوته ها داشت ($p\leq$۰/۰۱)(شکل۱۵). اگرچه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما بیشترین ارتفاع بوته (۲۳۱/۱ سانتیمتر) در تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و کمترین ارتفاع بوته (۱۶۲/۶ سانتیمتر) در تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت مشاهده شد (شکل۱۶). از آنجایی که کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل اصلی در تعیین اندازه ارتفاع گیاه است، لذا به نظر می رسد که تیمار شاهد به علت کمبود مواد غذایی از رشد کمتری برخوردار بوده، در حالیکه میزان مواد غذایی در کلیه تیمارهای میکوریزایی برای رشد رویشی گیاه مناسب بود. در مقایسه بین دو نوع میکوریزا، گلوموس اینترارادیسس تأثیر بیشتری بر ارتفاع بوته داشت (شکل ۱۵). در سطوح ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، به ترتیب بیشترین ارتفاع بوته ۱۸۱/۳، ۲۰۶/۳، ۲۲۱/۷ و ۲۳۱/۱ سانتیمتر با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس حاصل شد. بطور کلی ارتفاع بوته در هر چهار سطح آبیاری، در تیمارهای میکوریزایی بیشتر از تیمارهای شاهد بود (شکل۱۶). به نظر می رسد که همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه ذرت با افزایش جذب آب و عناصر غذایی، موجب افزایش فتوسنتز شده و این امر سبب بهبود رشد از جمله ارتفاع گردیده است.

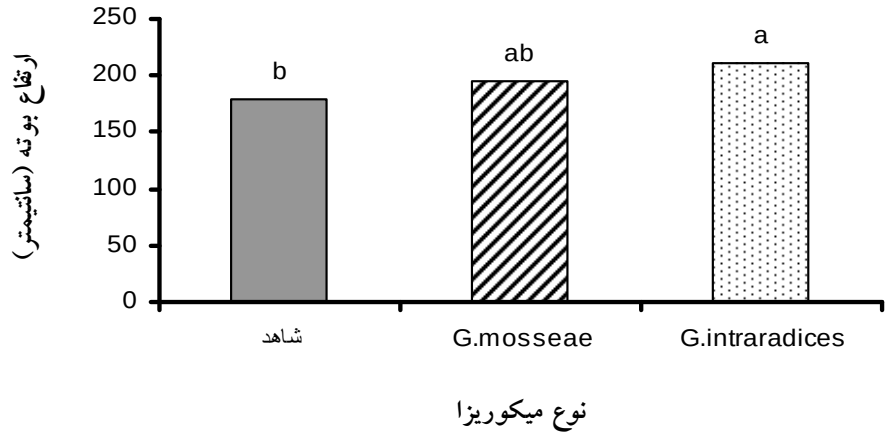
نتایج آورده شده در جدول ۴-۱، بیانگر آن است که کاربرد سطوح مختلف آبیاری نیز تأثیر معنی داری بر ارتفاع بوته ها داشت ($p\leq ۰/۰۱$) (شکل۱۷). بیشترین ارتفاع در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و کمترین ارتفاع در تیمار ۲۵٪ نیاز آبی ذرت حاصل شد (شکل۱۷).

از آنجایی که فرآیند رشد گیاه به میزان زیادی وابسته به محتوای رطوبتی گیاه است، لذا احتمالاً میکوریزا در تأمین رطوبت مورد نیاز گیاه نقش داشته است. به نظر می رسد استفاده از میکوریزا همراه با آبیاری مناسب، می تواند موجب افزایش جذب بیشتر عناصر غذایی شده و زمینه رشد بیشتر گیاه را فراهم سازد. منابع متعدد به نقش هیف های برون سلولی میکوریزا در جذب و هدایت آب به ریشه گیاه میزبان اشاره کرده اند (Augé, R.M. 2001 ; Augé, R.M. 2004 ; Miller, R.M., and Jastrow, J.D. 1992).

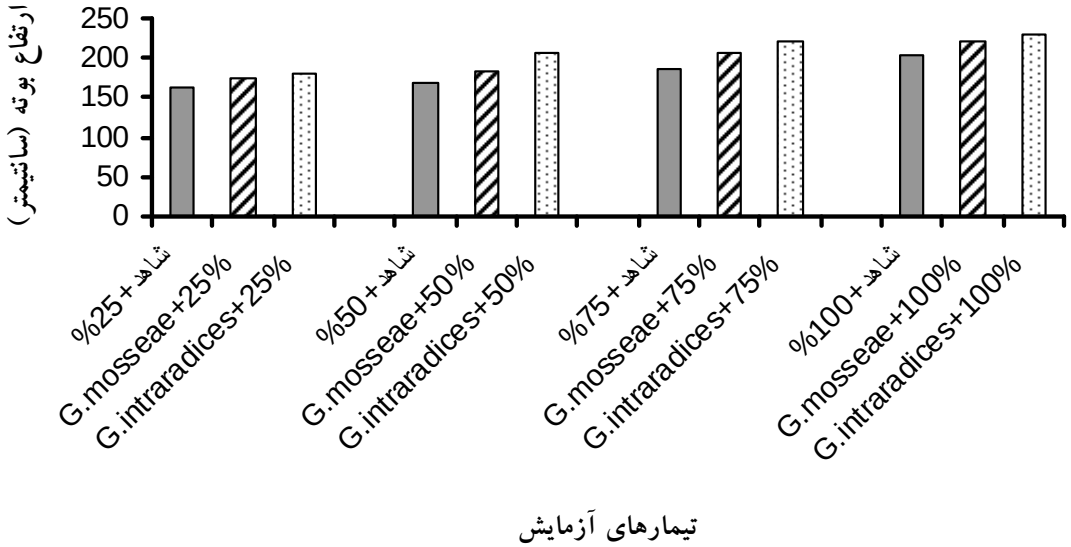
تحقیقات متعدد، حاکی از تأثیر میکوریزا بر افزایش ارتفاع بوته در طیف وسیعی از گیاهان است. در این مورد، مثال هایی ذکر می شود. محمد و همکاران[1] (۲۰۰۳) گزارش کردند که کاربرد توأم کود فسفر و میکوریزا (گلوموس اینترارادیسس) در جو، موجب افزایش ارتفاع بوته و ماده خشک در مقایسه با شاهد شد. بسیاری از محققین (Gryndler, M. 2000 ; Hodge, A. 2000) افزایش عمومی رشد گیاه میزبان را در اثر کاربرد میکوریزا و باکتری های تحریک کننده رشد گیاه گزارش کرده اند. درزی و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد رازیانه گزارش کردند که بیشترین ارتفاع بوته در تلقیح با میکوریزا حاصل شد به طوری که ارتفاع بوته در تلقیح با میکوریزا ۵ درصد بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود. نتیجهٔ تحقیق راتی و همکاران[2] (۲۰۰۱) بر روی علف لیمو[3] و نیز تحقیق اردکانی و همکاران (۱۳۷۹) بر روی گندم و بررسی سایلو و باگیاراج[4] (۲۰۰۵) بر روی حسن یوسف[5] نتایج این تحقیق را تأیید می کنند.

---

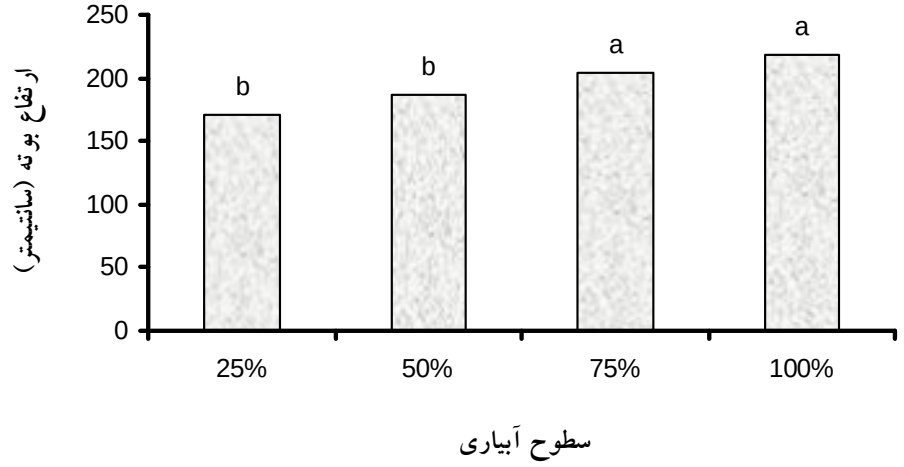
[1] - Mohammad, M.J. et al.
[2] - Ratti, N. et al.
[3] - *Cymbopogon martini* var.
[4] - Sailo, G.L. and Bagyaraj, D.J.
[5] - *Coleus forskohlii*



شکل۱۵) تاثیر نوع میکوریزا بر میزان ارتفاع بوته ذرت



شکل۱۶) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر ارتفاع بوته ذرت



شکل۱۷) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر میزان ارتفاع بوته ذرت

٤-٧- تجمع ماده خشک

همان گونه که در جدول ۴-۳ ملاحظه می شود، استفاده از میکوریزا، در نمونه گیری های انجام شده (۴۰، ۵۵ و ۸۵ روز پس از کاشت)، تأثیر معنی داری بر تجمع ماده خشک داشت ($p\leq$۰/۰۱).

اگرچه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما بیشترین مقدار ماده خشک (۷۶۰/۱ گرم در متر مربع) در تیمار گلوموس موسه + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و کمترین مقدار ماده خشک (۳۹۰/۳ گرم) در تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت حاصل شد. در سطوح ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین مقدار ماده خشک تولیدی به ترتیب ۴۸۱/۶، ۶۷۵/۳ و ۶۶۸/۹ گرم در متر مربع با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس و در سطح ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین مقدار ماده خشک تولیدی (۷۶۰/۱ گرم بر متر مربع) با استفاده از قارچ گلوموس موسه حاصل شد. بین دو گونه قارچ میکوریزا، تأثیر گونه گلوموس اینترارادیسس بر مقدار ماده خشک تولیدی، بیشتر از گلوموس موسه بود (شکل۱۸).

استفاده از هر دو گونه میکوریزا موجب افزایش مقدار ماده خشک تولیدی ذرت نسبت به تیمار شاهد گردید که نشان می دهد میکوریزا جذب آب و عناصر غذایی را توسط ریشه گیاه افزایش داده و در نتیجه، فتوسنتز افزایش یافته و این امر سبب تولید فرآورده بیشتر گردیده است.

طبق نتایج آورده شده در جدول ۴-۳ به کار بردن سطوح مختلف آبیاری نیز در نمونه گیری های انجام شده (۴۰ و ۱۰۰ روز پس از کاشت)، تأثیر معنی داری بر مقدار ماده خشک تولیدی ذرت داشته است ($p\leq$۰/۰۱). به طوری که بیشترین مقدار ماده خشک در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، و کمترین مقدار ماده خشک در تیمار ۲۵٪ نیاز آبی ذرت، به دست آمد (شکل۱۹).

به طور کلی، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از میکوریزا همراه با آبیاری مناسب گیاه، موجب افزایش میزان ماده خشک تولیدی در گیاه در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزایی می گردد. سوبرامانیان و کارست (۱۹۹۸) گـزارش کردنـد که زیست توده هوایی گیـاه ذرت تلقیـح شده با میکـوریزا (گونه گلوموس اینترارادیسس) افزایش یافت. نامبردگان، دلیل این موضوع را بهبود وضعیت عناصر غذایی و در نهایت، رشد گیاه دانستند. همچنین گزارش کردند که میکوریزا ظهور کاکل و ابریشم ها در گیاه میزبان تحت تنش خشکی را تسریع کرد. فنگ و همکاران[1] (۲۰۰۲) در تحقیق خود بر روی تأثیر تنش خشکی بر میزان تحمل

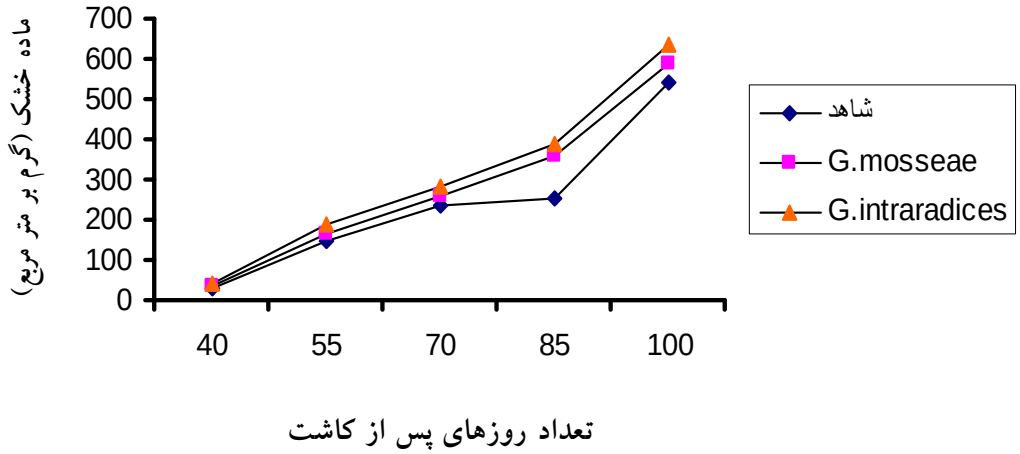
[1] - Feng, G. et al.

گیاه ذرت میکوریزایی شده، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام های هوایی در نتیجهٔ همزیستی با میکوریزا (جنس گلوموس) افزایش یافت. والنتین و همکاران[1] (۲۰۰۶) گزارش کردند که زیست توده گیاهان مو میکوریزایی شده نسبت به گیاهان مو غیرمیکوریزایی در طول دوره خشکی بیشتر بود. اکثر قریب به اتفاق محققینی که افزایش در میزان فتوسنتز گیاهان میکوریزایی شده را گزارش کرده اند، به افزایش ماده خشک تولید شده توسط این گیاهان نیز اشاره داشته اند (Gryndler, M. et al. 2005).

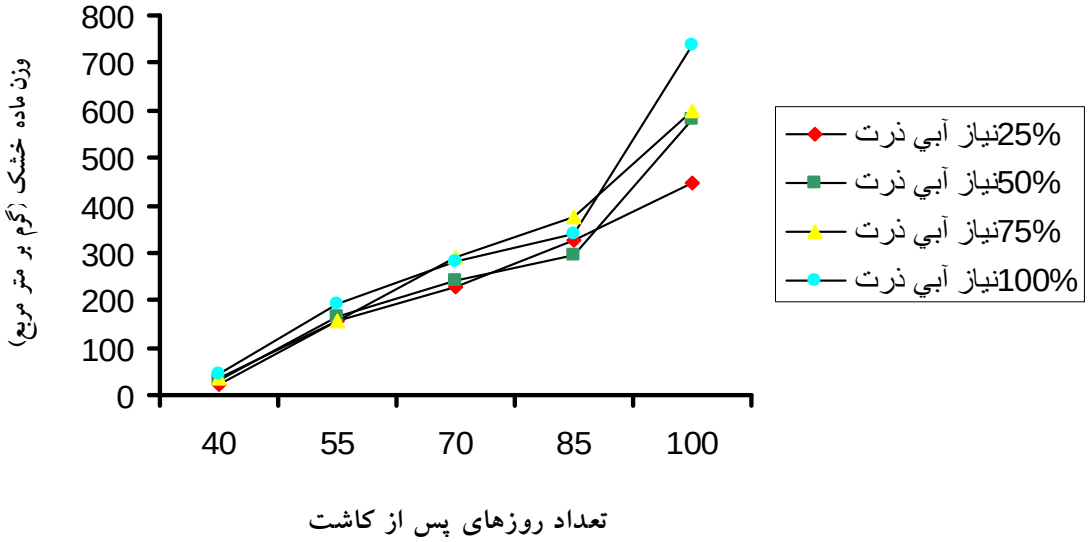
سانازارو و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که گلوموس اینترارادیسس در شبدر، نسبت اندام هوایی به ریشه را در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش داد. کایا و همکاران (۲۰۰۳) افزایش زیست توده هندوانه میکوریزایی شده را گزارش کردند. بی و همکاران[2] (۲۰۰۳) گزارش کردند که تلقیح شبدر قرمز[3] با میکوریزا به دلیل افزایش جذب فسفر و روی، موجب افزایش زیست توده گیاه شد. در بررسی کاپـور و همکـاران (۲۰۰۸) بر روی گیاه گندواش[4] (نوعی درمنه)، زیست توده گیاه، وزن خشک ساقه و مقدار عناصر غذایی (فسفر، روی و آهن) در تیمار میکوریزایی در مقایسه با تیمار غیرمیکوریزایی افزایش یافت. خائوساد و همکاران[5] (۲۰۰۶) در تحقیق خود روی گیاه مرزنگوش[6] گزارش کردند که زیست توده برگ در تیمار میکوریزایی در مقایسه با تیمار غیرمیکوریزایی افزایش یافت. استرادا- لونا و دیویس[7] (۲۰۰۳) نیز افزایش ماده خشک تولیدی فلفل میکوریزایی شده را گزارش کردند. سانچز- بلانکو و همکاران[8] (۲۰۰۴) گزارش کردند که تحت شرایط خشکی، زیست توده ریشه و اندام های هوایی گیاه رزماری میکوریزایی شده در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی افزایش یافت.

---

[1] - Valentine, A.J. et al.
[2] - Bi, Y.L. et al.
[3] - *Trifolium pratense*
[4] - *Artemisia annua* L.
[5] - Khaosaad, T. et al.
[6] - *Origanum sp*.
[7] - Estrada-Luna, A., and Davies, A.
[8] - Sanchez-Blanco, M.J. et al.



شکل ۱۸) تاثیر نوع میکوریزا بر روند تجمع ماده خشک



شکل ۱۹) تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر روند تجمع ماده خشک

٤-٨- میزان کلروفیل

شکل۲۰، روند تغییرات عدد کلروفیل متـر را طی فصل رشد در اثر کاربـرد قارچ هـای میکوریز نشان می دهد. نتایج جدول ۴-۴ بیانگر آن است که کاربرد قارچ های میکوریز، تأثیر معنی داری بر میزان کلروفیل داشته است ($p\leq$۰/۰۱). با وجود اینکه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما بیشترین (۵۶/۲) و کمترین (۴۲/۲) عدد کلروفیل متـر در آخر فصل رشد گیاه (۸۵ روز پس از کاشت) به ترتیب در تیمار گلوموس موسه + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت به دست آمد. در تمام

سطوح آبی، تیمارهای میکوریزایی، عدد کلروفیل متـر بیشتری نسبت به تیمار های شاهد داشتند. در سطوح ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین عدد کلروفیل متـر به ترتیب ۴۹/۴۳، ۵۳/۰۳ و ۵۳ با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس و در سطح ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین عدد کلروفیل متـر (۵۶/۲) با استفـاده از قارچ گلوموس موسه حـاصـل شد.

شکل ۲۱، روند تغییرات عدد کلروفیل متر را طی فصل رشد در اثر کاربرد سطوح مختلف آبیاری نشان می دهد. نتایج جدول ۴-۴ بیانگر آن است که کاربرد سطوح مختلف آبیاری تأثیر معنی داری بر عدد کلروفیل متـر داشته است ($p\leq$۰/۰۱). بیشترین عدد کلروفیل متـر در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و کمترین عدد کلروفیل متـر در تیمار ۲۵٪ نیاز آبی ذرت حاصل شد (شکل۲۱).

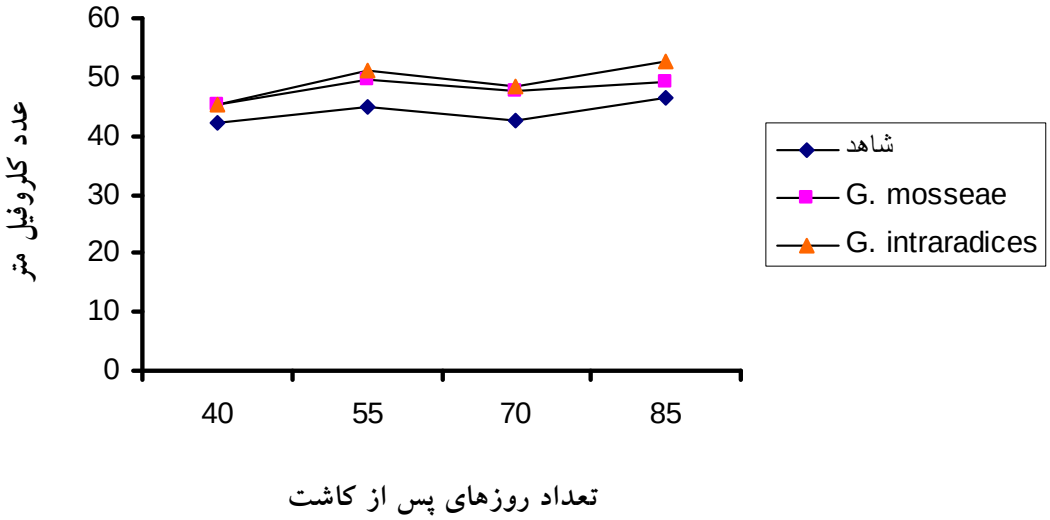
بنا به نظر محققین، بین میزان عناصر غذایی گیاه خصوصاً درصد نیتروژن برگ و عدد کلروفیل متر، همبستگی بالایی وجود دارد، بنابراین به نظر می رسد که میکوریزا با گسترش ریشه و افزایش سطح جذب آن، جذب آب و عناصر غذایی از جمله نیتروژن را افزایش داده و موجب زیاد شدن میزان کلروفیل در تیمارهای میکوریزایی گردیده است.

به طور کلی، کودهای زیستی می توانند به حاصلخیزی خاک و تولید محصول منجر شوند، زیرا اکثر نیازهای غذایی مورد نیاز گیاه را تأمین کرده و جذب مواد غذایی توسط گیاه را افزایش می دهد و به همین دلیل در تیمارهایی که از کودهای زیستی استفاده شد، عدد کلروفیل متر مقدار بالاتری داشت. عدد کلروفیل متر با محتوای نیتروژن برگ ارتباط مستقیم دارد و با افزایش میزان نیتروژن برگ، عدد کلروفیل متر هم افزایش می یابد (مجیدیان و همکاران، ۱۳۸۷).

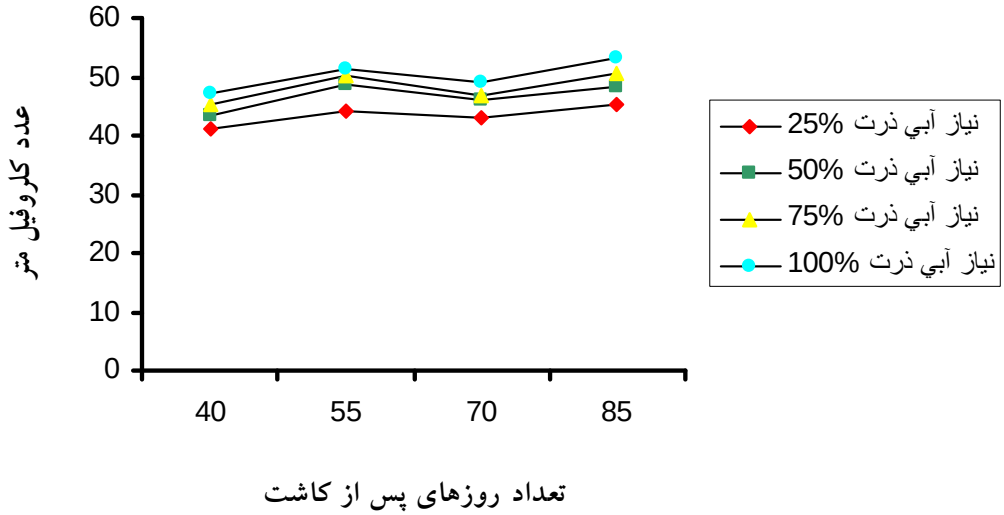
تأثیر میکوریزا در افزایش میزان کلروفیل در طیف وسیعی از گیاهان مورد مطالعه قرار گرفته است، در این مورد چند مثال ذکر می گردد. تاکور و پنوار (۱۹۹۷) گزارش کردند که گیاهان لوبیای همزیست با میکوریزا و ریزوبیوم، ۱۱/۴ درصد کلروفیل بیشتر نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشتند. سانچز- بلانکو و همکاران (۲۰۰۴) نیز بیان کردند که تحت شرایط تنش خشکی، گیاهان رزماری میکوریزایی شده، محتوای کلروفیل بالاتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشتند. لوچه- تساندییر و همکاران[1] (۱۹۹۹) گزارش کردند که در گیاه سیب زمینی میکوریزایی شده با قارچ گلوموس اینترارادیسس، محتوای کلروفیل و کارتنوئید نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی بالاتر بود. سانازارو و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که گلوموس اینترارادیسس در

[1] - Louche-Tessandier, D. et al.

شبدر، مقدار کلروفیل و غلظت پروتئین را نسبت به گروه شاهد افزایش داد. استرادا- لونا و دیویس (۲۰۰۳) در تحقیق خود بر روی گیاهچه های فلفل میکوریزایی شده، دریافتند که کلروفیل برگ این گیاهان افزایش یافت.



شکل۲۰) تاثیر نوع میکوریزا بر روند تغییرات عدد کلروفیل متر



شکل۲۱) تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر روند تغییرات عدد کلروفیل متر

۴-۹- محتوای رطوبت نسبی برگ

شکل۲۲، اثر کاربرد قارچ های میکوریز را در سه ماه متوالی در طی فصل رشد، بر درصد رطوبت نسبی برگ گیاه ذرت نشان می دهد. نتایج جدول ۴-۵ نشان می دهد که استفاده از قارچ های میکوریز، تأثیر معنی داری بر درصد محتوای رطوبت نسبی گیاه داشت ($p\leq ۰/۰۱$) (شکل۲۲).

اگرچه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما در تیرماه، کمترین درصد رطوبت نسبی (۶۲/۵۷٪) مربوط به تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت و بیشترین درصد رطوبت نسبی (۸۲/۵ ٪) مربوط به تیمار گلوموس موسه + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت بود. در مرداد ماه، کمترین درصد رطوبت نسبی (۵۱/۶٪) مربوط به تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت و بیشترین درصد رطوبت نسبی (۷۴/۸٪) مربوط به تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۷۵٪ نیاز آبی ذرت بود. در شهریور ماه، کمترین درصد رطوبت نسبی (۶۴/۱۷٪) مربوط به تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت و بیشترین درصد رطوبت نسبی (۷۸/۵٪) مربوط به تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۵۰٪ نیاز آبی ذرت بود (جدول ۴-۵-۱)..

همانطور که در شکل ۲۲ ملاحظه می شود در ابتدای فصل رشد (در تیر ماه)، بین شاهد و تیمارهای میکوریزایی تفاوت معنی داری مشاهده نشد ولی در مرداد ماه و شهریور ماه که میکوریزا استقرار بیشتری یافته و هیف های بیشتری ایجاد کرده است، تفاوت بین شاهد و تیمارهای میکوریزایی کاملاً معنی دار شده است.

شکل ۲۳، تأثیر سطوح مختلف آبیاری را در سه ماه متوالی در طی فصل رشد، بر درصد رطوبت نسبی برگ ذرت نشان می دهد. طبق نتایج جدول ۴-۵ استفاده از سطوح مختلف آبیاری تأثیر معنی داری بر درصد محتوای رطوبت نسبی گیاه داشت ($p\leq ۰/۰۵$). به طوری که بیشترین درصد رطوبت نسبی در طی فصل رشد، در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت (تیر ماه) و کمترین درصد رطوبت نسبی در طی فصل رشد، در تیمار ۲۵٪ نیاز آبی ذرت (مرداد ماه) حاصل شد (شکل۲۳).

مسلّماً کمبود آب و شرایط تنش آبی، موجب کاهش محتوای رطوبتی گیاه می شود. کوستا فرانسا و همکاران[1] (۲۰۰۰) گزارش کردند که میزان رطوبت نسبی برگ لوبیا در اثر خشکی کاسته می شود. نوتیال و

[1] - Costa-Franca, M.G. et al.

همکاران[1] (۲۰۰۲) گزارش کردند که کاهش درصد رطوبت نسبی برگ در اثر خشکی، همبستگی مثبت و بالایی با محتوای رطوبتی خاک دارد. کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی از عوامل دخیل در کاهش محتوای رطوبت نسبی شناخته شده اند (Tarumongkeng, R. C., and Coto, Z. 2003).

نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر، بیانگر آن است که احتمالاً قارچ های میکوریز توانسته اند از طریق نقشی که در تنظیم روابط آبی گیاه به واسطه بهبود گسترش ریشه و افزایش جذب آب دارند، سبب بهبود شرایط آبی گیاه در طی فصل رشد شوند. به نظر می رسد قارچ های میکوریز، با به تأخیر انداختن نقطه پژمردگی گیاه، می توانند موجب تداوم بیشتر حیات گیاه گردند. در این تحقیق نیز قارچ های میکوریز در سطوح کم آبیاری، توانستند در به تأخیر انداختن رسیدن به نقطه پژمردگی، به گیاه کمک کنند (جدول۴-۵-۱). به طور کلی، در شرایط کم آبی و تنش، گیاهان تلقیح شده با قارچ های میکوریز، از نظر وضعیت آبی نسبت به گیاهان شاهد شرایط بهتری داشتند. تغییرات محتوای رطوبتی برگ به عنوان یک واکنش کوتاه مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می گیرد (Ahmadi, A., and Ceiocemardeh, A. 2004). با توجه به اینکه صفت درصد رطوبت نسبی یک روز قبل از آبیاری اندازه گیری شد، بنابراین در هر تیماری که درصد رطوبت نسبی بالاتر باشد می توان شاخصی از تحمل بیشتر گیاه در برابر خشکی باشد. از این رو، در هر تیماری که درصد رطوبت نسبی بالاتر باشد می توان آبیاری را به تأخیر انداخت.

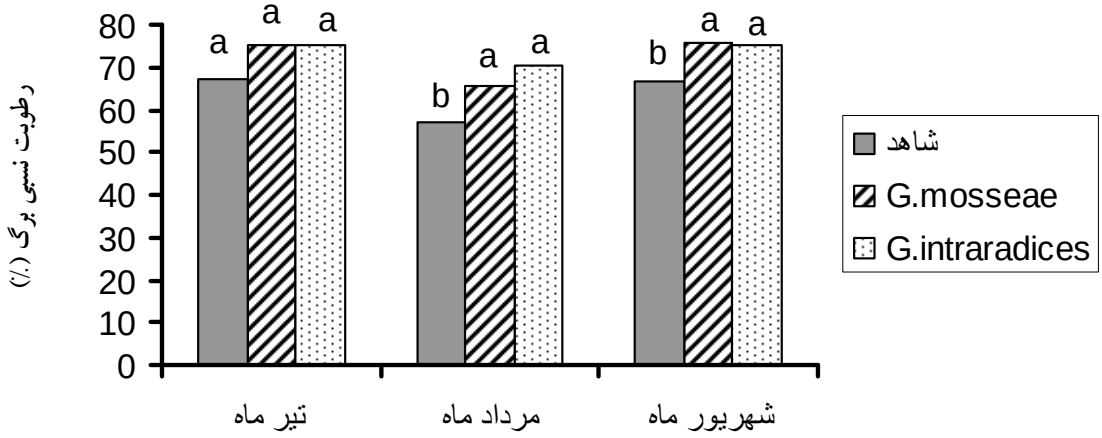
آگ و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیق خود بر روی لوبیا، بیان کردند که تلقیح میکوریزایی موجب افزایش هدایت روزنه ای هم در گیاهان تحت تنش و هم در گیاهان با آبیاری کامل گردید.

بررسی عامریان و همکاران (۲۰۰۱) بر روی ذرت نیز بیانگر آن بود که پتانسیل آب برگ و تعرق، در گیاهان میکوریزایی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزایی بود. آنها بیان کردند که گیاهان میکوریزایی قادرند عارضه پژمردگی را به تأخیر بیاندازند. در طی بازسازی پس از خشکی نیز، پتانسیل آب برگ و میزان جذب دی اکسید کربن[2] در گیاهان میکوریزایی بسیار بالاتر از گیاهان غیرمیکوریزایی بود به ویژه گیاهانی که با گلوموس موسه تلقیح یافته بودند.

---

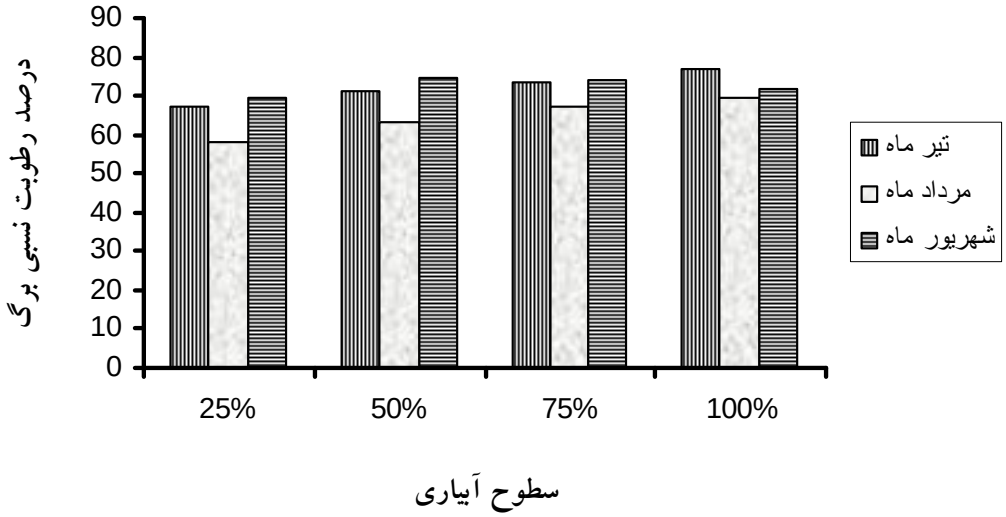
[1] - Nautiyal, P.C. et al.

[2] - CO_2



شکل۲۲) تاثیر نوع میکوریزا بر رطوبت نسبی برگ

(در هر ماه، ستون هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند)



شکل ۲۳) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر رطوبت نسبی برگ

۴-۱۰- دمای کانوپی

همان گونه که در جدول ۴-۶، ملاحظه می شود، استفاده از قارچ های میکوریز، تأثیر معنی داری بر دمای کانوپی داشت ($p\leq$۰/۰۱) (شکل۲۴). کمترین اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا (۰/۳ درجه سانتیگراد) در تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت (در مرداد ماه) و بیشترین اختلاف درجه

حرارت کانوپی و دمای هوا (۷/۲ درجه سانتیگراد) در تیمار شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت (در تیر ماه) به دست آمد (جدول ۴-۶-۱).

کمترین اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا در تیرماه، مرداد ماه و شهریورماه به ترتیب ۲/۹، ۰/۳ و ۲/۲ درجه سانتیگراد با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت حاصل گردید (جدول ۴-۶-۱). اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری نیز معنی دار گردید ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۴-۶-۱).

به طور کلی در تمام سطوح آبی، تیمارهای میکوریزایی، دمای خنک تری نسبت به تیمارهای شاهد دارا بودند. در سطوح ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، کمترین اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا به ترتیب ۱/۹، ۱/۲، ۰/۷ و ۰/۳ با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس (در مرداد ماه) حاصل گردید (جدول ۴-۶-۱). در مقایسه بین دو نوع میکوریزا، گلوموس اینترارادیسس تأثیر بیشتری بر کاهش دمای کانوپی داشت (شکل۲۴).

همانگونه که در جدول ۴-۶ مشاهده می شود، استفاده از سطوح مختلف آبیاری، تأثیر معنی داری بر اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا داشت ($p\leq$۰/۰۱). کمترین اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت و بیشترین اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا در تیمار ۲۵٪ نیاز آبی ذرت به دست آمد (شکل۲۵).

به نظر می رسد در تیمارهایی که در آنها از میکوریزا استفاده شده، رطوبت به مقدار بیشتری 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 نظام های تیمار شده با کودهای بیولوژیک اشاره شده است (Hole, D.G. et al. 2005؛ کوچکی، ۱۳۷۶). استانگلینی و لورنزی[1] (۱۹۹۴) بیان کردند که روش مبتنی بر اندازه گیری دمای کانوپی و شاخص های تنش آب جهت تشخیص زود هنگام کمبود آب، به روش های مبتنی بر اندازه گیری رطوبت خاک، ترجیح داده می شود. ایدسو و همکاران[2] (۱۹۸۱) بیان کردند که شاخص تنش آبی که به وسیله دمای کانوپی تعیین می شود، مهمترین

[1] - Stanghellini, C., and Lorenzi, F.
[2] - Idso, S.B. et al.

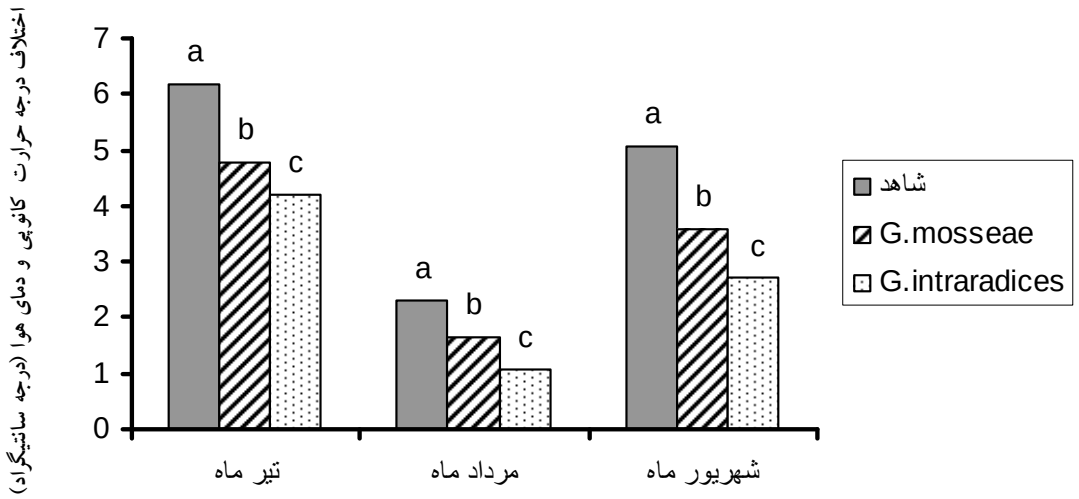
شاخص برای برآورد عملکرد محصول است. ریشتر و همکاران[1] (۲۰۰۴) گزارش کردند که اندازه گیری دمای کانوپی ابزار مؤثری برای برآورد خطر تنش خشکی در تولید پایدار محصولات زراعی، فراهم می آورد.

حرکت آب از خاک به داخل گیاه و از آنجا به اتمسفر، از طریق یک سامانهٔ پیوستهٔ هیدرولیکی که آب موجود در خاک را به بخار آب موجود در هوا مرتبط می کند، انجام می شود. به طوری که، در تمام طول این مسیر، آب از نواحی با پتانسیل بالا به نواحی با پتانسیل کمتر، حرکت می کند. بنابراین، هر زمان که روزنه ها باز باشند، هر چند که در طی مسیر مقاومت هایی وجود داشته باشد، عمل تعرق صورت می گیرد مگر در مواقعی که مقدار مقاومت ها بسیار زیاد باشد (Taiz, L., and Zeiger, E. 1998). طی عمل تعرق، آب به شکل بخار به همراه انرژی گرمایی بالا از گیاه خارج شده و موجب کاهش دمای آن می شود. با وقوع تنش رطوبتی، توانایی گیاه برای انجام تعرق کاهش یافته و لذا، افزایش مقاومت ها در طول مسیر و به دنبال آن بسته شدن روزنه ها، از خروج آب از گیاه جلوگیری می کند. این حوادث موجب افزایش دمای گیاه و در نهایت کانوپی می شوند (علیزاده، ۱۳۸۳).

ریاحی نیا و همکاران (۱۳۸۵) گزارش کردند که در گیاهان ذرت، آفتابگردان، پنبه و لوبیا، بین پتانسیل آب برگ و دمای کانوپی، یک رابطهٔ خطی مثبت وجود دارد. پاملا و همکاران[2] (۲۰۰۳) ضمن مطالعه تبخیر و تعرق گیاهان سدر، صنوبر و بید تحت شرایط تنش خشکی، بین اختلاف دمای کانوپی و تبخیر و تعرق، همبستگی معنی داری را گزارش کردند. پاتل و همکاران[3] (۲۰۰۱) بین تفاوت دمای کانوپی و هوا با رطوبت خاک، محتوای رطوبتی خاک در ناحیه ریشه و تبخیر و تعرق، رابطه قوی و معنی داری گزارش کردند. ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) بیان کردند که در شرایط فراهمی آب و انجام حداکثر تعرق، دمای کانوپی تقریباً برابر و یا حتی کمتر از دمای هوای مجاور است. بررسی جهان و همکاران (۱۳۸۸) حاکی از برتری تیمار میکوریزایی نسبت به شاهد و تلقیح دوگانه قارچ-باکتری بود، به عبارت دیگر، تلقیح میکوریزایی موجب کاهش دمای کانوپی به اندازه یک درجه سانتی گراد نسبت به تیمار شاهد شد. ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) ضمن انجام آزمایش هایی، نتیجه گرفتند که می توان از دمای پوشش سبز گیاه، برای تعیین نیاز آبی محصول و نیز به عنوان شاخصی جهت تعیین زمان آبیاری استفاده نمود.

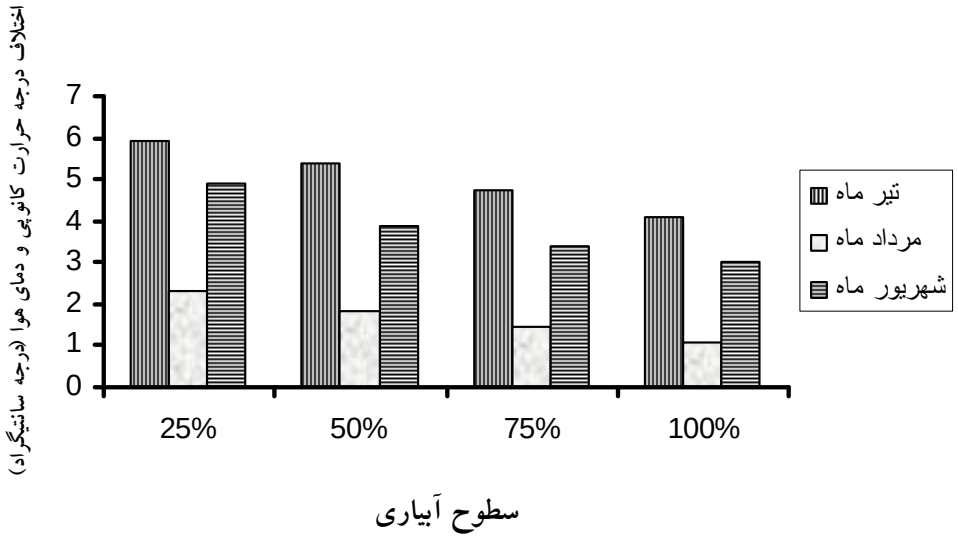
---

[1] - Richter, G.M. et al.
[2] - Pamela, L.N. et al.
[3] - Patel, N.r. et al.



شکل ۲۴) تاثیر نوع میکوریزا بر اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا (درجه سانتیگراد) در ذرت

(در هر ماه، ستون هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند)



شکل ۲۵) تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا (درجه سانتیگراد) در ذرت

۴-۱۱- طول مخصوص ریشه

شکل ۲۶، تغییرات طول مخصوص ریشه ذرت (متر در ۲۵ سانتیمتر مکعب خاک) در اثر کاربرد قارچ های میکوریز را نشان می دهد. همانطور که در جدول ۴-۷ ملاحظه می شود، استفاده از قارچ های میکوریز بر طول مخصوص ریشه معنی دار بود ($p\leq ۰/۰۱$)(شکل۲۶).

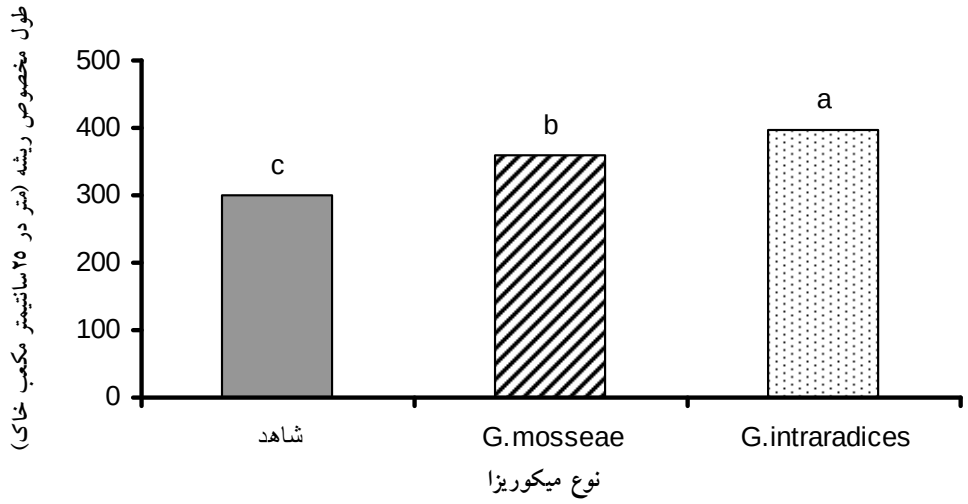
با وجود اینکه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما بیشترین طول مخصوص ریشه (۴۷۱/۶ متر در ۲۵ سانتیمتر مکعب خاک) در تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۵۰٪ نیاز آبی ذرت و کمترین طول مخصوص ریشه (۲۳۰ متر در ۲۵ سانتیمتر مکعب خاک) در تیمار شاهد + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت حاصل شد (شکل۲۷). استفاده قارچ های میکوریز، هم در کمترین سطح آبیاری (۲۵٪ نیاز آبی ذرت) و هم در بیشترین سطح آبیاری (۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت) موجب افزایش طول مخصوص ریشه در مقایسه با تیمار شاهد گردید اما این افزایش، در سطوح کم آبیاری (خصوصاً در سطح ۵۰٪ نیاز آبی ذرت) بیشتر بود (شکل۲۷). در تمام سطوح آبیاری، تیمارهای میکوریزایی، طول مخصوص ریشه بیشتری نسبت به تیمارهای شاهد داشتند (شکل۲۷).

کاربرد سطوح مختلف آبیاری نیز تأثیر معنی داری بر طول مخصوص ریشه داشت ($p\leq ۰/۰۱$)(جدول۴-۷). از میان چهار سطح آبیاری به کار رفته، سطح ۵۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین تأثیر را بر طول مخصوص ریشه گذاشت (شکل۲۸). این نتیجه بیانگر آن است که در شرایط تنش آبی، گیاه برای تأمین رطوبت مورد نیاز خود و جذب آب از مناطق دورتر از ریشه، طول ریشه خود را افزایش می دهد. قارچ های میکوریز در شرایط تنش آبی، به گیاه کمک کرده و با گسترش طول ریشه و افزایش سطح جذب ریشه، موجبات جذب آب بیشتر برای گیاه را فراهم می آورند.

فنگ و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق خود بر روی تأثیر تنش خشکی بر میزان تحمل گیاه ذرت میکوریزایی شده، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام های هوایی در نتیجهٔ همزیستی با میکوریزا (جنس گلوموس) افزایش یافت. نامبردگان این موضوع را به افزایش غلظت کربوهیدرات های محلول و مقدار الکترولیت در ریشه ها نسبت دادند و آن را ناشی از ظرفیت بالای چنین گیاهانی برای تنظیم اسمزی دانستند. پنوار[1] (۱۹۹۱) در تحقیق خود بر روی گندم تلقیح شده با میکوریزا گزارش کرد که تلقیح با قارچ میکوریز، وزن ریشه و وزن اندام های هوایی را افزایش داد. گزارشات متعدد (Cardoso, I., and Kuyper, M.T.W. 2006 ; Smith, S.E., and Gianinazzi-Pearson, V. 1988) 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 می کند. نتایج تحقیق مارولاندا و همکاران (۲۰۰۷) بر روی گیاه اسطوخودوس میکوریزایی شده، حاکی از آن بود که سویه های مقاوم به خشکی گلوموس اینترارادیسس و گلوموس موسه، رشد ریشه را به ترتیب به میزان ۳۵ و ۱۰۰

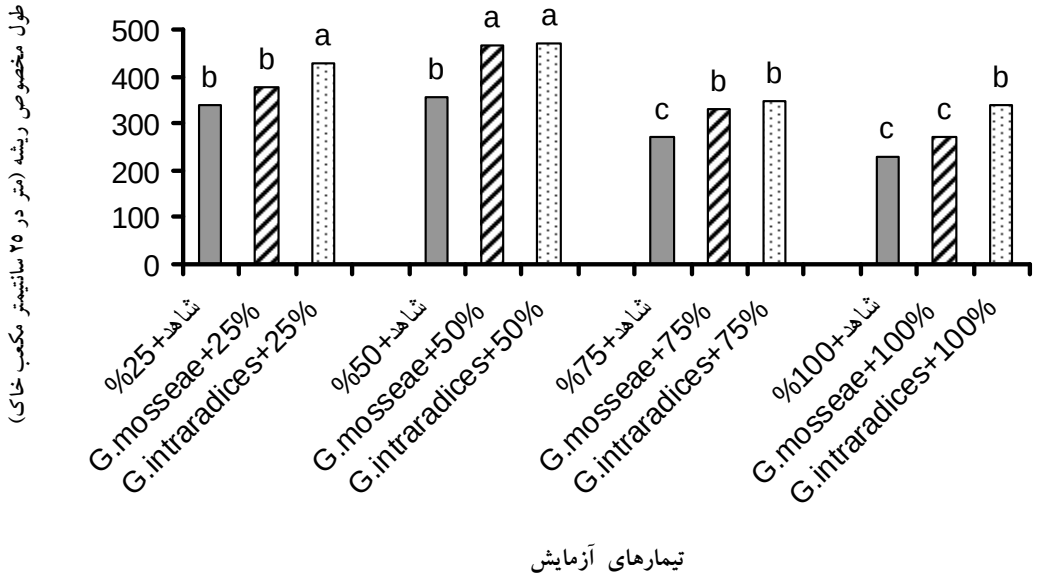
[1] - Panwar, J.D.S.

درصد افزایش دادند. آنها همزمان با این تغییرات، افزایش محتوای آب گیاه و کاهش ترکیبات آنتی اکسیدانت را گزارش کردند. ابوالنصر (۱۹۹۸) گزارش کرد که تلقیح کدو تخم پوست کاغذی[1] با گلوموس اینترارادیسس، موجب افزایش طول ریشه در مقایسه با گروه شاهد شد. علی آبادی و همکاران (۱۳۸۶) گزارش کردند که کاربرد میکوریزا (گلوموس هویی[2]) سبب افزایش معنی دار عملکرد و طول ریشه گشنیز گردید. سانچز- بلانکو و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که تحت شرایط خشکی، زیست توده ریشه و اندام های هوایی گیاه رزماری میکوریزایی شده در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی افزایش یافت. آگوئیلرا- گومز و همکاران (۱۹۹۹) نیز افزایش زیست توده ریشه، اندام های هوایی و میوه را در گیاهان فلفل میکوریزایی شده با گلوموس اینترارادیسس مشاهده کردند.

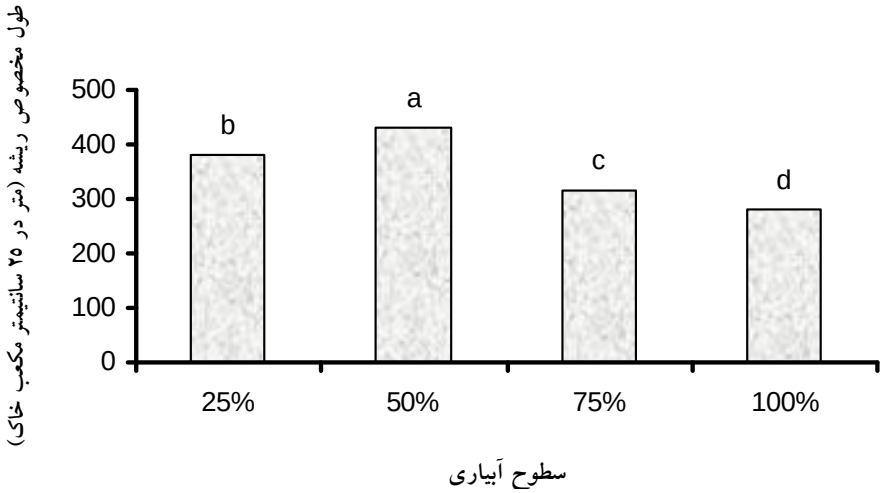


شکل۲۶) تاثیر نوع میکوریزا بر طول مخصوص ریشه ذرت

[1] - *Cucurbita pepo* L.
[2] - *Glomus hoi*



شکل۲۷) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری بر طول مخصوص ریشه ذرت



شکل۲۸) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر طول مخصوص ریشه ذرت

۴-۱۲- درصد کلونیزاسیون ریشه

همانطور که در جدول ۴-۷ ملاحظه می شود، استفاده از قارچ های میکوریز بر درصد کلونیزاسیون ریشه معنی دار بود ($p\leq ۰/۰۱$)(شکل۲۹).

بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه (۸۴٪) در تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه (۲٪) در تیمار شاهد + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت حاصل شد (شکل۳۱).

شکل ۲۹، نشان می دهد که نوع میکوریزای استفاده شده در این آزمایش بر میزان کلونیزه شدن ریشه اثر معنی داری نداشته است و بین دو گونه میکوریز، تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

استفاده از سطوح مختلف آبیاری نیز تأثیر معنی داری بر درصد کلونیزاسیون ریشه داشت ($p\leq ۰/۰۱$) (جدول۴-۷)(شکل ۳۰).

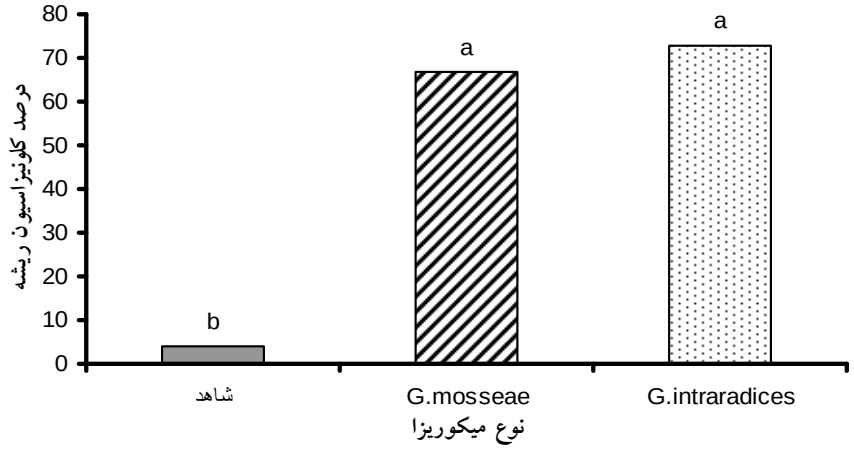
به طور کلی، کلونیزاسیون قارچ های میکوریز، در تیمارهای تحت تنش آبی بیشتر از تیمارهای با آبیاری مناسب بود و کلونیزاسیون در تیمارهای تحت تنش، افزایش یافت و این افزایش در قارچ گونه گلوموس اینترارادیسس و در کمترین مقدار آبیاری (۲۵٪ نیاز آبی ذرت) بیشتر بود (شکل۳۱).

نتایج تحقیق حاضر بیانگر آن است که در شرایط تنش آبی، قارچ های میکوریز جهت کمک به گیاه، برای جذب بیشتر آب و عناصر غذایی، بیشتر تکثیر شده و میزان کلونیزاسیـون ریشه افزایش می یابد.

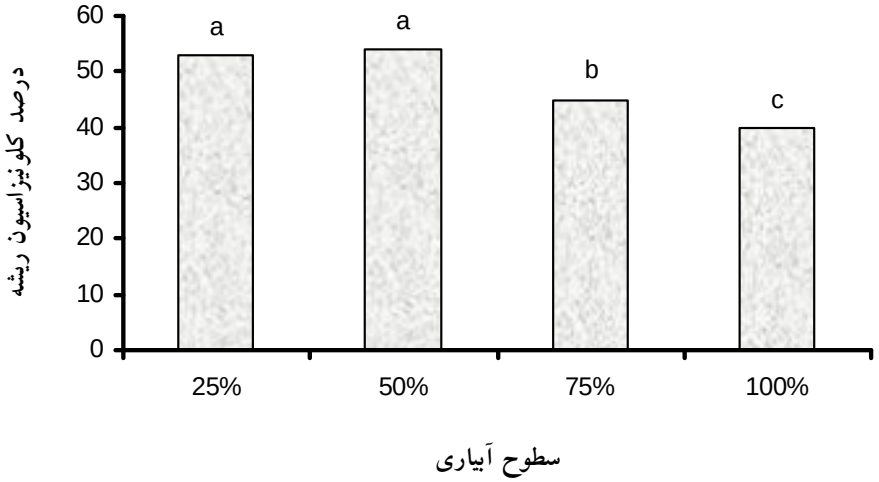
وان در هیدن و ساندرز[1] (۲۰۰۲) گزارش کردند که عوامل محیطی به شدت بر کلونیزاسیون ریشه تأثیر می گذارند. جهرینگ و همکاران[2] (۲۰۰۶) گزارش کردند که میزان رطوبت خاک به مقدار زیادی کلونیزاسیون ریشه را تحت تأثیر قرار می دهد. علی اصغرزاده و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که بین کلونیزاسیون ریشه و محتوای آب نسبی برگ، پتانسیل آب برگ، محتوای نیتروژن و پتاسیم اندام هوایی گیاه و وزن دانه، همبستگی مثبت وجود دارد و این موضوع می تواند دلیلی بر بهبود وضعیت آبی و تغذیه ای گیاه در نتیجهٔ کلونیزاسیون باشد. در بررسی آگ (۲۰۰۱) شرایط تنش موجب افزایش میزان میکوریزا در ریشه گردید. جمشیدی و همکاران (۱۳۸۷) در آزمایش خود بر روی آفتابگردان بیان کردند که درصد همزیستی میکوریزایی در شرایط تنش کم آبی کاهش یافت. در بررسی قاضی الکراکی و مک میکائیل[3] (۲۰۰۴) بر روی گندم، تلقیح میکوریزایی در گیاهان با مقدار آبیاری مناسب، بالاتر از گیاهان تحت تنش آبی بود. در شرایط یکسان رطوبت خاک، درصد کلونیزاسیون قارچ گیاهان تلقیح شده با گلوموس اتونیکاتوم بیشتر از گیاهان تلقیح شده با گلوموس موسه بود. صرف نظر از رطوبت خاک، بیومس و عملکرد دانه در گیاهان میکوریزایی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزایی بود. آنها بیان کردند که تلقیح میکوریزایی گندم در شرایط آب و هوایی مناطق نیمه خشک، می تواند موجب کاهش اثرات تنش خشکی و بهبود رشد و عملکرد دانه و جذب عناصر غذایی در گیاه گندم گردد.

---

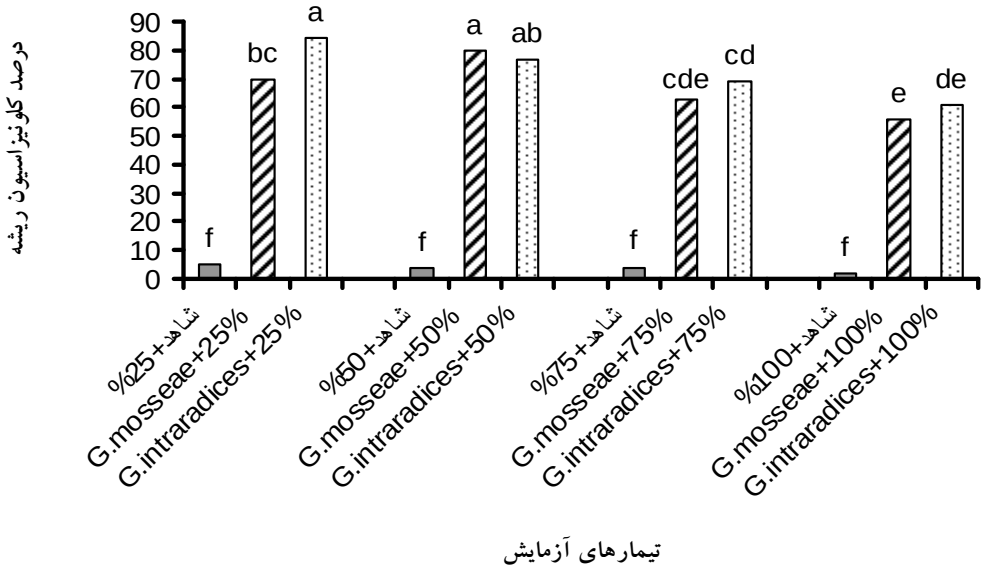
[1] - Van der Heijden, M.G.A., and Sanders, I.
[2] - Gehring, C.A. et al.
[3] - Ghazi Al-Karaki, B., McMichael, J.Z.



شکل۲۹) تاثیر نوع میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت



شکل۳۰) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت



شکل۳۱) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت

۴-۱۳- کارایی مصرف آب[1] (در مورد عملکرد بیولوژیک)

همانطور که داده های جدول ۴-۷ نشان می دهد، استفاده از قارچ های میکوریز تأثیر معنی داری بر کارایی مصرف آب ذرت داشته است ($p\leq ۰/۰۱$)(شکل۳۲). به طوری که بیشترین کارایی مصرف آب در مورد عملکرد بیولوژیک (۱۹/۸ گرم ماده خشک در کیلوگرم آب مصرفی) در تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت و کمترین کارایی مصرف آب (۷/۱ گرم ماده خشک در کیلوگرم آب مصرفی) در تیمار شاهد + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت حاصل شد (شکل۳۳). از میان دو نوع میکوریزا، گونه گلوموس اینترارادیسس تأثیر بیشتری بر کارایی مصرف آب داشت، البته این تفاوت، معنی دار نبود (شکل۳۲).

کاربرد سطوح مختلف آبیاری، تأثیر معنی داری بر کارایی مصرف آب داشت ($p\leq ۰/۰۱$). به طوری که در تیمار ۲۵٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین و در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، کمترین کارایی مصرف آب به دست آمد (شکل۳۴).

در سطوح ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین کارایی مصرف آب به ترتیب ۱۹/۸، ۱۲/۹، ۹/۴ و ۸/۶ گرم ماده خشک در کیلوگرم آب مصرفی با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس حاصل گردید (شکل۳۳). به طور کلی، استفاده از قارچ های میکوریز در شرایط تنش (۲۵٪ نیاز آبی ذرت)، تأثیر بیشتری بر افزایش کارایی مصرف آب داشت (شکل۳۳).

با توجه به نتایج به دست آمده، می توان بیان کرد که قارچ های میکوریز، در نتیجه همزیستی با ریشه ذرت و گسترش و افزایش طول ریشه و افزایش سطح جذب آن، ضمن افزایش جذب عناصر غذایی، خصوصاً فسفر، موجب جذب بیشتر آب از مناطق دورتر از ریشه گردیده و موجبات رشد بیشتر گیاه را فراهم آورده است که این افزایش جذب آب و عناصر غذایی در تیمارهای تحت تنش آبی بیشتر بوده است. به عبارت دیگر، در گیاهان میکوریزایی تحت تنش، به دلیل حضور قارچ های میکوریز، افزایش جذب آب و عناصر غذایی به ازای مقدار آب داده شده به گیاه، بیشتر از تیمارهای با آبیـاری مناسب بود. در واقع، شرایط تنش آبـی، موجب می شود طول ریشه بیشتر شده و آب و عناصر غذایی بیشتری جذب گیاه شود که میکوریزا نقش کلیدی و مؤثری در این مورد دارد.

۱- کارایی مصرف آب به صورت: مقدار ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) به ازای میزان آب مصرفی (آب آبیاری+ بارندگی) (مترمکعب در هکتار) محاسبه گردید.

غلامی و همکاران (۱۳۷۹) به نقل از هونگانگ و همکاران (۱۹۸۹) بیان کردند که مقدار آب جذب شده توسط لوبیای تلقیح شده با میکوریز جهت تولید یک کیلوگرم ماده خشک، کمتر از نصف گیاهان شاهد بود، که این بررسی نشان داد راندمان آب مصرف شده توسط گیاه میزبان آلوده به میکوریز ممکن است تا ۱۰۰ درصد افزایش یابد. کایا و همکاران (۲۰۰۳) افزایش زیست توده هندوانه میکوریزایی شده را گزارش کردند. آنها همچنین تحت شرایط تنش خشکی، افزایش راندمان مصرف آب و نیز بالاتر بودن محتوای عناصر غذایی پر نیاز و کم نیاز در برگ گیاهان میکوریزایی شده را نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی گزارش کردند. والنتین و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که زیست توده گیاهان مو میکوریزایی شده نسبت به گیاهان مو غیرمیکوریزایی در طول دوره خشکی بیشتر بود. آنها همچنین مشاهده کردند که محتوای کلروفیل، میزان فتوسنتز و هدایت روزنه ای در گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی بیشتر بود. بررسی جمشیدی و همکاران (۱۳۸۷) بیانگر آن بود که عملکرد آفتابگردان به واسطه میکوریزا تحت شرایط مطلوب و استرس کم آبی افزایش یافت. هر چند اثر موثرتر میکوریزا بر عملکرد در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط مطلوب آبی بیشتر بود.

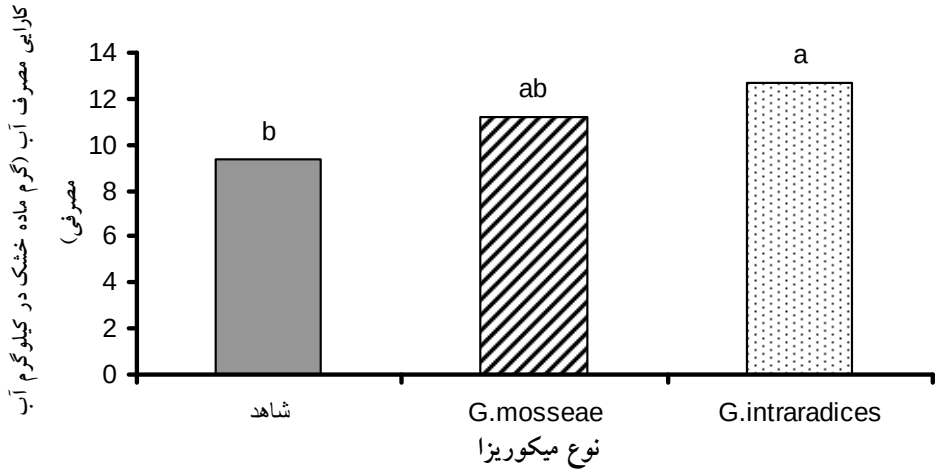
بررسی وو و زیا[1] (۲۰۰۶) نشان داد که میزان افزایش ماده خشک توسط میکوریزا تحت شرایط استرس آبی در قیاس با شرایط مطلوب آبی بیشتر است. نتیجه بررسی سیلویا و همکاران (۱۹۹۳) بر روی ذرت، نتیجه بررسی بریلا و دانیوی[2] (۱۹۹۷) بر روی گندم، نتیجه بررسی سفیر و همکاران[3] (۱۹۷۱) بر روی سویا، نتیجه تحقیق آزکن و توبار[4] (۱۹۹۸) بر روی پیاز، نتیجه بررسی فیتر[5] (۱۹۸۸) بر روی شبدر قرمز و بررسی آزکن و همکاران (۱۹۹۶) بر روی کاهو نیز مؤید همین مطلب است و بیانگر افزایش تحمل در این گیاهان به تنش آبی با استفاده از میکوریزا بود. افزایش مقاومت به خشکی و جریان آب به داخل گیاه میزبان از چندین روش شامل افزایش میزان جذب و انتقال آب به وسیله هیف قارچ (Safir, G.R. et al. 1972)، باز و بسته شدن روزنه ها در پاسخ به هورمون ترشح شده از میکوریزا (Duan, X. et al. 1996)، کاهش پتانسیل اسمزی برگ جهت حفظ فشار تورژسانس (Davies, F.T. et al. 1993) و تغییر در میزان فتوسنتز و متابولیسم

[1] - Wu, Q.S., and Xia, R.X.
[2] - Bryla, D.R., Duniway, J.M.
[3] - Safir, G.R. et al.
[4] - Azcon, R., and Tobar, R.M.
[5] - Fitter, A.H.

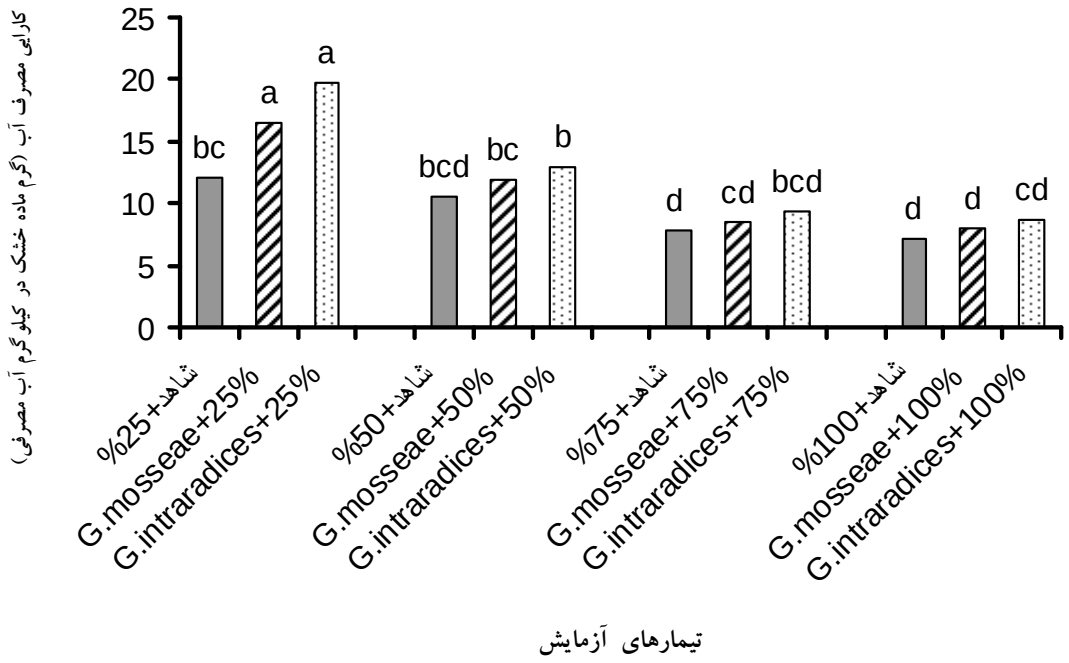
(Subramanian, K.S., and Charest, C. 1995) و تعدیل فشار اسمزی برگ (Wu, Q.S., and Xia, R.X. 2006) صورت می گیرد.

در گزارش های متعدد (Augé, R.M. 2001 ; Augé, R.M. 2004 ; Miller, R.M., and Jastrow, J.D. 1992) به نقش هیف های برون سلولی میکوریزا در جذب، نگهداری و انتقال آب به ریشه های گیاه میزبان اشاره شده است. خلوتی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که در گیاه جو رشد کرده تحت شرایط تنش خشکی، هیف ها ۴ درصد از آب موجود در ساختار هیفی را به گیاه منتقل کردند. سانچز- بلانکو و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که تحت شرایط خشکی، زیست توده ریشه و اندام های هوایی گیاه رزماری میکوریزایی شده در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی افزایش یافت.

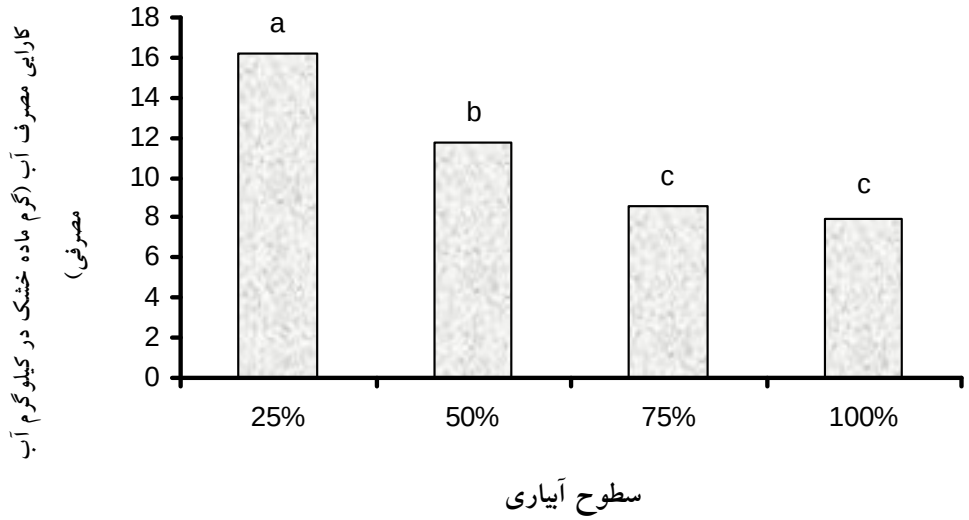
آگوئیلرا- گومز و همکاران (۱۹۹۹) نیز افزایش زیست توده ریشه، اندام های هوایی و میوه را در گیاهان فلفل میکوریزایی شده با گلوموس اینترارادیسس مشاهده کردند. فنگ و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق خود بر روی تأثیر تنش خشکی بر میزان تحمل گیاه ذرت میکوریزایی شده، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام های هوایی در نتیجهٔ همزیستی با میکوریزا (جنس گلوموس) افزایش یافت. نامبردگان این موضوع را به افزایش غلظت کربوهیدرات های محلول و مقدار الکترولیت در ریشه ها نسبت دادند و آن را ناشی از ظرفیت بالای چنین گیاهانی برای تنظیم اسمزی دانستند. به طور کلی، گیاهان میکوریزایی مقادیر بیشتری از عناصر ریزمغذی را از خاک جذب می کنند که این عناصر نقش مهمی در بهبود فرآیند تثبیت نیتروژن ایفا می کنند (O'Hara, G.W. et al. 1988).



شکل۳۲) تاثیر نوع میکوریزا بر کارایی مصرف آب ذرت (در مورد عملکرد بیولوژیک)



شکل۳۳) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب ذرت (در مورد عملکرد بیولوژیک)



شکل ۳۴) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر کارایی مصرف آب ذرت (در مورد عملکرد بیولوژیک)

۴-۱۴- کارایی مصرف آب[1] (در مورد عملکرد دانه)

همانطور که داده های جدول ۴-۷، نشان می دهد استفاده از قارچ های میکوریز تأثیر معنی داری بر کارایی مصرف آب ذرت داشته است ($p\leq ۰/۰۱$)(شکل ۳۵).

اگرچه اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری معنی دار نبود، اما بیشترین کارایی مصرف آب (۱۰/۷ گرم دانه در کیلوگرم آب مصرفی) در تیمار گلوموس اینترارادیسس + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت و کمترین کارایی مصرف آب (۳/۵ گرم دانه در کیلوگرم آب مصرفی) در تیمار شاهد + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت حاصل شد (شکل۳۶).

در سطوح ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین کارایی مصرف آب به ترتیب ۱۰/۷، ۷/۲، ۵/۹ و ۵/۱ گرم دانه در کیلوگرم آب مصرفی با استفاده از قارچ گلوموس اینترارادیسس حاصل گردید (شکل۳۶). به طور کلی، استفاده از قارچ های میکوریز در شرایط تنش (۲۵٪ نیاز آبی ذرت)، موجب افزایش معنی دار کارایی مصرف آب گردید (شکل۳۶).

کاربرد سطوح مختلف آبیاری نیز تأثیر معنی داری بر کارایی مصرف آب داشت ($p\leq ۰/۰۱$). به طوری که در تیمار ۲۵٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین و در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، کمترین کارایی مصرف آب به دست آمد (شکل۳۷).

به طور کلی این آزمایش نشان داد عملکرد دانه ذرت به واسطه میکوریزا تحت شرایط مطلوب و تنش کم آبی افزایش یافت. هر چند اثر موثرتر میکوریزا بر عملکرد، در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط مطلوب آبی بیشتر بود. با توجه به نتایج به دست آمده، می توان بیان کرد که در نتیجه همزیستی قارچ های میکوریز با ریشه ذرت، رشد ریشه و سطح جذب آن افزایش یافته و ضمن افزایش جذب عناصر غذایی (خصوصاً فسفر)، موجب جذب بیشتر آب از مناطق دورتر از ریشه گردیده و موجبات عملکرد بیشتر گیاه را فراهم آورده است، که این افزایش جذب آب و عناصر غذایی در تیمارهای تحت تنش آبی بیشتر بوده است. به عبارت دیگر، در گیاهان میکوریزایی تحت تنش، مقدار تولید و عملکرد به ازای مقدار آب داده شده به گیاه، بیشتر از تیمارهای با آبیاری مناسب بود.

این اطلاعات نشان می دهد که میکوریزا سبب افزایش تحمل گیاه در مقابل تنش کم آبی شده و از افت عملکرد جلوگیری می نماید. یکی از خصوصیات نواحی خشک و نیمه خشک، مواجه شدن زمان پر شدن دانه

۱- کارایی مصرف آب به صورت: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) به ازای میزان آب مصرفی (آب آبیاری+ بارندگی) (مترمکعب در هکتار) محاسبه گردید.

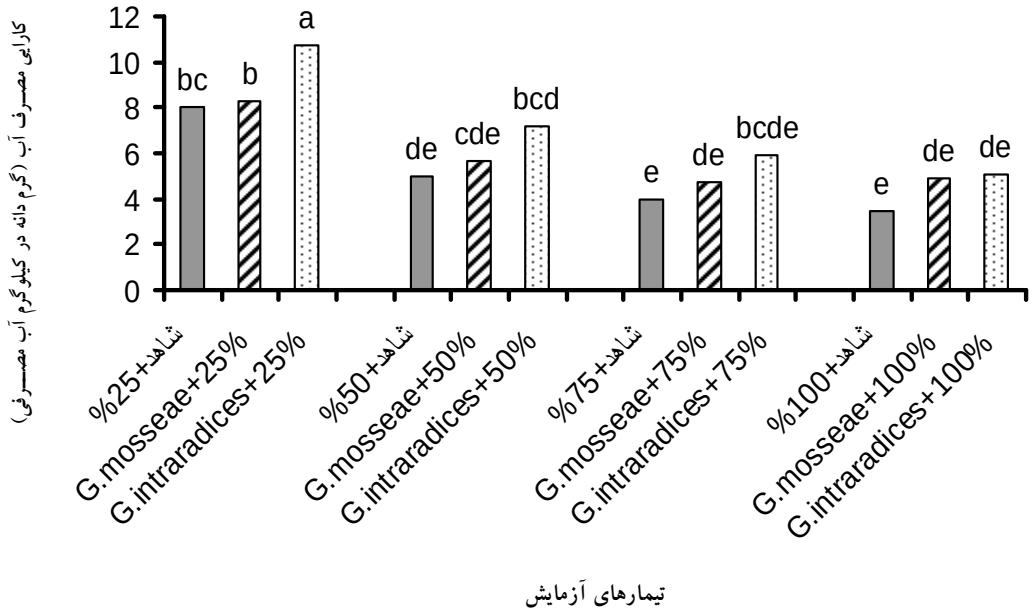
با تنش کم آبی است. بنابراین به کارگیری روش هایی که سبب افزایش تحمل گیاه به کم آبی در این مرحله گردد مسلما سبب افزایش عملکرد خواهد شد، که استفاده از میکوریزا در چنین شرایطی می تواند به افزایش عملکرد گیاه کمک شایان توجهی بنماید.

در بررسی جمشیدی و همکاران (۱۳۸۷) گیاهان آفتابگردان تلقیح شده با میکوریزا هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم تحت شرایط تنش آبی، در مقایسه با گیاهان شاهد، تعداد دانه بیشتری تولید کرده و عملکرد دانه بیشتری داشتند. جفریز[1] (۱۹۸۷) نیز نشان داده که همزیستی گیاه میکوریزا به خصوص تحت شرایط حاصلخیزی و آبیاری کم از طریق افزایش دسترسی عناصر و انتقال آن به گیاه سبب افزایش عملکرد می گردد.

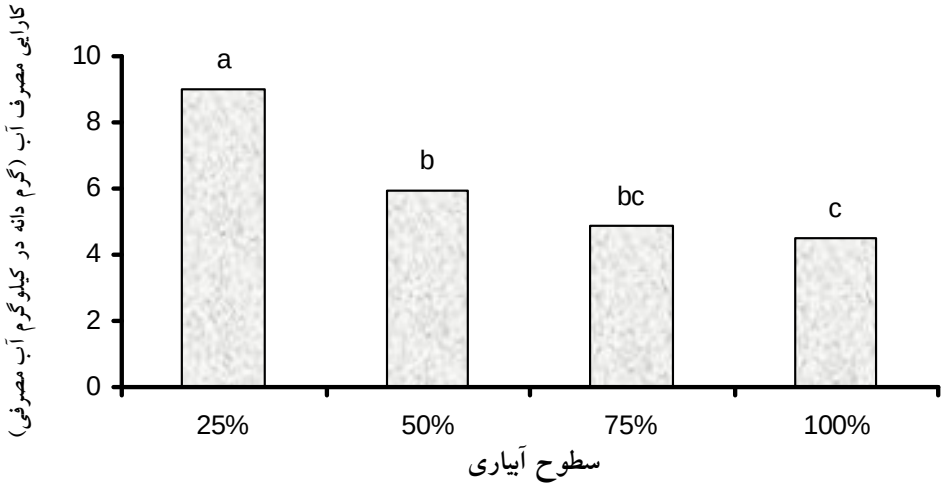
گریندلر و همکاران[2] (۲۰۰۶) بیان کردند که سطوح بالای عناصر غذایی محلول موجود در کودهای غیرزیستی، از طریق تأثیر بر جمعیت میکروبی خاک، بر کلونیزاسیون ریشه اثر منفی گذاشته و موجب کاهش مقدار ریشه می شوند. بدیهی است در نتیجهٔ شکل گیری روابط پیچیده و متقابل بین گیاهان و سایر موجودات زنده در نظام های زیستی و پایدار، رشد و نمو گیاهان از هر نظر، بهتر صورت گرفته و پایداری در طول زمان را به همراه دارد (Probst, B. et al. 2007). بسیاری از محققین معتقدند که شرایط حاکم بر نظام های اکولوژیک و پایدار، باعث عملکرد اکولوژی میکروبی خاک (زیست توده و فعالیت میکروبی) در سطحی برتر از نظام های رایج می شود (Toyota, K., and Kuninaga, S. 2006).

شکل۳۵) تاثیر نوع میکوریزا بر کارایی مصرف آب ذرت (در مورد عملکرد دانه)

[1] - Jeffries, P.
[2] - Gryndler, M. et al.



شکل ۳۶) تاثیر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر کارایی مصرف آب ذرت (در مورد عملکرد دانه)



شکل ۳۷) تاثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت) بر کارایی مصرف آب ذرت (در مورد عملکرد دانه)

فصل پنجم

۵- نتیجه گیری

۱- بر اساس نتایج این آزمایش، کاربرد قارچ های میکوریز در شرایط تنش آبی (در مناطق خشک و کم آب)، می تواند با گسترش ریشه گیاه و افزایش سطح جذب آن، جذب آب و عناصر غذایی را افزایش داده و موجب افزایش عملکرد گیاه تلقیح شده گردد و تأثیر قابل توجهی بر کارایی مصرف آب گیاه ذرت داشته باشد.

۲- کاربرد میکوریزا بر تمام صفات در نظر گرفته شده به جز تعداد بلال، تأثیر معنی داری داشت.

۳- در مورد صفات دمای کانوپی، درصد کلونیزاسیون و کارایی مصرف آب (در مورد عملکرد بیولوژیک) اثر متقابل میکوریزا و سطوح آبیاری، معنی دار بود.

۴- استفاده از میکوریزای گونهٔ گلوموس اینترارادیسس همراه با سطح ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، بیشترین تأثیر را بر صفات اکوفیزیولوژیکی ذرت داشت.

۵- استفاده از هر دو گونه میکوریزا روند تغییرات عدد کلروفیل متر را در طی فصل رشد تحت تأثیر قرار داد. در تیمارهای میکوریزاییِ همراه با سطح ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت، روند تغییرات عدد کلروفیل متر، طی فصل رشد، به صورت منظم تر و یکنواخت تری صورت گرفت.

۶- استفاده از هر دو گونـه میکوریزا در هر چـهار سطح آبیاری توانست بر درصد رطوبت نسبی برگ گیاه تأثیر گذار باشد ولی تأثیر قارچ های میکوریز در سطوح با آبیاری مناسب، بیشتر بود.

۷- استفاده از میکوریزا موجب کاهش دمای کانوپی هم در تیمارهای تحت تنش و هم در تیمارهای با آبیاری مناسب گردید که اهمیت کاهش دمای کانوپی در تیمارهای تحت تنش بیشتر است. این ویژگی در مناطق خشک و نیمه خشک و شرایط تنش آبی، می تواند حائز اهمیت باشد.

۸- بیشترین طول ریشه در تیمارهای تحت تنش حاوی میکوریزا دیده شد، که حاکی از اهمیت میکوریزا در گسترش رشد ریشه جهت افزایش جذب آب و مواد غذایی در شرایط تنش آبی است.

۹- بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه نیز در تیمارهای تحت تنش مشاهده گردید. با توجه به این نتیجه، می توان گفت در شرایط تنش آبی، تکثیر و گسترش قارچ های میکوریز جهت کمک به گیاه، افزایش می یابد.

۱۰- به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از میکوریزا در مناطق کم آب، می تواند در بهبود عملکرد و بهبود صفات اکوفیزیولوژیکی ذرت و افزایش کارایی مصرف آب تأثیر بسزایی داشته باشد.

فصل ششم

۶- پیشنهادات

۱- در این تحقیق، فقط اثر میکوریزای تلقیح شده با گیاه، مورد بررسی قرار گرفت. اما در خاک جمعیت میکروبی فراوانی وجود دارد که هر کدام می تواند با میکوریزا اثر سینرژیست داشته و تأثیر آن را تقویت کند، که تحقیق روی این موضوع نیز می تواند مورد بررسی قرار گیرد.

۲- این آزمایش به صورت مزرعه ای و در خاک مزرعه انجام گرفت. بنابراین ممکن است جمعیت میکروبی خاک نیز بر نتایج حاصله، اثر گذاشته باشند. لذا انجام این آزمایش در شرایط گلخانه ای و در خاک استریل شده نیز جهت رسیدن به نتایج دقیق تر، ضروری به نظر می رسد.

۳- ازآنجا که تلقیح دو گانه قارچ های میکوریز و میکروارگانیزم های دیگر از جمله باکتری های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن، می تواند اثر میکوریزا را تشدید کند، لذا کاربرد دو گانه میکوریزا خصوصاً با باکتری های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن نیز می تواند برای رسیدن به نتایج مفیدتر مورد بررسی قرار گیرد.

۴- در این تحقیق، تنها از دو گونه میکوریزا (گلوموس موسه و گلوموس اینترارادیسس) استفاده شد. پیشنهاد می شود این آزمایش با دیگر گونه های میکوریزا نیز انجام گردیده و نتایج آن با این تحقیق مقایسه شود.

۵- با توجه به حجم اطلاعات مربوط به قارچ های میکوریز، بهتر است تحقیقات آتی در کشور ما در این زمینه، بیشتر بر روی کاربردی کردن این اطلاعات متمرکز شوند.

فصل هفتم

۷- منابع

- احسانی، م.، و خالدی، ه. ۱۳۸۲. بهره وری آب در کشاورزی . کمیته ملی آبیاری و زهکشی.

- احمدی، ع.، و آبیکر. ۱۳۷۹. عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای محدود کننده فتوسنتز در شرایط تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۱: ۸۲۵-۸۱۳.

- اردکانی، م.ر.، مظاهری، د.، مجد، ف. و نورمحمدی، ق. ۱۳۷۹. بررسی کارآیی میکوریزا و استرپتومایسس در سطوح مختلف فسفر و تأثیر کاربرد آنها بر عملکرد و برخی صفات گندم. مجله علوم زراعی ایران. ۲(۲): ۲۸-۱۷.

- امام، ی. ۱۳۸۶. زراعت غلات. چاپ سوم. انتشارات دانشگاه شیراز.

- توکلی، ع. ۱۳۷۹. بررسی نقش کم آبیاری در مدیریت مصرف آب. خلاصه مقالات کارگاه فنی آموزشی کم آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ص. ۳۱-۳۲.

- جامی الاحمدی، م.، کامکار، ب.، و مهدوی دامغانی، ع. ۱۳۸۵. کشاورزی، کود و محیط زیست. (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

- جمشیدی، ا.، قلاوند، ا.، صالحی، ا.، و جمشیدی، ع.ر. ۱۳۸۷. کاهش خسارت کم آبی بر عملکرد آفتابگردان به کمک قارچ های میکوریزا. خلاصه مقالات اولین همایش ملی فن آوری های نوین در کشاورزی و منابع طبیعی. رشت. ۱۳۸۷. ص. ۲۱۸۸-۲۱۸۱.

- جهان، م.، کوچکی، ع. قربانی، ر.، رجالی، ف.، آریایی، م.، و ابراهیمی، ا. ۱۳۸۸. اثر کاربرد کودهای زیستی بر برخی ویژگی های اگرواکولوژیکی ذرت در نظام های زراعی رایج و اکولوژیک. مجله پژوهش های زراعی ایران. ۷(۲):۳۹۰-۳۷۵.

- حکمت شعار، ح. ۱۳۷۲. فیزیولوژی گیاهان در شرایط دشوار. (ترجمه). انتشارات نیکنام. ص. ۱۹-۶۲.

- خدابنده، ن. ۱۳۷۷. غلات. انتشارات دانشگاه تهران.

- درزی، م.ت.، قلاوند، ا.، رجالی، ف. و سفیدکن، ف. ۱۳۸۵. بررسی کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۲(۴): ۲۹۲-۲۷۶.

- درزی، م. ت.، قلاوند، ا.، رجالی، ف. ۱۳۸۷. بررسی اثر کاربرد کود میکوریزا، ورمی کمپوست و کود فسفات زیستی بر گلدهی، عملکرد بیولوژیک و همزیستی ریشه در گیاه دارویی رازیانه. مجله علوم زراعی ایران. ۱۰(۱): ۱۰۹-۸۸.

- درزی، م.ت.، قلاوند، ا.، رجالی، ف. ۱۳۸۸. تأثیر مصرف کودهای بیولوژیک بر روی جذب عناصر N، P، K و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۵(۱): ۱۹-۱.

- ریاحی نیا، 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.

- سازمان هواشناسی کشور. ۱۳۸۸. آمار هواشناسی کشور. ttp://www.irimo.irh

- شیرانی راد، ا.ح.، هاشمی دزفولی، ا.، و علیزاده، ع. ۱۳۷۹. بررسی اثر قارچ های میکوریز وزیکولار آرباسکولار، فسفر و تنش خشکی بر کارآیی جذب عناصر غذایی در گیاه گندم. نشریه نهال و بذر. ۱۶(۲): ۶۳-۴۸.

- صفایی، ل. ۱۳۷۸. بررسی اکولوژیکی مایکوریز اندوتروف (وسیکولار-آربوسکولار) در گیاه پوآ (*Poa bulbosa*) از خانواده گرامینه (Gramineae). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم. دانشگاه فردوسی مشهد.

- علی آبادی فراهانی، ح.، ارباب، ع.، و عباس زاده، ب. ۱۳۸۷. تأثیر سوپر فسفات تریپل، تنش کم آبی و کود بیولوژیک *Glomus hoi* بر تعدادی از صفات کمی و کیفی گیاه دارویی *Coriandrum sativum* L.. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۴(۱): ۳۰-۱۸.

- علی آبادی فراهانی، ح.، لباسچی، م.ح.، شیرانی راد، ا.ح.، ولدآبادی، ع.، حمیدی، آ.، دانشیان، ج.، عباس زاده، ب.، و علیزاده سهزابی، ع. ۱۳۸۶. تأثیر قارچ میکوریز آرباسکولار (*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.

- علی اصغرپور، م. ۱۳۷۱. دیواره های سلولی. (ترجمه). انتشارات آفتاب. ص. ۲۶۲.

- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ ششم. ص. ۴۷۰.

- علیزاده، ا.، و کمالی، غ. ۱۳۸۶. نیاز آبی گیاهان در ایران. چاپ اول. انتشارات آستان قدس رضوی.

- غلامی، ا. و کوچکی، ع. ۱۳۷۹. نقش قارچ های میکوریز وزیکولار آرباسکولار در تأمین پایدار عناصر غذایی در ذرت. پایان نامه دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

- کافی، م.، و مهدوی دامغانی، م. ۱۳۸۰. زیست شناختی بذر و عملکرد گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

- کامکار، ب.، و مهدوی دامغانی، ع. ۱۳۸۷. مبانی کشاورزی پایدار. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

- کشاورز، ع.، و صادق زاده، ک. ۱۳۷۹. مدیریت آب در بخش کشاورزی، برآورد تقاضا برای آینده بحران خشکسالی، وضعیت موجود، چشم اندازهای آینده و راهکارهایی جهت بهینه سازی مصرف آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جهاد کشاورزی.

- کشاورز، ع.، و صادق زاده، ک. ۱۳۷۹. وضعیت موجود و چشم اندازهای آینده و راهکارهایی جهت بهینه سازی آن. مجموعه مقالات دهمین همایش کمیته آبیاری و زهکشی ایران.

- کوچکی، ع. ۱۳۷۶. کشاورزی پایدار: بینش یا روش؟ مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۰: ۷۲-۵۳.

- کوچکی، ع.، حسینی، م و نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۲. رابطه آب و خاک در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه مشهد.

- کوچکی، ع.، و سرمدنیا، غ. ۱۳۸۵. فیزیولوژی گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

- کوچکی، ع.، و سلطانی، ا. ۱۳۷۷. اصول و عملیات کشاورزی در مناطق خشک. (ترجمه). نشر آموزش کشاورزی، تهران. ص. ۹۴۲.

- مجیدیان، م.، قلاوند، ا.، کریمیان، ن.، و کامکار حقیقی، ع. ا. ۱۳۸۷. اثر تنش خشکی، کود شیمیایی نیتروژن و کود آلی بر قرائت کلروفیل متر، عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت دانه ای سینگل کراس ۷۰۴. مجله علوم زراعی ایران. ۱۰(۳): ۳۳۰-۳۰۳.

- مرادی، ر.، رضوانی مقدم، پ.، نصیری محلاتی، م.، و لکزیان، ا. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک و آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و میزان اسانس گیاه رازیانه (*Fuenículum vulgare*). مجله پژوهش های زراعی ایران. ۷(۲): ۶۳۵-۶۲۵.

- Abd El-Gawad, A.M. 2008. Employment of Bio-organic Agriculture Technology for *Zea mays* cultivation in some desert soils. *Research Journal of Agriculture and Biological Science,4(5):553-565.*

- 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.*

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

- Ahmadi, A., and Ceiocemardeh, A. 2004. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and Proline in four adoptd wheat cultivars with various climate of Iran. *Iranian Journal Agriculture Science, 35:753-763.*

- Alexander, T., Meir, R., Toth, R. and Weber, H.C. 1988. Dynamics of arbuscule development and degeneration in mycorrhizas of *Triticum aestivum* L. and *Avena sativa* L. with reference to *Zea mays* L. *New Phytologist, 110: 363-370.*

- Aliabadi Farahani, H., Lebaschi, H., Hussein, M., Shiranirad, A.H., Valadabadi, A.R., Daneshian, J. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and praline accumulation rate of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Medicinal Plants Research. 2(6): 125-131.*

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

- Allen, E.B., and Allen, M.F. 1986. Water relations of xeric grasses in the field: interactions of mycorrhizas and competition. *New Phytologist, 104: 559- 571.*

- Allen, M.F. 1991. The ecology of mycorrhizae. Cambridge University Press. 196 p. ISBN: 0521335531.

- Allen, M.F., Allen, E.B., and Stahl, P.D. 1984. Different niche response of *Bouteloua gracilis* and *Pascopyrum smithii* to VA mycorrhizae. *Bulletin of the Torrey Botanical Club, 111: 361-365.*

- Allen, M.F., Smith, W.K., Moore, T.S., and Christensen, Jr.M. 1981. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal *Bouteloua gracilis. New Phytologist, 88: 683-693.*

- Allen, M.F., Swenson, W., Querejeta, J.I., Egerton-Warburton, L.M., and Treseder, K.K. 2003. Ecology of Mycorrhizae: A Conceptual Framework for Complex Intractions among Plants and Fungi. *Annual Review of Phytopathology, 41: 271-303.*

- Amerian, M.R., Stewart, W.S., and Griffiths, H., 2001. Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). *Aspects of Applied Biology. 63: 73–76.*

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

- Araus J. L., Slafer, G.A., Reynold, M.P., and Royo C. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: What Should we breed for? *Annual Boanict. 89: 925-240.*

- Aroca, R., Porcel, R., and Ruiz-Lozano, J.M. 2007. How does arbuscular mycorrhizal symbiosis regulate root hydraulic properties and plasma membrane aquaporins in Phaseolus vulgaris under drought, cold or salinity stresses? *New Phvtologist, 173: 808- 816.*

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

- Augé, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza, 11: 3-42*.

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

- Augé, R.M., Shekel, K.A., and Wample, R.L. 1986. Osmotic adjustment in leaves of VA mycorrhizal and non mycorrhizal rose plants in response to drought stress. *Plant Physiology, 82: 765-770*.

- Augé, R.M., Sylvia, D.M., Park, S., Buttery, B.R., Saxton, A.M., Moore, J.L., and cho, K. 2004. Partitioning mycorrhizal influence on water relations of Phaseolus vulgaris into soil and plant components. *Canadian Journal of Botany , 82: 503-514*.

- Augé, R.M., Duan, X., Ebel, R.C., and Stodola, A.J.W. 1994. Non hydraulic signalling of soil drying in mycorrhizal maize. *Planta 193: 74-82*.

- Azcon, L.R., Gomez, M., and Tobar, R. 1992. Effects of nitrogen source on growth, nutrition, photosynthetic rate and nitrogen metabolism of mycorrhizal and phospjorus-fertilized plants of *Lactuca sativa*. *New Phytologist, 121: 227-234.*

- Azcon, R., Gomez, M., and Tobar, R. 1996. Physiological and nutritional responses by Lactuca Sativa L to nitrogen sources and mycorrhizal fungi under drought conditions. *Biology and Fertility of Soils 22(1–2): 156–161*.

- Azcon, R., and Tobar, R.M. 1998. Activity of nitrate reductase and glutamine synthetase in root and shoot of mycorrhizal Allium cepa. Effect of drought stress. *Plant Science, 133: 1–8.*

- Bagyaraj, D.J. and Varma, A.K. 1987. State of art of mycorrhizae. In: Proceedings of mycorrhizae. March 13-15, 1987, New Delhi, India.

- Barea, J.M., Andrade, G., Bianciotto, V.V., Dowling, D., Lohrke, S., Bonfante, P., O'Gara, F., and Azcon-Aguilar, C. 1998. Impact on arbuscular mycorrhiza formation of pseudomonas strain used as inoculants for biocontrol of soil-borne fungal pathogens. *Applied and Environmental Microbiology, 64: 2304-2307.*

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

- 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.*

- Bath, S.A., Thenua, O.V.S., Shivakumar, B.G., and Malik, J.K. 2005. Performance of summer green gram [*Vigna radiate* (L.) Wilczek] as influenced by biofertilizers and phosphorus nutrition. Haryana. *Journal of Agronomy, 21: 203-205.*

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

- Bethlenfalvay, 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.*

- Bi, Y.L., Li, X.L.L. and Christie., P. 2003. Influence of early stages of arbuscular mycorrhiza on uptake of zinc and phosphorus by red clover from a low-phosphorus soil amended with zinc and phosphorus. *Chemosphere, 50: 831-837.*

- Boosalis, M.G., Ellis, R., and Larsen, H.J. 1985. Drought resistance of wheat plants inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Plant and Soil, 86: 369- 378*.

- Bowen, G.D. 1980. Misconceptions, concepts and approaches in rhizosphere biology. In: Current Perspectives in Microbial Ecology. Klug, M.J., and Reddy, C.A., (Eds.). American Society of Microbiology, Washington, D.C. USA. P. 283-304.

- 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.

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

- Bryla, D.R., and Duniway, J.M., 1997. Growth, phosphorous uptake, and water relations of safflower and wheat infected with an arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytologist, 136: 581–590.*

- Busse, M.D. and Ellis, J.R. 1985. Vesicular-arbuscular mycorrhizal (*Glomus fasiculatum*) influence on soybean drought tolerance in high phosphorus soil. *Canadian Journal of Botany, 63: 2290-2294.*

- Caravaca, F., Diaz, E., Barea, J.M., Azcon-Aguilar, C., and Roldan, A. 2003. Photosynthetic and transpiration rates of *Olea europaea* subsp sylvestris and *Rhamnus lycioides* as affected by water deficit and mycorrhiza. *Biologiae Plantarum, 46: 637-639.*

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

- Cavagnaro, T.R., Gao, L.L. Smith, F.A., and smith, S.E. 2001. Morphology of arbuscular mycorrhizae is influenced fungal identity. *New Phytologist, 151: 469-475*.

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

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

- Costa-Franca, M.G., Pham-Thi, A.T., Pimentel, C., Pereyra-Rossiello, R.O., Zuily-Fodil, Y., and Laffray, D. 2000. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. *Environmental and Experimental Botany, 43:227-237.*

- Cox, W.J., and Julliff, G.D. 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. *Journal of Agricultural Science, 78: 226-230.*

- Cui, M., and Nobel, P.S. 1992. Nutrient status, water uptake and gas exchange for 3 desert succulents infected with mycorrhizal fungi. *New Phytologist, 122: 643-649.*

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

- Dimitri, C., and Greene, C. 2002. Food industry taps growing American market. Economic Research Survey, USDA. Agricultural Outlook. October, 2002. p.4-7.

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

- Dodd, J.C., Arias, I., Koomen, I., and Hayman, D.S. 1990. The management of vesicular- arbuscular mycorrhizal populations in acid-infertile soils of a savana ecosystem. I. The effect of pre-cropping and VAM inoculation on plant growth and nutrition in the field. *Plant and Soil, 122: 229-240*.

- Dodd, J.C., Burton, C.C., Burns, R.G., and Jeffries, P. 1987. Phosphate activity associated with the roots and the rhizosphere of plants infected with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist, 107: 163-172*.

- Doran, J.W. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 88: 119-127.*

- Douds, D.D., Janke, R.R. and Peters, S.E. 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*.

- Douds, D.D.Jr., and Millner, P.D. 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 74: 77-93.*

- Duan, X., Neuman, D.S., Reiber, J.M., Green, C.D., Saxton, A.M., and Auge, R.M., 1996. Mycorrhizal influence on hydraulic and hormonal factors implicated in the control of stomatal conductance during drought. *Journal of Experimental Botany, 47: 1541–1550.*

- Eral, h. J. and Davis, R.F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Journal of Agricultural Science, 95:688-696.*

- Estrada-Luna, A.A., Davies, F.T., and Egilla, J.N. 2000. Mycorrhizal fungi enhancement of growth and gas exchange of micropropagated gyava plantlets (*psidium guajava* L.) during ex vitro acclimatization and plant establishment. *Mycorrhiza, 10: 1-8.*

- Estrada-Luna, A., and Davies, A. 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.*

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

- Faber, B.A., Zasoski, R.J., Munns, D.A., and Shackel, K. 1991. A method of measuring hyphal nutrient and water uptake in mycorrhizal plants. *Canadian Journal of Botany, 69: 87-94.*

- FAO. 1999. Report: Sustaining Agriculture Biodiversity and Agroecosystem Function. FAO, Italy.Available Online at: www.fao.org

- Fliessbach, A., and Mader, P. 2004. Productivity, Soil Fertility and Biodiversity in Organic Agriculture. Available online at: http://orgprints.org/7682/01/Fliessbach-et-al_Dok-trial.doc

- Feng, G., Zhang, F.S., Li, X.L., Tian, Tang, C.Y.C., and Rengel, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza, 12: 185-190.*

- Fitter, A.H. 1988. Water relations of red clover Trifolium pratense L. as affected by VA mycorrhizal infection and phosphorus supply before and during drought. *Journal of Experimental Botany, 39: 595–603.*

- Fitter, A.H., and Garbaye, J. 1994. Intraction between mycorrhizal fungi and other soil organisms. *Plant and Soil, 159: 123-132.*

- Furlan, V., and Bernire-Cardou, M. 1989. Effects of N, P, and K on formation of vesicular arbuscular mycorrhizae, growth and mineral content of onion. *Plant and Soil, 113: 167-174.*

- 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.*

- Garmendia, I., Goicoechea, N., and Aguirreolea, J. 2005. Moderate drought influences the effect of arbuscular mycorrhizal fungi as biocontrol agents against Verticillium-induced wilt in pepper. *Mycorrhiza, 15: 345-356.*

- 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.*

- Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The endogonaceae in the pacific Northwest. *Mycologia memoir, No. 50. 67 pp.*

- Ghazi Al-Karaki, B., McMichael, J.Z. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drout stress. *Mycorrhiza, 14: 263- 269.*

- Ghazi, N., and Al- Karaki, G.N. 1998. Benefit, cost and water use efficiency of arbuscular mycorrhiza of durum wheat grown under drought stress. *Mycorrhiza, 8: 41- 45.*

- Gianinazzi, S., and Vosatka, M. 2004. Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. *Canadian Journal of Botany, 82: 1264-1271.*

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

- Giovannetti, M., and Gianinazzi, P.V., 1994. Biodiversity in arbuscular mycorrhiza fungi. *Mycological Research, 98: 705-715*.

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

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

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

- Goicoechea, N., Merino, S., and Sanchez-Diaz, M. 2004. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) to the adaptations exhibited by the deciduous shrub Anthyllis cytisoides L. under water deficit. *Physiologia Plantarum, 122: 453- 464*.

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

- Graham, J.H. and Syversen, J.P. 1984. Influence of vesicular arbuscular mycorrhiza on the hydraulic conductivity of roots of two citrus rootstocks. *New Phytologist., 97: 277-284.*

- Gregory, P.T., Simond, L.P., and Pilbeam, C.J. 2000. Soil type, climatic regim and the response of water use efficiency to crop management. *Journal of Agricultural Science. 92: 814-820.*

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

- Gryndler, M., Hrselova, H., Sudova, R., Gryndlerova, H., Rezacova, V., and Merhautova, V. 2005. Hyphal growth and mycorrhiza formation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum* BEG 23 is stimulated by humic substances. *Mycorrhiza, 15: 483-488*.

- 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.*

- Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M. and Kumar, S., 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasiculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology, 81: 77-79*.

- Harley, J.L. and Smith, S.E. 1983. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. London. Pp. 483.

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

- Hart, M.M., and Trevors, J.T. 2005. Microbe management: application of mycorrhizal fungi in sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment, 3: 533-539*.

- Hart, M.M., Reader, R.J. and Klironomos, J.N. 2001. Life-history strategies of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to their successional dynamics. *Mycologia, 96: 1186-1194*.

- Hayman, D.S. 1986. Mycorrhizae of nitrogen-fixing legumes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2: 121-145*.

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

- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V., and Evans, A.D. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation, 122: 113-130*.

- Howell. T.A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated Agriculture. *Journal of Agricultural Science. 93: 281-289.*

- 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(2): 99–107*.

- Idso, S.B., Jackson, R.D., Reginato, R.T., and Pinter, P.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resource Research, 17: 1133-1138.*

- Jakobsen, I., and Rosendahl, L. 1990. Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber roots. *New Phytologist, 115: 77-83.*

- Japgal, R., Rani, R., Ball, N. And Mukerij, K.G. 1987. Morphology and taxonomy of endomycorrhizal fungi. Proceedings of mycorrhizae. March 13-15 1987, New Delhi, India.

- Jeffries, P. 1987. Use of mycorrhizae in agriculture, Crit. Rev. *Biotechnology. 5: 319–357.*

- Jeffries, P., Gianinazzi, S. Perotto, S., Turnau, K., and Barea, J.M. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils. 37: 1-16*.

- Johnson, D., Ijdo, M., Genney, D.R., Anderson, I.C., and Alexander, I.J. 2005. How do plants regulate the function, community structure, and diversity of mycorrhizal fungi? *Journal of Experimental Botany. 56: 1751-1760*.

- Johnson, N.C., and Pfleger, F.L. 1992. Arbuscular mucorrhizal fungi and cropping stresses. In: Mycorrhizae in sustainable agriculture. Bethlenfalvay, G.J., and Linderman, R.G. (Eds.). American Society of Agronomy, Special Publication, No. 54. Madison, Wis. 124 p.

- Joner, E.J., and Leyval, C. 1997. Uptake of ^{109}Cd by roots and hyphae of a *Glomus mosseae*/*Trifolium subterraneum* mycorrhiza from soil amended with high and low concentrations of cadmium. *New Phytologist, 135: 53-60.*

- Kapoor, R., Chaudhary, V. and Bhatnagar, A.K., 2008. Effectiveness of two arbuscular mycorrhizal fungi on concentrations of essential oil and artemisinin in three accessions of *Artemisia annua* L. . *Applied Soil Ecology 40: 174-181.*

- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, G., 2001. Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum* L) to enhance the concentration and quality of essential oil. *Journal of the Science of Foot and Agriculture, 82(4): 339-342.*

- Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology, 93: 307-311.*

- Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H., and Tas, I. 2003. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (Citrullus lanatus Thunb.) grown under well-watered and water- stressed conditions. *Plant and Soil, 253: 287-292.*

- 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.*

- Khalvati, M.A., Hu, Y., Mozafar, A., and Schmidhalter, U. 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.*

- Khaosaad, T., Vierheilig, H., Nell, M., Zitterl-Eglseer, K. and Novak, J., 2006. Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). *Mycorrhiza, 16: 443- 446.*

- Klingeman, W.E., Van Lersel, M.W., Kange, J.G., Auge, R.M., Moore, J.L., and Flanagan, P.C. 2005. Whole plant gas exchange measurement of mycorrhizal 'Iceberg' roses exposed to cyclic drought. *Crop Production, 24: 309-317.*

- Kokalis-Burelle, N., Kloepper, J.W., and Reddy, M.S. 2006. Plant growth promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere microorganisms. *Applied Soil Ecology, 31: 91-100.*

- Kormanik, P.P., and McGraw, A.C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. Available Online at: http://mdl.csa.com/ partners/viewrecords.php?requester=gs&collection=ENV&recid=596492.

- Kormanik, P.P., and McGraw, A.C. 1982a. In: Methods and principles of mycorrhizal research. Schenk, N.C. (Ed.). The American phytopathological Society, St. Paul, MN. Pp. 37-45.

- Kothamasi, D., Kuhad, R.C., and Babu, C.R. 2001. Arbuscular mycorrhizae in plant survival strategies. *Trop. Ecology,. 42 (1): 1- 13.*

- Krishna, K.R., Shetty, K.G., Dart, J., and Andrews, D.J. 1985. Genotype dependent variation in mycorrhizal colonization and response to inoculation of pearl millet. *Plant and Soil, 86: 113-125*.

- Krone, W., Bichler, B., Vierbrock, E., and Moawad, A.M. 1987. Intraction between VA mycorrhiza and phosphate solubilizing bacteria. *Proceedings of 7th North Am. Conf. on mycorrhizae. FL, May 3-8 1987. Inst. Food Agric. Sci., Univ. of Florida, Gainesville, FL. P. 328*.

- Linderman, R. 2006. Biocontrol in the mycorrhizosphere. *Proceeding of the International Workshop on Implementation of Biocontrol in Practice in Temperate Regions- Present and Near Future. Denmark.*

- Linderman, R.G. 1991. Mycorrhizal interactions in rhizosphere. In: The rhizosphere and plant growth. Keister, D.L., and Cregan, P.B. (Eds.). Kluwer Academic Press. The Netherlands. Pp. 343-348.

- Louche-Tessandier, D., Samson, G., Hernandez-Sebastia, C., Chagvardieff, P., and Desjardins, y. 1999. Importance of light and CO_2 on the effects of endomycorrhizal colonization on growth and photosynthesis of potato plantlets (*Solanum tuberosum*) in an invitro tripartite system. *New Phytologist, 142: 539-550.*

- Lovelock, C.E., Kyllo, P., Isopp, H., Vigro, A., and Winter, K. 1997. Symbiotic vesicular- arbuscular mycorrhizae influence maximum rates of photosynthesis in tropical tree seedlings grown under elevated CO_2. *Australian Journal of Plant Physiology, 24: 185-194.*

- 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*.

- Malloch, D. 1987. The evolution of mycorrhizae. *Canadian Journal of Plant Phathology, 9: 398-402.*

- Marks, G.C. 1991. Causal morphology and evolution of mycorrhizae. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 35: 89-104.*

- 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.*

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

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

- Miller, R.M., and Jastrow, J.D. 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.

- Miller, R.M., and 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.

- Mohammad, M.J., Malkawi, H.I., and Shibi, R. 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*.

- Morton, J.B. 1990. Species and clones of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes): Their role in macro- and microevolutionary processes. *Mycotaxon. 37: 493-515*.

- National Academy of Sciences (NAS). 2003. Frontiers in Agricultural Research: Food, Health, Environment, and Communities. Washington D.C., National Academy of Sciences.

- Nautiyal, P.C., Rachaputi, N.R., and Joshi, Y.C. 2002. Miosture-deficit-induced changes in leaf water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in in specific leaf area. *Field Crops Research, 74:67-69.*

- Newsham, K.K., Fitter, A.H., and Watkinson, A.R. 1995. Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology Evolution, 10: 407-411*.

- Nicolson, T.H., and Gerdemann, J.W. 1986. Mycorrhizal endogone species. *Mycologia, 60: 313-325.*

- Oehl, F., Sieverding, E., Mader, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., and Wiemken A. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia, 138: 574-583*.

- O'Hara, G.W., Dilworth, M.J., Boonkerd, N., and Parkpian, P. 1988. Iron deficiency specifically limits nodule development in peanut inoculated with *Bradyrhizobium* sp. *New Phytologist, 108: 51-57.*

- Ortas, I. 1996. the influence of use of different rates of mycorrhizal inoculum on root infection, plant growth and Phospjorus uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 27: 2935-2946*.

- Pamela, L.N., Edward, P.G., and Thompson, T.L. 2003. Comparison of transpiration rates among saltcedar, cottonwood and willow trees by sap flow and canopy temperature methods. *Agricultural and Forest Meteorology, 116: 73-89.*

- 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*.

- Patel, N.r., Mehtaand, A.N., and Shekh, A.M. 2001. Canopy temperature and water stress quantification in rainfed pigeon pea. *Agriculture and Forest Meteorology, 109: 223-232*.

- Pena, C.J.I. 1985. Physiology of legume–rhizobium–VA mycorrhiza symbiosis under water stress. *Dissertation Abstracts International C* (European abstracts) *46(2): 361–362.*

- Pimentel, D. 1993. Economics and energetic of organic and conventional farming. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 6: 53-60.*

- Pimentel, D. 2005. Organic and conventional farming systems: environmental and economics issues. Available online at: http://dspace .library.cornell.edu/bitstream/1813/2101/Pimentel-report-05-1.pdf

- Pinior, A., Grunewaldt-Stocker, G., Von Alten, H., and Strasser, R.J. 2005. Mycorrhizal impact on drought stress tolerance of rose plants probed by chlorophyll *a* fluorescence, praline content and visual scoring. *Mycorrhiza, 15: 596-605*.

- 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.*

- Rajapaske, S., and Miller, C. 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.

- Ratti, N., Kumar, S., Verma, H.N., and Gautams, S.P. 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martini* var. motia by Rhizobacteria, AMF and Azospirillum inoculation. *Microbiology Research. 156: 145-149.*

- Read, D.J. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia, 47: 376-391.*

- Read, D.J. 1998. The ecophysiology of mycorrhizal symbioses with special reference to impact upon plant fitness. In: Physiological Plant Ecology. Press, M.C., Scholes, J.D. and Barker, M.G. (Eds.*). 39th Symposium of the British Ecological Society held at the University of york, September 7-9, 1998*. Cambridge University Press. ISBN: 0632054913. 494 p.

- Remy, W., Taylor, T.N., Hass, H, and Kerp, H. 1994. Four hundred million year old vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 91: 11841-11843*.

- Richter, G.M., Dailey, A.G., and Rana, G. 2004. Measurements of canopy temperature to assess crop water stress. Publication of Rothamsted Research, Harpenden, AL52JQ. UK. Available Online at: www.rothamsted.bbsrc.ac.uk

- Rilling, M.C. 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science, 84: 355-363.*

- Rilling, M.C. and Steinberg, P.D., 2002. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? *Soil Biology and Biochemistry, 34: 1371-1374.*

- 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://www.Cotton.Crc.org.au/Content/Industry/Publicationa/Water and Irrigation/waterpark.

- Ryan, M.H., and Ash, J. 1999. Effects of phosphorus and nitrogen on growth of pasture plants and VAM fungi in SE Australian soils with contrasting fertilizer histories (conventional and biodynamic). *Agriculture, Ecosystems and Environment, 73: 51-62.*

- Ryan, M.H., and Graham, J.H. 2002. Ts there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? *Plant and Soil, 244: 263-271.*

- Safir, G.R., Boyer, J.S., and Gerdemann, J.W., 1971. Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Science, 172: 581–583.*

- Safir, G.R., Boyer, J.S., and Gerdemann, J.W., 1972. Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Plant Physiology, 49: 700–703.*

- Sailo, G.L. and Bagyaraj, D.J., 2005. Influence of different AM-fungi on the growth, nutrition and forskolin content of *Coleus forskohlii*. *Mycological Research, 109: 795-798.*

- Sanchez-Blanco, M.J., Ferrandez, T., Morales, M.A., Morte, A., and Alarcon, J.J. 2004. Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. *Journal of Plant Physiology, 161: 675-682*.

- Sannazzaro, A.L., Ruiz, O.A., Alberto, E.O., and Menendez, A.B. 2006. Alleviation of salt stress in *Lotus glaber* by *Glomus intraradices. Plant and Soil, 285: 279-287.*

- Sbrana, C., and Giovannetti, M. 2005. Chemotropism in the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Mycorrhiza, 15: 539-545*.

- Schaffer, G.F., and Peterson, R.L. 1993. Modifications to clearing methods used in combination with vital staining of roots colonized with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza, 4: 29-35.*

- Schenck, N.C. 1984. Methods and principles of mycorrhizal research. 2nd edition. The American Phytopathological Society.

- Schenck, N.C., and Perez, Y. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. 3nd edition. Synergistic Publications.

- Schüßler, A., and Walker, C. 2010. The *Glomeromycota.* A species list with new families and new genera. Arthur: Schüßler and Christopher Walker, Gloucester. Published in December 2010 in libraries at The Royal Botanic Garden Edinburgh, The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich, and Oregon State University. Electronic version freely available online at: www.amf-phylogeny.com

- Scialabba, N.E.H. 2003. Organic Agriculture: The challenge of sustaining food production while enhancing biodiversity. *Proceeding of United Nation Thematic group, sub-group meeting on wildlife, biodiversity and organic agriculture. April 15-16, 2003, Ankara, Turkey.*

- Shabayev, V.P., Smolin, V.Y. and Mudrik, V.A. 1996. Nitrogen fixation and CO_2 exchange in soybeans (Glycine max L.) inoculated with mixed cultures of different microorganisms. *Biology and Fertility of Soils, 23: 425-430.*

- Shrestha, R.K., and Ladha, J.K. 1998. Nitrate in groundwater and integration of nitrogen-catch crop in rice-sweet pepper cropping system. *Soil Science Society of America Journal, 62: 1610–1619.*

- Sieverding, E. 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal management in Tropical Agroecosystems. GTZ Publishers, Bremer, Germany. 371 p.

- Simon et al. 1993. Origin and diversitication of Endomycorrhizal fungi and coincidence with vesicular land plants. Nature (london). 363: 67-69.

- Singh, B.P. 1989. Irrigation water management for bush snap bean production. *Horticulture Science. 24: 69-70.*

- Smith, F.A., and Smith, S.E. 1997. Structural diversity in arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist, 137: 373-388.*

- Smith, S.E., and Gianinazzi-Pearson, V. 1988. Physiological interaction between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Annuals Reviews in Plant Physiology, 39: 221-244.*

- Smith, S.E., and Read, D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. 2nd Edn. Academic Press, San Diego, California, USA. 605 p.

- Souchie, E.L., Saggin-Junior, O.J., Silva, E.M., Campello, E.F., Azcon, R., and Barea, J.M. 2006. Communities of P-solubilizing bacteria, fungi and arbuscular mucorrhizal fungi in grass pasture and secondary forest of Paraty, R.J-Brazil. *Annuals Academic of Brasilian Science, 78: 183-193.*

- Staddon, P.L., Gregersen, R., and Jakobsen, R. 2004. The response of two Glomus mycorrhizal fungi and a fine endophyte to elevated atmospheric CO_2, soil warming and drought. *Global Change Biology, 10: 1909-1921.*

- Stahl, P.D., and Christensen, M. 1991. Population variation in mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*: Breadth of environmental tolerance. *Mycological Research, 95: 300-307.*

- Stanghellini, C., and Lorenzi, F. 1994. A comparison of soil- and canopy temperature-based methods for the early detection of water stress in a simulated patch of pasture. *Journal of Irrigation Science, 14: 141-146.*

- Stanhill, G. 1986. Water use efficiency. *Advanc in Agronomy. 39: 53-85.*

- Subramanian, K.S., and Charest, C. 1995. Influence of arbuscular mycorrhizae on the metabolism of maize under drought stress. *Mycorrhiza, 5: 273-278.*

- Subramanian, K.S., and Charest, C. 1997. Nutritional, growth, and reproductive responses of maize (Zea mays L.) to arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasseling. *Mycorrhiza, 7: 25-32.*

- Subramanian, K.S., and Charest, C. 1998. Arbuscular mycorrhizae and nitrogen assimilation in maize after drought and recovery. *Physiologia Plantarum, 102: 285-269.*

- Subramanian, K.S., Charest, C., Dwyer, L.M., and Hamilton, R.I. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizae on leaf water potential, sugar content, and P content during drought and recovery of maize. *Canadian Journal of Botany, 75: 1582-1591.*

- Subramanian, K.S., Santhanakrishnan, P., and Balasubramanian, P. 2006. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Sci. Horticulturae, 107: 245-253.*

- Suriyapperuma, S.P., and Koske, R.E. 1995. Attraction of germ tubes and germination of spores of the arbuscular mycorrhizal fungi *Gigaspora gigantea* in the presence of roots of maize exposed to different concentrations of phosphorus. *Mycologia, 87: 772-778.*

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

- Sylvia, D.M., Hammond, L.C., Bennet, J.M., Hass, J.H., and Linda, S.B. 1993. Field response of maize to a VAM fungus and water management. *Agronomy Journal, 85: 193-198.*

- Sylvia, D.M., and Neal, L.H. 1990. Nitrogen affects the phosphorus response of VA mycorrhiza. *New Phytologist, 115: 303-310.*

- Taiz, L., and Zeiger, E. 1998. Plant Physiology. 2nd ed. Sinaur Publisher, Massachusetts, USA. 792 p.

- Tarumongkeng, R.C., and Coto, Z. 2003. Effects of drought stress on growth and yield of soybean. @2003 Kisman, Science Philosopy PPs 702, Term paper, Graduate School, Borgor Agricultural University (Institut Ppertanian Bogor), December 2003.

- Taylor, T.N., Remy, W., Hass, H., and Kerp, H. 1995. Fossil arbuscular mycorrhizae from the Early Devonian. *Mycologia, 87 (4): 560-573.*

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

- 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.*

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

- Tilman, D., Reich, P.B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T., and Lehman, C. 2001. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science, 294: 843-845*.

- Tobar, R., Azcon, R., and Barea. J.M. 1994. Improved nitrogen uptake and transport from 15N-labelled nitrate by external hyphae of arbuscular mycorrhiza under water-stressed conditions. *New Phytologist 126: 119-122.*

- Toyota, K., and Kuninaga, S. 2006. Comparison of soil microbial community between amended with or without farmyard manure. *Applied Soil Ecology, 33: 39-48*.

- Trent, J.D., Svejcar, T.J., and Christiansen, S. 1989. Effects of fumigation on growth, photosynthesis, water relations and mycorrhizal development of winter wheat in the field. *Canadian Journal of Plant Science, 69: 535-540*.

- 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.

- USGS. 2001. Selected Findings and Current Perspectives on Urban and Agriculture Water Quality by National Water-Quality Assessment Program. U.S. Department of Interior, U.S. Geological Survey. Washington, DC.

- Valentine, A.J., Mortimer, P.E., Lintnaar, A., and Borgo, R. 2006. Drought responses of arbuscular mycorrhizal grapevines. *Symbiosis, 41: 127-133*.

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

- Van der Heijden, M.G.A., and Scheublin, T.R. 2007. Functional traits in mycorrhizal ecology: their use for predicting the impact of arbuscular mycorrhizal fungal communities on plant growth and ecosystem functioning. *New Phytologist, 174: 244-250.*

- Waterer, D., and Coltman, R. 1989. Mycorrhizal infection level of bell pepper transplants influences subsequent response to soil solution Phosphorus. *Journal of Plant Nutrition, 12: 327-340*.

- Weatherley, P.E. 1950. Studies in water relation of cotton plants, the field measurement of water deficit in leaves. *New Phytologist, 49: 81-87.*

- Wright, S.F., and Upadhyaya, A. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science, 161: 575-586.*

- Wu, Q.S., and Xia, R.X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology, 163: 417-425*.

- Zang, H., and Oweis, T. 1999. water – yield relation and optimal irrigations and water – use efficiency of winter wheat in the North china plain. Irrig. *Science, 19: 37-45*.

- Zhao, F.G., Chen, L.P., He, X.L., and Pan, J. 2004. Effects of AM fungi on the quality of tobacco leaf at different phosphorus levels. *Soils and Fertilizers (Beijing), 3: 43-45*.

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

پیوست ها

جدول۴-۱) نتایج تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد بلال و وزن هزاردانه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع بوته	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	تعداد بلال	وزن هزار دانه
بلوک	۲	۲۰۲۶/۴۳**	۷۷۶۳۴۸۹۵۸**	۸۹۱۹۷۵۲۵^{ns}	۵/۰۳^{ns}	۱۱۲۱/۰۱*
فاکتورA(میکوریزا)	۲	۲۷۹۰/۴۶**	۲۹۳۸۹۵۲۰۸*	۱۹۸۶۹۴۲۵۸**	۵/۰۳^{ns}	۲۳۰۹/۵**
خطای a	۴	۳۰۲/۰۱	۳۲۱۰۱۶۶۷	۴۷۸۴۶۳۵۸	۴/۸۶	۷۲۵/۸
فاکتور B (آبیاری)	۳	۳۶۵۶/۲۱**	۱۰۵۰۱۰۴۶۹۹**	۳۷۴۶۱۹۶۰۷**	۱۸/۹۲*	۴۰۸۹/۸**
A×B	۶	۷۱/۲۵^{ns}	۴۹۴۳۴۴۹^{ns}	۱۲۹۰۶۶۵۵^{ns}	۳/۱۴^{ns}	۱۹۷/۳^{ns}
خطای باقیمانده	۱۸	۲۵۲/۱۸	۶۴۴۳۴۰۰۵	۳۱۸۴۲۷۴۷	۳/۰۶	۳۱۴/۵
کل	۳۵	-	-	-	-	-
C.V		۸/۱۳	۱۹/۶	۲۴/۹۵	۱۹/۷۵	۵/۰۱

ns بی معنی

*، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول۴-۲) نتایج تجزیه واریانس صفت شاخص سطح برگ ذرت در طی فصل رشد

منابع تغییر	درجه آزادی	روزها ی پس از کاشت	میانگین مربعات				
			۴۰	۵۵	۷۰	۸۵	۱۰۰
بلوک	۲		۰/۰۵^{ns}	۰/۹۶*	۰/۱۸^{ns}	۰/۲۷*	۰/۱۷**
فاکتورA(میکوریزا)	۲		۰/۲۸**	۰/۴۹^{ns}	۰/۳۷*	۰/۱۴^{ns}	۰/۱۴**
خطای a	۴		۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۳
فاکتور B (آبیاری)	۳		۰/۳۸**	۰/۷۹*	۰/۹۲**	۰/۷۸**	۰/۳۸**
A×B	۶		۰/۰۱^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
خطای باقیمانده	۱۸		۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۱
کل	۳۵		-	-	-	-	-
C.V			۲۱/۴۲	۲۲/۳۷	۱۰/۹۴	۱۲/۱۳	۵/۹

ns بی معنی

*، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول۴-۳) نتایج تجزیه واریانس صفت تجمع ماده خشک ذرت در طی فصل رشد

منابع تغییر	درجه آزادی	روزها ی پس از کاشت	میانگین مربعات				
			۴۰	۵۵	۷۰	۸۵	۱۰۰
بلوک	۲		۱۱۷/۹^{ns}	۱۵۸۹۹/۷**	۱۹۴۷/۷^{ns}	۱۰۷۳۹/۹^{ns}	۳۷۰۰۲/۶*
فاکتورA(میکوریزا)	۲		۴۰۳/۱**	۴۹۴۶/۰۵*	۶۰۹۹/۹^{ns}	۵۹۳۵۳/۴**	۲۷۰۷۰/۷^{ns}
خطای a	۴		۶۶/۴	۱۴۵۳/۶	۴۷۶۲/۴	۳۳۶۷/۳	۱۱۱۶۱/۲
فاکتور B (آبیاری)	۳		۶۷۶/۶**	۲۶۹۷/۳^{ns}	۸۱۱۱/۹^{ns}	۱۰۵۹۴/۸^{ns}	۱۲۸۲۷۷/۸**
A×B	۶		۱۸/۲^{ns}	۷۳۷/۲^{ns}	۹۵۲/۵^{ns}	۱۱۲۵۳/۰۴^{ns}	۵۰۵۷/۶^{ns}
خطای باقیمانده	۱۸		۶۰/۹۶	۱۴۷۰/۸	۶۱۹۶/۰۱	۴۸۲۲/۲	۱۰۴۱۵/۹
کل	۳۵		-	-	-	-	-
C.V			۲۳/۱۸	۲۲/۹۳	۳۰/۲۹	۲۰/۷۸	۱۷/۲۸

ns بی معنی

*، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول۴-۴) نتایج تجزیه واریانس صفت عدد کلروفیل متر ذرت در طی فصل رشد

منابع تغییر	درجه آزادی	روزهای پس از کاشت	میانگین مربعات			
			۴۰	۵۵	۷۰	۸۵
بلوک	۲		۲/۶۳**	۳/۲۱^{ns}	۱۵/۷۹^{ns}	۱۱۲/۶۱*
فاکتورA(میکوریزا)	۲		۳۸/۶۵**	۱۲۱/۳۵**	۱۱۰/۹۰**	۱۱۵/۸۲*
خطای a	۴		۰/۹۲	۱۱/۸۳	۱۲/۲۶	۳۷/۲۷
فاکتور B (آبیاری)	۳		۵۸/۱۵**	۸۴/۹۷**	۶۰/۰۲**	۱۱۰/۶۹*
A×B	۶		۱/۶۷*	۴/۷۳^{ns}	۳/۵۷^{ns}	۱۷/۰۷^{ns}
خطای باقیمانده	۱۸		۰/۴۳	۵/۰۲	۷/۴۴	۲۲/۳۱
کل	۳۵		-	-	-	-
C.V			۱/۴۸	۴/۶	۵/۹	۹/۵۷

ns بی معنی

*، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول۴-۵) نتایج تجزیه واریانس صفت درصد رطوبت نسبی برگ ذرت در طی فصل رشد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		RWC1	RWC2	RWC3
بلوک	۲	۱۵۰/۳۳*	۱۷۰/۷۶*	۱۸۸/۵۳**
فاکتور A (میکوریزا)	۲	۲۵۴/۹**	۵۴۹/۵۳**	۲۹۵/۱۴**
خطای a	۴	۵۴/۰۱	۴۳/۸	۲۱/۳۷
فاکتور B (آبیاری)	۳	۱۴۹/۷۷*	۲۲۱/۷۹**	۴۷/۰۴ ns
A×B	۶	۱۰/۳۹ ns	۷/۳۶ ns	۶/۴۵ ns
خطای باقیمانده	۱۸	۳۸/۳۵	۴۴/۱۹	۳۲/۵۳
کل	۳۵	-	-	-
C.V		۸/۵۷	۱۰/۳۲	۷/۸۶

ns بی معنی

*، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۴-۵-۱- نتایج مقایسه میانگین اثر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر درصد رطوبت نسبی برگ ذرت

تیمارهای آزمایش	درصد رطوبت نسبی برگ		
	تیر ماه	مرداد ماه	شهریور ماه
شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت	۶۲/۵۷ c	۵۱/۶ d	۶۴/۱۷ b
G.mosseae + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت	۶۹/۴ abc	۵۸/۰۷ cd	۷۲/۰۳ ab
G.intraradices + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت	۶۹/۷۷ abc	۶۴/۱۳ abcd	۷۲/۹۷ ab
شاهد + ۵۰٪ نیاز آبی ذرت	۶۵/۸۳ bc	۵۶/۴۳ cd	۶۸/۳ ab
G.mosseae + ۵۰٪ نیاز آبی ذرت	۷۳/۹۳ abc	۶۴/۰۷ abcd	۷۷/۴ a
G.intraradices + ۵۰٪ نیاز آبی ذرت	۷۴/۴۳ abc	۶۹/۳ abc	۷۸/۵۳ a
شاهد + ۷۵٪ نیاز آبی ذرت	۶۹ abc	۵۹/۵۷ bcd	۶۹/۳ ab
G.mosseae + ۷۵٪ نیاز آبی ذرت	۷۳/۹۳ abc	۶۶/۸۳ abc	۷۶/۷۳ ab
G.intraradices + ۷۵٪ نیاز آبی ذرت	۷۷/۶ ab	۷۴/۸۳ a	۷۶ ab
شاهد + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت	۷۰/۴۷ abc	۶۱/۰۷ abcd	۶۵/۵۷ ab
G.mosseae + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت	۸۲/۵ a	۷۲/۷ ab	۷۷/۰۳ ab
G.intraradices + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت	۷۸/۰۳ ab	۷۴/۰۳ a	۷۲/۵۳ ab

در هر ستون (هر ماه)، میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

جدول۴-۶) نتایج تجزیه واریانس صفت دمای کانوپی ذرت در طی فصل رشد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		دمای کانوپی (تیر ماه)	دمای کانوپی (مرداد ماه)	دمای کانوپی (شهریور ماه)
بلوک	۲	۰/۱۷*	۰/۱۱**	۰/۴۷**
فاکتور A (میکوریزا)	۲	۱۲/۳۳**	۴/۷۵**	۱۶/۸۶**
خطای a	۴	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۳
فاکتور B (سطوح آبیاری)	۳	۵/۶۴**	۲/۵۸**	۶/۰۹ **
A×B	۶	۰/۲۶**	۰/۰۶*	۰/۵۲**
خطای باقیمانده	۱۸	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۵
کل	۳۵	-	-	-
C.V		۴/۳	۸/۸	۶/۲

ns بی معنی

*، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۴-۶-۱) نتایج مقایسه میانگین اثر گونه های میکوریزا در سطوح آبیاری مختلف بر اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا (درجه سانتیگراد) در ذرت.

تیمارهای آزمایش	اختلاف درجه حرارت کانوپی و دمای هوا (درجه سانتیگراد)		
	تیر ماه	مرداد ماه	شهریور ماه
شاهد + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت	۷/۲۳ a	۲/۸۷ a	۶/۸۷ a
G.mosseae + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت	۵/۵ cd	۲/۲ bc	۴/۳۷ c
G.intraradices + ۲۵٪ نیاز آبی ذرت	۵/۱ de	۱/۹۳ cd	۳/۵ d
شاهد + ۵۰٪ نیاز آبی ذرت	۶/۴۷ b	۲/۴۷ b	۵/۱ b
G.mosseae + ۵۰٪ نیاز آبی ذرت	۴/۸۳ ef	۱/۸ de	۳//۶۳ d
G.intraradices + ۵۰٪ نیاز آبی ذرت	۴/۸ ef	۱/۲۷ f	۲/۸۳ f
شاهد + ۷۵٪ نیاز آبی ذرت	۵/۷۳ c	۲/۱۳ bcd	۴/۴ c
G.mosseae + ۷۵٪ نیاز آبی ذرت	۴/۵۳ gf	۱/۴۷ ef	۳/۴ de
G.intraradices + ۷۵٪ نیاز آبی ذرت	۳/۹۳ h	۰/۷۳ g	۲/۴۳ fg
شاهد + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت	۵/۲ de	۱/۸ de	۳/۹ cd
G.mosseae + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت	۴/۲۳ gh	۱/۱۷ f	۲/۹۳ ef
G.intraradices + ۱۰۰٪ نیاز آبی ذرت	۲/۹ i	۰/۳ h	۲/۱۷ g

در هر ستون (هر ماه)، میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

جدول۴-۷) نتایج تجزیه واریانس صفات طول ریشه، درصد کلویزاسیون و کارایی مصرف آب ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		طول ریشه	درصد کلونیزاسیون	کارایی مصرف آب (با عملکرد بیولوژیک)	کارایی مصرف آب (با عملکرد دانه)
بلوک	۲	۲۰۵/۰۳ ns	۱۰۳/۳۶ **	۳۰/۶۹۵۸۶۸۲ **	۱/۴۲۷۵۸۴۰ ns
فاکتورA(میکوریزا)	۲	۲۸۵۱۴/۹ **	۱۷۵۳۹/۵ **	۳۲/۶۹۷۹۱۱۳ **	۱۳/۶۷۹۷۶۹۱ **
خطای a	۴	۷۸/۷	۳۵/۳۶	۳/۲۴۹۰۸۸۰	۴/۲۸۹۶۲۸۸
فاکتور B (آبیاری)	۳	۴۰۷۲۶/۴ **	۴۱۰/۳۲ **	۱۲۷/۷۸۷۸۶۰۲ **	۳۸/۱۰۰۴۳۳۹ **
A×B	۶	۱۱۰۰/۷ ns	۱۰۶/۸ **	۶/۵۶۲۱۲۶۲ **	۰/۶۴۶۳۹۶۰ ns
خطای باقیمانده	۱۸	۱۱۷۱/۵	۹/۱	۱/۴۲۷۷۱۳۰	۱/۲۶۴۴۶۳۵
کل	۳۵	-	-	-	-
C.V		۹/۷۲	۶/۳	۱۰/۷۷	۱۸/۵

ns بی معنی

*، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

پیوست۱: نیاز آبی برای ذرت

وزارت جهاد کشاورزی–سازمان هواشناسی کشور
(طرح بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی)
نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی

دشت مشهد-چناران	استان خراسان	حوضه آبریز هریرود-کشفرود
محصول ذرت‌دانه‌ای	(طول دوره رشد ۱۴۵ روز)	

ماه	دهه	تبخیر تعرق (میلیمتر)	باران موثر (میلیمتر)	نیاز خالص آبیاری	ماه	دهه	تبخیر تعرق (میلیمتر)	باران موثر (میلیمتر)	نیاز خالص آبیاری
فروردین	۱				مهر	۱	۱۵	۰	۱۵
	۲					۲			
	۳					۳			
	جمع					جمع	۱۵	۰	۱۵
اردیبهشت	۱				آبان	۱			
	۲					۲			
	۳	۱۴	۰	۱۴		۳			
	جمع	۱۴	۰	۱۴		جمع			
خرداد	۱	۱۴	۸	۶	آذر	۱			
	۲	۱۸	۰	۱۸		۲			
	۳	۴۱	۰	۴۱		۳			
	جمع	۷۳	۸	۶۵		جمع			
تیر	۱	۵۹	۰	۵۹	دی	۱			
	۲	۷۷	۰	۷۷		۲			
	۳	۹۲	۰	۹۲		۳			
	جمع	۲۲۸	۰	۲۲۸		جمع			
مرداد	۱	۷۶	۰	۷۶	بهمن	۱			
	۲	۷۲	۰	۷۲		۲			
	۳	۷۴	۰	۷۴		۳			
	جمع	۲۲۲	۰	۲۲۲		جمع			
شهریور	۱	۵۸	۰	۵۸	اسفند	۱			
	۲	۴۳	۰	۴۳		۲			
	۳	۳۲	۰	۳۲		۳			
	جمع	۱۳۳	۰	۱۳۳		جمع			

جمع (میلیمتر)	تبخیر–تعرق	باران موثر	نیازخالص‌آبیاری *
	۶۸۵	۸	۶۷۷
نیاز خالص‌آبیاری(مترمکعب در هکتار)			۶۷۷۰

* در محاسبه نیاز آبیاری برای آبیاری اولیه(خاک آب)مقداری منظور نشده است لذا می توان با توجه به شرایط خاک و نوع زراعت ۳۰ تا ۵۰ میلیمتر به مقدار نیاز خالص آبیاری افزود.

پیوست۲: طبقه بندی میکوریزا

Classification of 'AM fungi' (updated December 2010), based on a recently published revision and species list and currently +/- 228 described AM fungal species (Schüßler and Walker 2010):

Phylum *Glomeromycota*		
Class *Glomeromycetes*		
orders (4)	**families (11)**	**genera (17)**
Glomerales	*Glomeraceae*	*Glomus* *Funneliformis* (former *Glomus* Group Aa, '*Glomus mosseae* clade') *Rhizophagus* (former *Glomus* Group Ab, '*Glomus intraradices* clade') *Sclerocystis* (basal in former *Glomus* Group Ab)
	Claroideoglomeraceae	*Claroideoglomus* (former *Glomus* Group B, '*Glomus claroideum* clade')
Diversisporales	*Gigasporaceae*	*Gigaspora* *Scutellospora* *Racocetra* (including *Racocetra weresubiae*)
	Acaulosporaceae	*Acaulospora* (including the former *Kuklospora*)
	Entrophosporaceae	*Entrophospora* (with unclear phylogenetic affiliation)
	Pacisporaceae	*Pacispora*
	Diversisporaceae	*Diversispora* (including several *Glomus* species, e.g. BEG47, recently transferred) *Otospora* (unclear phylogenetic affiliation)
Paraglomerales	*Paraglomeraceae*	*Paraglomus*
Archaeosporales	*Geosiphonaceae*	*Geosiphon*
	Ambisporaceae	*Ambispora*
	Archaeosporaceae	*Archaeospora* (including the former *Intraspora*)

Effects of Two Species of Mycorrhizal Fungi on Water Use Efficiency of Corn (*Zea mays* L.)

Abstract

One of the most important factors of limiting crop yield in dry and semiarid regions is water shortage. Evaluation of yield in different stresses and using a variety of microorganisms in these regions, is one of the modern methods of sustainable agriculture for reducing damages caused by environmental stresses. Symbiotic of mycorrhizal fungi (AM) with roots of crops has shown positive effects in agricultural systems. In the present work, effects of two species of mycorrhizal fungi on water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) based on a randomized complete block design arranged as a split plot with three replications, at Research Station of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad during the growing season of 2009-2010, were studied. Treatments were conducted with three mycorrhizal levels (control and two types of mycorrhizae (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*)) and four irrigation levels (25%, 50%, 75% and 100% of the water requirement of irrigated corn). Grain yield, grain weight per ear, number of corn, biological yield, dry matter accumulation, leaf area index, plant height, canopy temperature, SPAD readings, relative water content, specific root length, root colonization percentage, and water use efficiency were determined. Results showed that all above mentioned traits were affected with both types of mycorrhizae, significantly ($p \leq 0.05$) except number of corn which was not affected significantly ($p \geq 0.05$). Type of mycorrhizae on root colonization percentage was not significant. The different irrigation levels had significant effect on all these traits ($p \leq 0.05$). Generally, results showed that the use of mycorrhizae in low levels of irrigation can increase the absorption of water and nutrients by extending the root and increasing the absorbing surface. In this way, not only the plant resists against the water shortage more strongly, but also more dry matter will be produced for a specific value of water, which means the water use efficiency increases. Furthermore, the use of water and chemical inputs will be decreased.

Keywords: biological yield, canopy temperature, leaf area index, special root length

Shahrood University of Thechnology
Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis

Effects of Two Species of Mycorrhizal Fungi on Water Use Efficiency of Corn (*Zea mays* L.)

Maryam-sadat Yousefsani

Supervisors

Dr. Mohammadreza Amerian

Prof. Alireza Koocheki

Advisors

Prof. Mehdi Nassiri Mahallati

Dr. Hamid Abbasdokht

September 2011