

تأثیر همزیستی میکوریزایی و کاربرد اسید هیومیک بر کارایی مصرف آب و شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد ذرت در شرایط کم آبیاری

۱- زهره شاه حسینی، دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود
zshahhoseiny@yahoo.com

۲- احمد غلامی، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- حمیدرضا اصغری، استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۵

پذیرش: ۱۳۹۱/۰۵/۱۸

چکیده

تأثیر قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار و کاربرد اسید هیومیک بر روی کارایی مصرف آب و شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد ذرت در سه رژیم آبیاری در یک آزمایش مزرعه ای، مورد مطالعه قرار گرفت. این آزمایش در قالب طرح اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. پلات اصلی تنش کم آبی در سه سطح [۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه (بدون تنش آب)، ۶۶٪ ظرفیت زراعی مزرعه (تنش متوسط)، ۳۳٪ ظرفیت زراعی مزرعه (تنش شدید)] و پلات فرعی شامل قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار در سه سطح (شامل دو گونه قارچ میکوریزا *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* شاهد یا بدون قارچ) و اسید هیومیک در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) است. نتایج نشان داد که همزیستی قارچ‌های میکوریزا، کاربرد اسید هیومیک و شرایط بدون تنش کم آبی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و میزان تجمع ماده خشک را افزایش می‌دهد. ضمن این‌که این صفات در شرایط تنش کم آبی، بدون همزیستی میکوریزایی و عدم کاربرد اسید هیومیک کاهش یافتند. تلقیح میکوریزایی و کاربرد اسید هیومیک به طور معنی‌داری کارایی مصرف آب را افزایش داد. اثر متقابل تنش کم آبی و همزیستی میکوریزایی بر کارایی مصرف آب در ذرت معنی دار بود. بیشترین کارایی مصرف آب از کاربرد گونه *Glomus mosseae* و شرایط تنش شدید و کم-ترین میزان آن از بوته‌های شاهد در شرایط بدون تنش به ترتیب معادل $2/50 \text{ Kg/m}^3$ و $1/31 \text{ Kg/m}^3$ به دست آمد.

واژگان کلیدی: ذرت؛ قارچ‌های میکوریزای آرباسکولار؛ اسید هیومیک؛ کارایی مصرف آب؛ تنش آبی.

مقدمه

افزایش جذب عناصر غذایی را از راه افزایش انشعابات ریشه گیاه و ریشه قارچ در یک محدوده معین از خاک ممکن می‌سازد (Allen & Boosalis, 1983) و از این طریق موجب تغییراتی در روابط آبی گیاه و بهبود مقاومت به کم آبی و یا تحمل در گیاه میزبان می‌شود. از جمله این تغییرات، افزایش هدایت هیدرولیکی آب در درون گیاهان میکوریزایی است که می‌تواند به علت‌های زیر باشد:

(۱) افزایش مجموع سطح ریشه به دلیل ایجاد پوشش وسیع میسلیمی در منطقه ریشه و تارهای کشنده؛ (۲) نفوذ

یکی از راه‌های افزایش تحمل کم آبی و افزایش عملکرد در گیاهان زراعی استفاده از قارچ‌های میکوریزا است (Mosse et al, 1981). میکوریزا یکی از عوامل بیولوژیک در خاک‌های زراعی است، که ویژگی مفید آن در همزیستی با گیاهان موجب افزایش مطالعات علمی در این زمینه شده و علاقه‌مندی بیشتری را در استفاده تجاری از این قارچ به عنوان کودهای زنده به وجود آورده است. تلقیح خاک با میکوریزا، رشد و عملکرد گیاهان را در محیط آزمایشگاهی و در مزرعه افزایش می‌دهد. میکوریزا

هیف به درون کورتکس ریشه و از آن جا به منطقه آندودرم یک مسیر کم مقاومتی را در عرض ریشه برای حرکت آب فراهم آورده و آب با مقاومت کمتری در عرض ریشه تا رسیدن به آوند چوبی رو به رو می شود؛ (۳) هیف از راه افزایش جذب عناصر غذایی مقاومت به انتقال آب را در ریشه کاهش می دهد و (۴) ذخیره آب در هیف و انتقال آن به گیاه در زمان تنش خشکی.

این قارچ ها دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی بوده و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری زا، موجب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم های کشاورزی پایدار می شوند (Sharma, 2002). به طوری که در پیاز همزیستی با قارچ میکوریزی *Glomus macrocarpum* ماده خشک آن را پنج تا شش برابر نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی افزایش می دهد (Thomas et al., 1986). میکوریزا نه تنها رشد گیاه و جذب مواد معدنی را افزایش می دهد بلکه ممکن است در شرایط خشکی مقاومت بالایی را نیز در گیاه ایجاد کند (Beltrano & Ronaco 2008). این قارچ ها می توانند بر تعادل آبی گیاه هم در هر شرایط تنش و هم دوره بدون تنش اثر گذاشته (Auge, 2001) و حتی تأثیر آن ها در شرایط تنش افزایش می یابد (Abo Galia & Khalafollah, 2008).

Song (2005) همبستگی بالایی را بین وضعیت تغذیه ای گیاه و مقاومت به خشکی آن در حضور میکوریزا گزارش کرد، هرچند پژوهش های زیادی ثابت نموده اند که اثر قارچ های میکوریزا بر روابط آبی گیاه میزبان می تواند مستقل از وضعیت تغذیه ای فسفر باشد (Belthenfalvay et al., 1998). همزیستی میکوریزایی اغلب منجر به ایجاد تغییراتی در سرعت حرکت آب به داخل، سراسر و یا خارج گیاه میزبان شده و بر روی آبیگری بافت و فعالیت های فیزیولوژیکی برگ تأثیر گذارد (Auge, 2001) و حتی سطح جذب ریشه را تا ۴۷ برابر افزایش دهد (Smith & Read, 1997). رشد و توسعه قارچ های میکوریزا به بستر مناسبی از مواد آلی نیاز دارد و با اصلاح ساختار خاک رشد و توسعه این قارچ ها افزایش می یابد. یکی از ترکیباتی که در اصلاح

ساختار خاک نقش مهمی دارد اسید هیومیک بوده که از تجزیه مواد آلی در خاک حاصل می شود. به طور کلی، هیومیک ها پیش از این که کود باشند، اصلاح کننده خاک هستند. پلیمرهای اسید هیومیک شبیه یک چسب آلی عمل می کنند و ذرات مواد معدنی خاک را به هم چسبانده و ضمن ایجاد گرانول های درشت تر، فضای مناسب برای موجودات میکروسکوپی و ماکروسکوپی، نفوذ بیشتر هوا، آب و ریشه فراهم می کند. در نتیجه این پلیمرها یک عامل کلیدی در اصلاح ساختار خاک ها هستند (Singer & Bissonais, 1998) اسید هیومیک با تولید بیشتر اسید های نوکلئیک و اسیدهای آمینه، تکثیر سلولی را در کل گیاه و به ویژه در ریشه ها افزایش می دهد (Dursun et al., 2002). اسید هیومیک با اصلاح فیزیکی و بهبود دانه بندی خاک فضای بیشتری برای نفوذ آب ایجاد می کند. مولکول های اسید هیومیک با پیوند با مولکول های آب، تا حدود زیادی مانع از تبخیر آب می گردند. مولکول های فولویک اسید (بخش ریز مولکول از اسید هیومیک) که به درون بافت های گیاهی نفوذ می کنند با پیوند شدن به مولکول های آب تعریق و تعرق گیاه را کاهش داده به حفظ آب در درون گیاه کمک می کند (Bronick & lai, 2005). اسید هیومیک با بهبود تولید قند، پروتئین و ویتامین در گیاه و نیز تأثیر مثبتی که بر جنبه های مختلف فتوسنتز دارد در افزایش عملکرد و کیفیت محصول نقش دارد (Sharif et al., 2002) این نتایج در مورد ذرت (Albuzio et al., 1994) و گوجه فرنگی (Adani et al., 1998) نیز تأیید شده است.

این تحقیق در راستای بررسی تأثیر قارچ های میکوریزا و اسید هیومیک بر روی افزایش کارایی مصرف آب و افزایش شاخص های رشد در گیاه ذرت صورت گرفت.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود در قالب طرح اسپیل پلات فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. پلات اصلی شامل سه سطح تنش که به ترتیب FC^{100} (بدون

آزمایش ۵۴ کرت که هر کرت شامل ۴ ردیف کاشت و هر ردیف به طول ۶ متر و با فاصله ۷۵ سانتیمتر از یکدیگر، در نظر گرفته شد. فاصله بذرها روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده و بذرها در عمق ۵ سانتیمتری خاک قرار داده شد. برای جلوگیری از عمل تداخل و آلودگی قارچ‌ها یک خط به صورت نکاشت به عنوان محافظ بین کرت‌های اصلی قرار گرفت. بذر ذرت مورد استفاده (متوسط رس) سینگل کراس ۷۰۴ بود. پیش از اقدام به کشت، برای اطمینان از عدم آغشته بودن به سموم قارچ کش، نخست بذرهای چندین مرتبه شستشو شدند. پس از شستشو، بذرهای را در سایه خشک نموده و جهت کشت به مزرعه منتقل گردید. به هنگام کشت بذرها، مقدار ۱۵ گرم از هر نمونه قارچ میکوریزا که شامل ریشه، خاک و اسپور بود استفاده شد (هر گرم نمونه قارچ حاوی حدود ۳۰۰ اسپور زنده است) عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ خرداد ماه به پایان رسید و اولین آبیاری ۲ روز بعد انجام شد. در طی فصل رشد، عملیات داشت شامل کوددهی، آبیاری، تنک کردن (در مرحله ۴-۶ برگی) و کنترل علف‌های هرز صورت گرفت. آبیاری بر مبنای اندازه‌گیری رطوبت وزنی و به وسیله کنتور برای کنترل میزان آب ورودی انجام شد. نمونه‌برداری‌ها به فاصله ۱۰ روز در ۷ مرحله در طی فصل رشد ذرت انجام گرفت. در انتهای دوره رشد، بوته‌های ذرت از مساحتی در حدود ۳ متر مربع برای اندازه‌گیری عملکرد نهایی و اجزای عملکرد برداشت شد. این مرحله ۱۳۰ روز بعد از کاشت انجام شد. نمونه‌ها به صورت تصادفی از ردیف وسط برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه بوته‌ها به اجزای آن (ساقه، برگ، غلاف، دانه، چوب بلال) تفکیک و برای خشک شدن در آن در دمای ۷۰°C تا مرحله رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. سپس وزن اندام‌های گیاه با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. تجزیه داده‌ها به کمک نرم افزار SAS و MSTATC برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه

در انتهای فصل رشد ذرت، ریشه‌ها از عمق ۵ تا ۱۰ سانتیمتری خاک برداشت شد. در آزمایشگاه ابتدا ریشه‌ها

تنش آب)، FC ۰.۶۶٪ (تنش متوسط)، FC ۰.۳۳٪ (تنش شدید) و پلات فرعی شامل قارچ‌های میکوریزا در سه سطح $M_2: Glomus intraradices$ ، $M_1: Glomus mosseae$ و شاهد: M_0 است. مایه تلقیح مورد استفاده که با روش کشت گلدانی گیاه شبدر به دست آمده بود شامل قطعات ریز ریشه شبدر همزیست، حاوی ریشه‌ها، وزیکول‌ها، آریاسکول‌ها، اسپورهای قارچ و قطعات ریز ماسه بادی و خاک چسبیده به آن‌ها است. مؤلفه دیگر اسید هیومیک در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) می‌باشد. اسید هیومیک به غلظت ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر در سه مرحله (یک هفته بعد از تنک در مرحله ۷ برگی، مرحله ظهور تاج گل؛ و مرحله پر شدن دانه) و هر بار به میزان ۲۰ لیتر در هکتار در پای بوته‌ها استفاده شد. کاشت بذرها به صورت ردیفی انجام شد.

به منظور اعمال سطوح مختلف آبیاری نمونه خاک مزرعه آزمایشی به دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز منتقل و با استفاده از دستگاه صفحات فشاری محتوای رطوبت نمونه خاک در پتانسیل‌های مختلف تعیین شد. بر این مبنای محتوای آب خاک در پتانسیل‌های خاک در ظرفیت زراعی FC ۱.۰۰٪، FC ۰.۶۶٪، FC ۰.۳۳٪ به ترتیب معادل ۱۳/۲۱، ۷/۸۷ و درصد وزنی تعیین گردید. قبل از اعمال سطوح آبیاری روزانه از کرت‌های مورد نظر نمونه برداری و جهت تعیین میزان رطوبت به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه از روش فلاسک جهت تعیین محتوای رطوبتی نمونه خاک هر کرت استفاده شد. جهت اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش فلاسک، تعدادی فلاسک و یک ترازو نیاز می‌باشد. با در دست داشتن وزن مخصوص حقیقی خاک (Pp) و وزن فلاسک پر از آب (G)، کافی است مقداری خاک مرطوب (A) را در فلاسک ریخته با آب به حجم رسانده وزن آن (H) را تعیین و با استفاده از فرمول زیر رطوبت نمونه خاک (Mp) به درصد محاسبه نمود (Hajrasouliha et al., 1982).

$$M_p = \left(\frac{A(P_p - 1)}{(H - G)P_p - 1} - 1 \right) \times 100 \quad (1)$$

در میانه اردیبهشت ماه و با مساعد شدن شرایط جوی - عملیات آماده سازی بستر مزرعه آزمایشی انجام شد. در این

کارایی مصرف آب^۴

کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف آزمایشی با محاسبه نسبت ماده خشک تولید شده به حجم آب مصرفی تعیین شد.

$$WUE = \frac{DM}{WU} \quad (۳)$$

در این معادله، DM میزان ماده خشک تولیدی و WU میزان آب مصرفی در تیمار شاهد و تیمارهای تنش است. مقدار آب مصرف شده در دوره رشد ۱۳۰ روزه ذرت برای سطوح تنش کم آبی (FC ۱۰۰٪، FC ۶۶٪ و FC ۳۳٪) به ترتیب ۱۲۰۷۰، ۸۸۲۰ و ۶۵۲۰ متر مکعب در هکتار است.

نتایج

نتایج حاصل از تأثیر تنش کم آبی بر کارایی مصرف آب در ذرت در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس جدول ۱ تنش کم آبی تأثیر معنی داری بر مقدار کارایی مصرف آب در مقایسه با شرایط بدون تنش (شاهد) داشت ($P < 0.01$). مقدار کارایی مصرف آب در شرایط تنش متوسط (FC ۶۶٪) و تنش شدید (FC ۳۳٪) به ترتیب ۱۹/۶۲٪ و ۲۹/۱۱٪ نسبت به شاهد (FC ۱۰۰٪) افزایش یافت (شکل ۱). (Aliabadi Farahani et al. (2008). نتایج مشابهی را بر روی گیاه گشنیز گزارش نمود. این محققین دلیل افزایش کارایی مصرف آب را تحت شرایط تنش کم آبی از دست دادن برگ‌های اضافی و کاهش سطح برگگی و همچنین بستن یا نیمه باز قرار دادن روزنه‌ها جهت کاهش هدر روی آب از طریق تبخیر و تعرق، اعلام نموده‌اند. در نتیجه گیاه از آب مصرفی برای تولید ماده خشک استفاده می‌کند که این امر موجب افزایش کارایی مصرف آب می‌شود.

نتایج حاصل از تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر کارایی مصرف آب بیان‌گر آن است که کاربرد ماده تلقیحی اثر معنی داری بر این صفت دارد ($P < 0.01$) (جدول ۱). مقدار کارایی مصرف آب در بذور تلقیح یافته با گونه *G. mosseae* و *G. intraradices* به ترتیب ۴۵/۹۴٪ و ۲۷/۰۲٪ نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۲). نتایج آزمایش بر روی گندم

با آب مقطر شستشو شد و سپس برای رنگ‌بری در محلول ۱۰٪ KOH به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد. سپس ریشه‌ها دوباره با آب مقطر شسته و به مدت ۴۸ ساعت در محلول کاتلن بلو قرار داده شد. ریشه‌ها دوباره با آب مقطر شسته شد. برای تعیین درصد کلونیزاسیون میکوریزایی ریشه‌ها از روش تلاقی خطوط مشبک استفاده شد (Mc Gonigle et al., 1990). با پخش ریشه‌های رنگ آمیزی شده به طور تصادفی در داخل ظرف پتری‌دیش و قرار دادن ظروف مذکور زیر لوپ آزمایشگاهی و با کمک کاغذ شطرنجی، میزان همزیستی ریشه بر حسب طول ریشه همزیست تعیین شد. به این ترتیب که تعداد نقاطی از ریشه که با خطوط عمودی و افقی برخورد کرده بودند و همچنین نقاطی که رنگ آبی پررنگ‌تری داشتند، شمرده شد. در آخر، از تقسیم این عدد بر کل برخوردها، درصد طول ریشه همزیست با قارچ برای همه تیمارها با سه تکرار، تخمین زده شد.

شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد

شاخص سطح برگ^۱ از نسبت کل سطح برگ به سطح زمین پوشش داده شده، به دست می‌آید. به همین منظور با تعیین سطح برگ بوته‌ها در هر مرحله و با توجه به مساحت نمونه برداری میزان LAI محاسبه گردید. سرعت رشد محصول^۲، افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح در واحد زمان است.

(۲)

$$CGR = \frac{(W_2 - W_1)}{S_A (t_2 - t_1)}$$

که در آن:

W_1 و W_2 وزن خشک گیاه در زمان‌های t_1 و t_2 مساحت خاک است (Acquaah, 2002).

سرعت رشد نسبی^۳ نیز بیان‌کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی معین است. میانگین سرعت رشد نسبی با توجه به اندازه گیری‌های انجام شده در دو زمان متوالی نمونه‌برداری محاسبه شد (Coelho & Dale, 1980).

1- Leaf Area Index (LAI)

2- Crop Growth Rate (CGR)

3- Relative Growth Rate (RGR)

4-Water Use Efficiency (WUE)

مقایسه با گیاهان غیر همزیست بیشتر است (Nagarathna et al., 2007).

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که اسید هیومیک نیز تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب دارد ($P < 0.01$) (جدول ۱). کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش کارایی مصرف آب به مقدار ۱۱/۴۹٪ نسبت به شاهد شد (شکل ۳). مولکول‌های اسید هیومیک با کانی‌های خاک تشکیل پیوند داده و شبکه‌ای به هم پیوسته ایجاد می‌کنند که در مجموع قادرند حجم زیادی آب را در خود ذخیره نمایند. هر چه بافت خاک سبک‌تر باشد این تأثیر بیشتر است. این عمل باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب شده و کارایی مصرف آب را در محصولات بهبود می‌بخشد (Singer & Bissonnais, 1998).

تأثیر متقابل تنش کم آبی و میکوریزا بر روی کارایی مصرف آب نیز از نظر آماری معنی‌دار است ($P < 0.01$) (جدول ۱). بیشترین کارایی مصرف آب در شرایط ۳۳FC و همزیستی با گونه *G. mosseae* به میزان $2/50 \text{ Kg/m}^3$ به دست آمد. کم‌ترین کارایی مصرف آب به میزان $1/31 \text{ Kg/m}^3$ در شرایط FC ۱۰۰٪ و بدون همزیستی با میکوریزا رخ داد (شکل ۴).

Khan et al. (2003) نشان دادند که تحت تأثیر تلقیح با میکوریزا در یولاف (*Avena sativa*) تحت رژیم‌های رطوبتی ۵۰FC و ۱۰۰FC عملکرد و کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. (Kaya et al. (2003) گزارش کرد که تلقیح هندوانه با میکوریزا تحت شرایط مطلوب آبیاری (بدون تنش) و شرایط تنش آب عملکرد میوه و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد. میکوریزا در شرایط تنش خشکی از طریق گسترش انشعاب هیف‌های خود به داخل خاک میزان جذب آب را افزایش داده و آب کافی را برای فعالیت‌های فیزیولوژیکی در گیاهان فراهم می‌کند (Smith & Read, 1997). این نتایج توسط محققان دیگر نیز تأیید شده است (Subramanian et al, 1997).

نشان می‌دهد که گیاهان میکوریزایی به ازای تولید هر واحد ماده خشک، آب کمتری مصرف نموده و در نتیجه کارایی مصرف آب بالاتری دارند (Ghazi & Karaki, 1998). این محققین مهم‌ترین علت افزایش کارایی مصرف آب را در گیاهان میکوریزایی این گونه بیان نمودند:

الف) میکوریزا توان گیاه را برای جذب بیشتر رطوبت و عناصر غذایی افزایش داده و پیامد آن بیشتر باز ماندن روزنه‌ها و افزایش تولید ماده خشک است؛

ب) هدایت هیدرولیکی ریشه در گیاهان میکوریزایی افزایش یافته و آب با راندمان بیش‌تری منتقل می‌شود؛

ج) گیاهان میکوریزایی بیوماس ریشه بیشتری تولید می‌نمایند؛

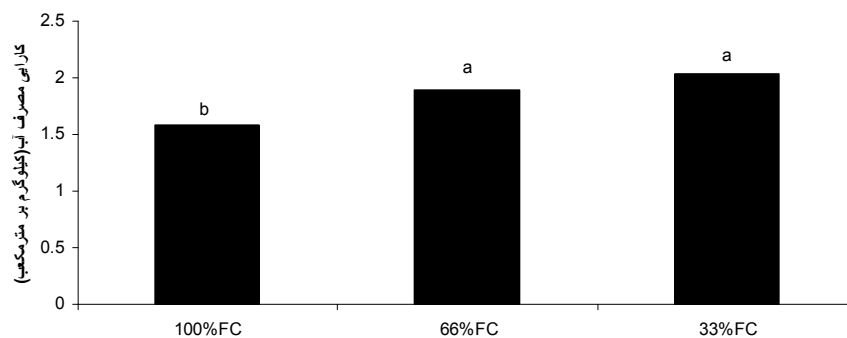
د) بهبود جذب عناصر غذایی، راندمان انتقال آب و فتوسنتز را در گیاهان میکوریزایی افزایش می‌دهد.

Miller (2000) نیز نشان داد که در گیاهان میکوریزایی به دلیل افزایش فتوسنتز و تولید بیشتر مواد فتوسنتزی به ازای واحد آب مصرفی کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. Bolandnazar et al. (2007) نشان داد که همزیستی با میکوریزا در پیاز، کارایی مصرف آب را افزایش داد. نتایج نشان داد که کارایی مصرف آب در گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزا به صورت زیر متفاوت است: شاهد $G. > G. versiforme > G. intraradices > etunicatum$. این محققین معتقدند که افزایش هدایت روزنه‌ای و باز و بسته شدن روزنه‌ها در گیاهان میکوریزایی رشد ریشه‌ها و جذب آب و مواد غذایی را افزایش داده که منجر به افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه می‌شود. تفاوت بین گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزا در افزایش کارایی مصرف آب به علت تفاوت آن‌ها در تولید میسلیوم‌های خارجی بوده که امکان دسترسی گیاه به منابع بیشتری از آب ذخیره شده در خاک را فراهم می‌کند (Fitter, 1986). Aliabadi Farahani et al. (2008) نیز علت افزایش کارایی مصرف آب از طریق همزیستی با میکوریزا را در افزایش جذب فسفر دانستند که باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب می‌شود. کارایی مصرف آب در گیاهان همزیست با میکوریزا در

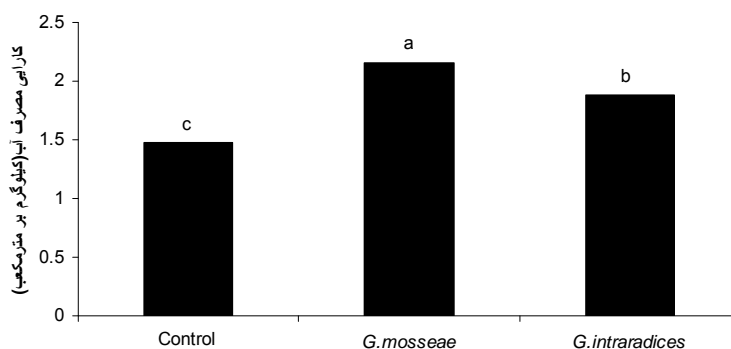
جدول ۱- تجزیه واریانس کارایی مصرف آب و درصد کلونیزاسیون ریشه

منابع تغییر	درجه آزادی	کارایی مصرف آب	درصد کلونیزاسیون
تکرار	۲	۰/۴۵۵*	۱۳/۳۵ ^{ns}
تنش کم آبی	۲	۰/۹۸۸**	۱۶۰۰/۴۶**
خطا	۴	۰/۰۵۲	۵/۳۵
میکوریزا	۲	۲/۰۷۱**	۲۴۲۵۲/۷۹**
میکوریزا × تنش کم آبی	۴	۰/۱۲۱**	۴۳۱/۷۱**
اسیدهیومیک	۱	۰/۵۱۰**	۲۵/۳۵**
اسیدهیومیک × تنش کم آبی	۲	۰/۰۲۲ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}
میکوریزا × اسیدهیومیک	۲	۰/۰۱۱ ^{ns}	۷/۰۱ ^{ns}
تنش کم آبی × میکوریزا × اسیدهیومیک	۴	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}
خطا	۳۰	۰/۰۲۰	۲/۸۱
ضریب تغییرات		۷/۶۴	۳/۹۹

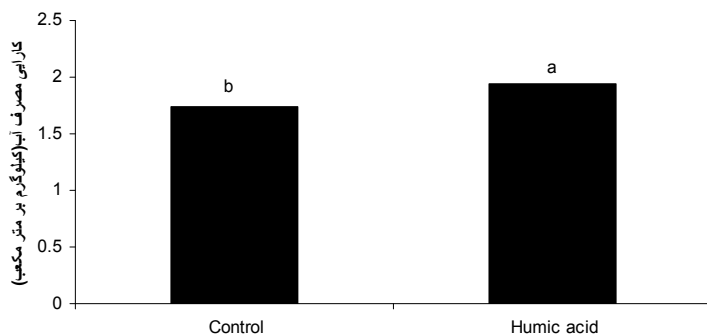
n.s، * و ** به ترتیب معنی دار نبودن، معنی داری در سطح ۵٪ و معنی داری در سطح ۱٪



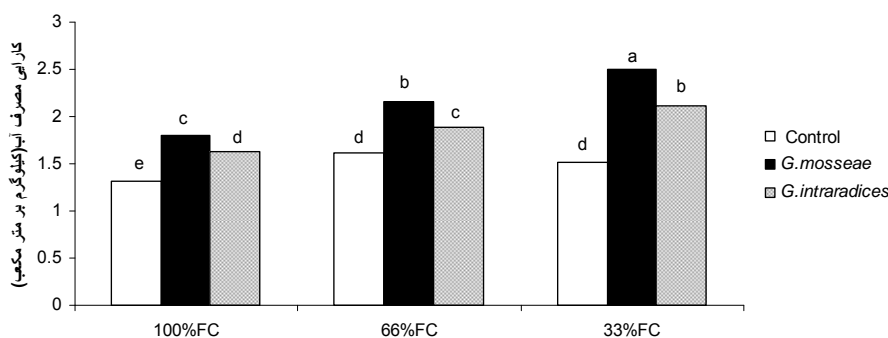
شکل ۱. تأثیر سطوح تنش کم آبی بر کارایی مصرف آب.



شکل ۲. تأثیر سطوح قارچ‌های میکوریزا بر کارایی مصرف آب.



شکل ۳. تأثیر سطوح اسید هیومیک بر کارایی مصرف آب.



شکل ۴. تأثیر متقابل سطوح تنش کم آبی و قارچ‌های میکوریزا بر کارایی مصرف آب.

درصد کلونیزاسیون ریشه

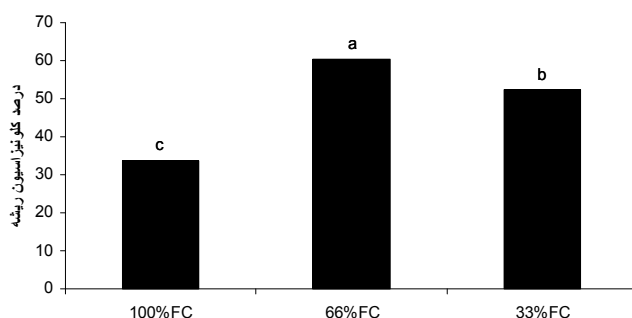
رسیدند که گونه *G. mosseae* بیشترین درصد کلونیزاسیون را (۹۳/۵٪) و گونه *G. intraradices* کمترین میزان کلونیزاسیون (۷۸/۳٪) را دارد. نتایج تحقیق (2007) Marulanda et al. بر روی گیاه اسطوخودوس میکوریزایی شده نشان می‌دهد که گونه‌های بومی مقاوم به خشکی *G. mosseae* و *G. intraradices* کلونیزاسیون ریشه را به ترتیب ۳۵٪ و ۱۰۰٪ افزایش دادند.

نتایج این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که اسید هیومیک نیز تأثیر معنی‌داری بر درصد کلونیزاسیون ریشه داشت ($P < 0.01$) (جدول ۱). کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه به مقدار ۳۰/۳٪ نسبت به شاهد شد. تأثیر متقابل تنش کم آبی و میکوریزا بر روی درصد کلونیزاسیون ریشه نیز از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < 0.01$) (جدول ۱). بیشترین مقدار کلونیزاسیون ریشه در شرایط ۳۳٪ FC و همزیستی با گونه *G. mosseae* به میزان ۸۳/۸۳٪ به دست آمد. کم‌ترین میزان کلونیزاسیون ریشه به میزان ۴۸/۸۳٪ در

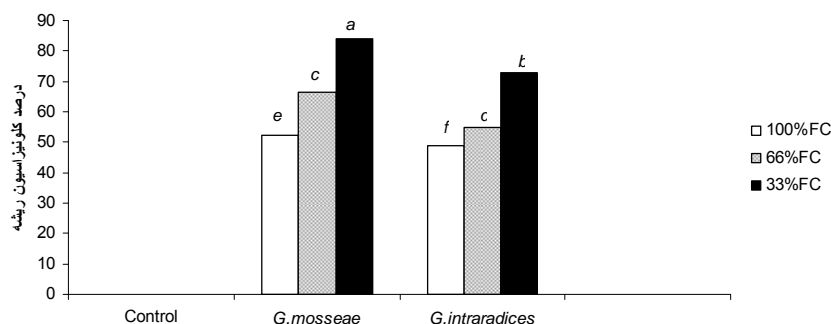
نتایج حاصل از تأثیر تنش کم آبی بر میزان کلونیزاسیون ریشه در ذرت در شکل ۵ و جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس جدول ۱، تنش کم آبی تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلونیزاسیون ریشه در مقایسه با شرایط بدون تنش (شاهد) دارد ($P < 0.01$). درصد کلونیزاسیون ریشه در شرایط تنش متوسط (۶۶٪FC) و تنش شدید (۳۳٪FC) به ترتیب به میزان ۴۰/۳۳٪ و ۵۲/۲۸٪ محاسبه شد. با توجه به جدول ۱، اختلاف بین درصد کلونیزاسیون ریشه بین گونه‌های مورد مطالعه قارچ-های میکوریزا از نظر آماری معنی‌دار است ($P < 0.01$). نتایج حاصل از مقایسه میانگین بین گونه‌ها نشان داد که بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه به میزان (۶۷/۴۴٪) به گونه *G. mosseae* تعلق دارد و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه (۵۸/۸۳٪) متعلق به گونه *G. intraradices* است. (2001) Amerian et al. نیز با بررسی تأثیر دو گونه *G. intraradices* و *G. mosseae* بر روی رشد ذرت تحت شرایط استرس خشکی به این نتیجه

افزایش کارایی مصرف آب در این شرایط می‌شود. Ruiz (1995) و Lozano & Azcon در تحقیقی نشان دادند که میزان کلونیزاسیون گونه *G. deserticola* در مقایسه با گونه *G. etanicatum* بیشتر است. این گونه سازگاری بیشتری با شرایط استرس خشکی از خود نشان داد. و منجر به افزایش رشد در شرایط استرس خشکی و افزایش کارایی مصرف آب می‌شود.

شرایط FC ۱۰۰٪ و همزیستی با گونه *G. intraradices* به دست آمد (شکل ۶). نتایج به دست آمده از درصد کلونیزاسیون ریشه تقریباً مشابه با نتایج کارایی مصرف آب در شرایط تنش کم آبی و همزیستی با قارچ‌های میکوریزا است. بیشترین میزان کارایی مصرف آب مربوط به تیمار ۳۳٪FC و همزیستی با گونه *G. mosseae* و بیشترین میزان درصد کلونیزاسیون ریشه نیز مربوط به همین تیمار است. در نتیجه در شرایط تنش شدید، درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت بیشتر بوده که این امر منجر به افزایش رشد و



شکل ۵. تأثیر سطوح تنش کم آبی بر درصد کلونیزاسیون ریشه.



شکل ۶. تأثیر متقابل سطوح تنش کم آبی و قارچ‌های میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه.

شاخص‌های رشد ذرت

الف) تجمع ماده خشک

روز از کاشت، به طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش کم آبی قرار گرفت. در این مرحله از رشد، بیشترین تجمع ماده خشک در شرایط بدون تنش (FC ۱۰۰٪) و کمترین مقدار تجمع ماده خشک در شرایط تنش شدید (FC ۳۳٪) به ترتیب ۸۹/۱۷ و ۶۲ گرم در بوته مشاهده شد. مقدار تجمع ماده خشک در طی فصل رشد در بوته‌های ذرت در شرایط

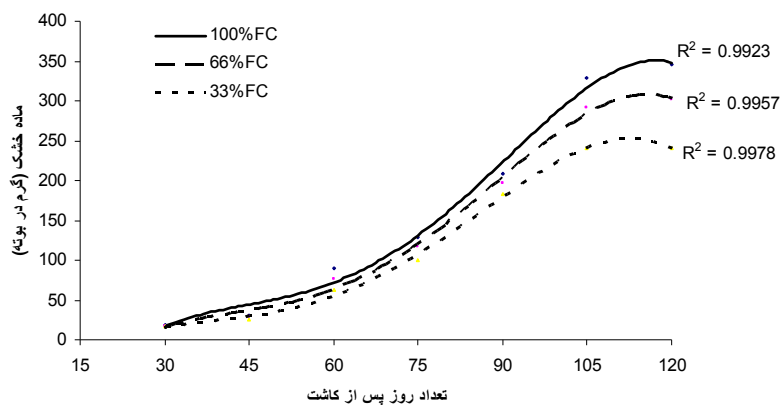
شکل ۷ تأثیر تنش کم آبی بر میزان تجمع ماده خشک در طول فصل رشد ذرت را نشان می‌دهد. افزایش تجمع ماده خشک در اوایل دوره رشد (تا ۴۵ روز پس از کاشت) به طور تقریباً مشابه بود و اختلاف معنی‌داری بین سطوح وجود ندارد. میانگین تجمع ماده خشک پس از گذشت ۶۰

بدون تنش (FC ۱۰۰٪) بیشتر از شرایط تنش شدید (FC ۳۳٪) است و این برتری تا پایان دوره رشد ادامه دارد. درجه روز رشد به حداکثر مقدار ماده خشک به مقدار ۵۸۰/۶ گرم در متر مربع رسید.

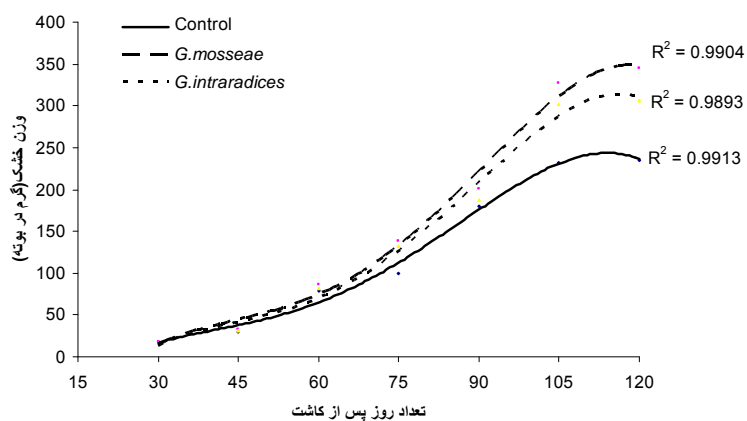
ریسه‌های قارچ‌های میکوریزا به دو دسته تقسیم می‌شوند. تعدادی وارد سیستم گیاه شده و سبب کاهش غلظت ABA و افزایش میزان سیتوکینین می‌شوند. این عمل موجب افزایش جذب آب و گسترش سیستم ریشه‌های گیاه می‌شود. دسته دوم، ریسه‌ها خارج از سیستم ریشه است که اسیدهای آلی محلول‌کننده فسفر مانند اسید مالیک را ترشح نموده و موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاه و همچنین افزایش تجمع ماده خشک می‌شود (Khalvati 2005). تأثیر کاربرد اسید هیومیک بر مقدار تجمع ماده خشک در طی فصل رشد ذرت در شکل ۹ نشان داده شده است. افزایش تجمع ماده خشک در اوایل دوره رشد (تا ۴۵ روز پس از کاشت) تقریباً مشابه بوده و اختلاف معنی‌داری بین سطوح وجود ندارد. میانگین تجمع ماده خشک پس از گذشت ۶۰ روز از کاشت به طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد اسید هیومیک قرار گرفت. در این مرحله از رشد در شرایط کاربرد اسید هیومیک، تجمع ماده خشک به میزان ۸/۸۵٪ در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد اسید هیومیک) افزایش یافت. مقدار TDM در طی فصل رشد روند افزایشی را نشان داد. و در ۱۲۰ روز پس از کاشت به بالاترین میزان خود می‌رسد. در این زمان با کاربرد اسید هیومیک، تجمع ماده خشک به میزان ۱۱/۵۱٪ در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد اسید هیومیک) افزایش یافت (شکل ۹). افزایش تجمع ماده خشک توسط اسید هیومیک در طول دوره رشد می‌تواند به علت‌های زیر باشد:

- ۱) افزایش سرعت فتوسنتز، افزایش بیوماس ریشه و افزایش جذب مواد غذایی (Liu et al, 1996)؛
- ۲) افزایش جذب نیترات و فعالیت آنزیم ATP آز در غشاء پلاسمای سلول‌های ریشه (Pinton et al, 1999)؛
- ۳) افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز (Malcolm & Vaghuan, 1979).

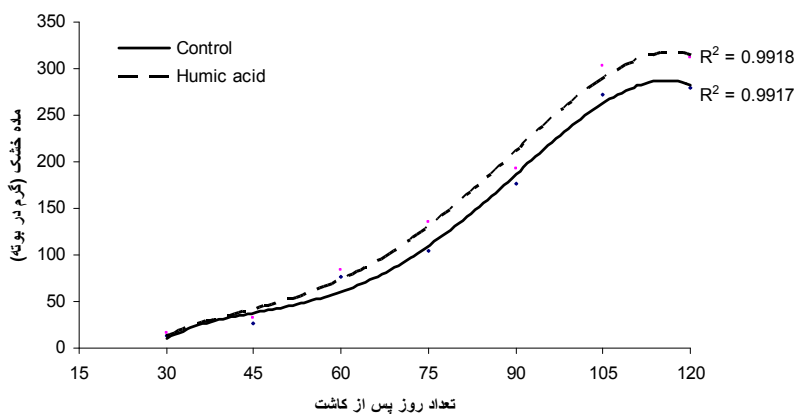
همان‌گونه که شکل ۷ نشان می‌دهد مقدار TDM طی فصل رشد روند افزایشی را نشان داده و در ۱۲۰ روز پس از کاشت به بالاترین میزان خود می‌رسد. در این زمان در شرایط تنش متوسط (FC ۶۶٪) و تنش شدید (FC ۳۳٪)، ماده خشک بوته‌های ذرت به ترتیب به میزان ۱۲/۷۰ و ۳۰/۳۲ درصد در مقایسه با شرایط بدون تنش (FC ۱۰۰٪) کاهش یافت. که از نظر آماری معنی‌دار است. Ghosh (2004) نیز نشان داد که در شرایط مطلوب محیطی مانند میزان رطوبت خاک، مقدار وزن خشک ذرت در ابتدای فصل رشد به آرامی افزایش یافت. با گذشت زمان، برگ‌های بیشتری در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند و میزان تجمع ماده خشک روند افزایشی نشان می‌دهد. روند تجمع ماده خشک گیاه ذرت در طول فصل رشد و در پاسخ به تلقیح با گونه‌های قارچ‌های میکوریزا در شکل ۸ نشان داده شده است. کاربرد قارچ‌های میکوریزا در اوایل دوره رشد (۳۰ روز پس از کاشت) تأثیر معنی‌داری بر این شاخص ندارد. پس از این زمان، تلقیح با قارچ‌های میکوریزا باعث شد تا مقدار TDM تا پایان فصل رشد در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش یابد. در پایان دوره رشد (۱۲۰ روز پس از کاشت)، تأثیر گونه‌های قارچ‌های میکوریزا بر مقدار تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد. در این زمان، تلقیح با گونه *G. intraradices* و *G. mosseae* به ترتیب ۴۶/۲۲ و ۳۰/۲۵ درصد مقدار تجمع ماده خشک را در مقایسه با شاهد افزایش داد. (Khoramdel et al. (2008) گزارش کردند که میزان تجمع ماده خشک در گیاه شاهدانه همزیست با قارچ‌های میکوریزا گونه *G. intraradices* با دوره رشدی ۱۰۰ روزه، با گذشت زمان افزایش یافت و در ۸۹ روز پس از سبز شدن به حداکثر مقدار خود (۲۴/۷۱٪) افزایش نسبت به شاهد رسید. افزایش میزان تجمع ماده خشک در گیاه گشنیز همزیست با قارچ میکوریزا (*Glomus hoi*) نیز توسط (Valadabadi et al. (2009) گزارش شد. در این تحقیق در همه مراحل رشد به ماده خشک افزوده شد. به طوری که گیاه با دریافت ۱۰۷۰



شکل ۷. تأثیر سطوح تنش کم آبی بر روند تغییرات وزن خشک بوته در طول دوره رشد.



شکل ۸. تأثیر سطوح قارچ‌های میکوریزا بر روند تغییرات وزن خشک بوته در طول دوره رشد.



شکل ۹. تأثیر سطوح اسید هیومیک بر روند تغییرات وزن خشک بوته در طول دوره رشد.

ب) شاخص سطح برگ (LAI)

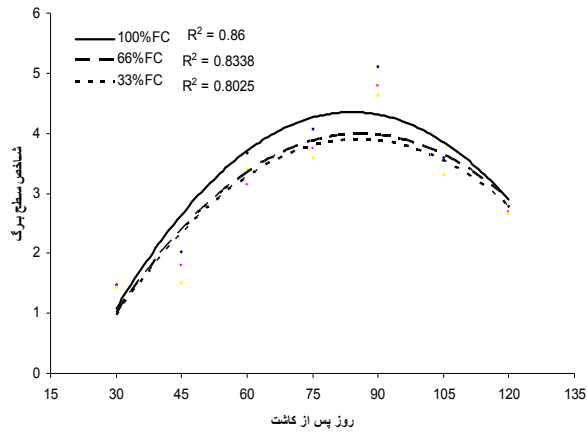
شاخص سطح برگ (LAI) برابر با ۵-۳ جهت تولید حداکثر ماده خشک برای بیشتر محصولات کاشته شده لازم است. شکل ۱۰ تأثیر تنش کم آبی بر شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، شاخص سطح برگ در مراحل اولیه رشد تحت تأثیر تنش کم آبی قرار ندارد و ۴۵ روز پس از رشد تأثیر تنش کم آبی بر LAI روند افزایشی دارد. به طوری که در ۷۵ روز پس از کاشت، بیشترین میزان اختلاف در شرایط تنش متوسط (۰/۶۶FC) و تنش شدید (۰/۳۳ FC) را در مقایسه با شرایط بدون تنش (۰/۱۰۰ FC) نشان می‌دهد. مقدار LAI در این زمان، برای ۰/۶۶ FC؛ ۰/۳۳ FC و ۰/۱۰۰ FC به ترتیب ۳/۷۴؛ ۳/۶۰ و ۴/۰۶ است (شکل ۱۰). بوته‌های ذرت در ۹۰ روز پس از کاشت به حداکثر میزان LAI در طول دوره رشد رسیده‌اند. بیشترین مقدار این شاخص (یعنی ۵/۱۱) در شرایط ۰/۱۰۰ FC و کمترین مقدار این شاخص (۴/۶۴) در شرایط ۰/۳۳ FC به دست آمد. از این زمان، شاخص مورد بررسی به دلیل رخ داد پیری برگ‌ها دوباره تا پایان فصل رشد روند کاهشی نشان داد. نتایج یک بررسی نشان داد که شاخص سطح برگ ذرت تا ۸۰-۷۰ روز پس از کاشت روند افزایشی داشت. و پس از آن به دلیل از بین رفتن و پیری برگ‌ها کاهش می‌یابد. همچنین مقدار LAI تحت تأثیر عوامل محیطی مانند شرایط رطوبتی و حاصل-خیزی خاک قرار می‌گیرد، به نحوی که تنش خشکی موجب کاهش این شاخص می‌شود (Cakir, 2004).

تأثیر قارچ‌های میکوریزا را بر شاخص سطح برگ بوته‌های ذرت در شکل ۱۱ نشان داده شده است. روند تغییرات نشان می‌دهد که قارچ‌های میکوریزا تا ۴۵ روز پس از کاشت تأثیر چندانی بر مقدار LAI نداشته و پس از گذشت ۴۵ روز از زمان کاشت، اختلاف میان برخی از گونه‌ها با شاهد آشکار می‌گردد. در ۷۵ روز پس از کاشت این اختلاف به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در این زمان، بیشترین و کمترین میزان LAI به ترتیب از گونه *G. mosseae* و شاهد با مقادیر ۳/۸۰ و ۳/۴۱ به دست آمد. نتایج نشان داد که ۹۰ روز پس از کاشت، بوته‌های ذرت به حداکثر میزان LAI می‌رسند. در این زمان بیشترین مقدار LAI از بذور تلقیح یافته با *G. mosseae* (۵/۰۵) و

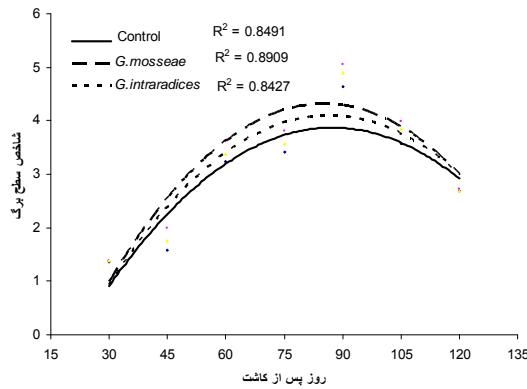
کمترین میزان از شاهد (۴/۶۳) حاصل شد. بر اساس شکل ۱۱، پس از گذشت ۹۰ روز از کاشت مقدار LAI روند کاهشی را نشان می‌دهد. پژوهش‌هایی وجود دارد مبنی بر این که قارچ‌های همزیست میکوریزا شاخص سطح برگ را به طور مستقیم افزایش نمی‌دهند بلکه بر دوام سطح برگ و وزن مخصوص برگ تأثیر می‌گذارند.

با این وجود (Thakur & Panwar, 1997) گزارش کردند که در گیاه لوبیا، میکوریزا باعث افزایش شاخص سطح برگ نسبت به شاهد شد. تحقیقات زیادی مبنی بر افزایش نیتروژن گیاه در نتیجه استفاده از قارچ‌های میکوریزا وجود دارد (Subramanian & Charest, 1998)، و عاملی مانند نیتروژن شاخص سطح برگ را در گیاه افزایش داد. و موجب بالا رفتن میزان تولید ماده خشک در گیاه می‌شود (Hay & Walker, 1989).

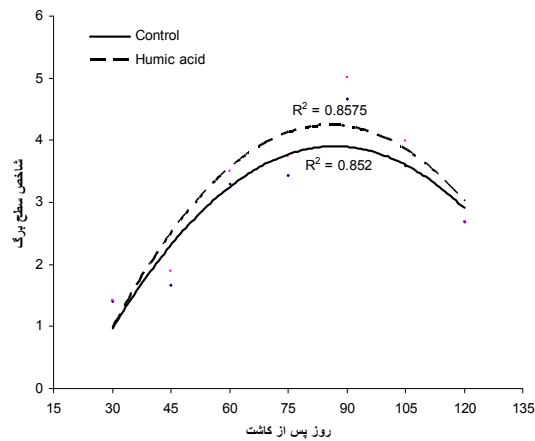
تأثیر کاربرد اسید هیومیک بر شاخص سطح برگ بوته‌های ذرت در شکل ۱۲ نشان داده شده است. روند تغییرات نشان می‌دهد که کاربرد اسید هیومیک تا ۴۵ روز پس از کاشت تأثیر چندانی بر مقدار LAI ندارد. پس از گذشت ۴۵ روز از زمان کاشت، اختلاف میان کاربرد اسید هیومیک با شاهد ظاهر شده، به گونه‌ای که در ۷۵ روز پس از کاشت این اختلاف به بیشترین میزان خود می‌رسد. در این زمان بیشترین میزان LAI به مقدار ۳/۷۴ در شرایط کاربرد اسید هیومیک به دست آمد. نتایج این بررسی نشان داد که ۹۰ روز پس از کاشت، بوته‌های ذرت به حداکثر میزان LAI می‌رسند. در این زمان بیشترین مقدار LAI (۵/۰۱) در شرایط کاربرد اسید هیومیک رخ داد. پس از گذشت ۹۰ روز از کاشت مقدار LAI روند کاهشی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. تأثیر سطوح تنش کم آبی بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد.



شکل ۱۱. تأثیر سطوح قارچ‌های میکوریزا بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد.



شکل ۱۲. تأثیر سطوح اسید هیومیک بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد.

ج) سرعت رشد نسبی (RGR)

شکل ۱۳ تأثیر تنش کم آبی بر تغییرات سرعت رشد نسبی ذرت در طی مراحل رشد را نشان می‌دهد. میزان تغییرات سرعت رشد نسبی در اوایل دوره رشد (۴۵-۳۰ روز پس از کاشت) بالا است ولی با گذشت زمان میزان تغییرات کاهش می‌یابد. تنش شدید (FC ۳۳٪) موجب کاهش RGR در اوایل دوره رشد در مقایسه با شرایط بدون تنش (FC ۱۰۰٪) شد. در فاصله زمانی ۴۵-۶۰ روز پس از کاشت بیشترین اختلاف بین سطوح تنش مشاهده شد. شرایط FC ۶۶٪ و FC ۳۳٪ باعث کاهش RGR به ترتیب به مقدار ۱۱۷/۱۴٪ و ۲۶/۹۲٪ نسبت به شرایط FC ۱۰۰٪ شد. گیاه در شرایط بدون تنش به دلیل دسترسی بهتر به آب و مواد غذایی می‌تواند شاخه‌های فرعی بیشتری نسبت به شرایط تنش تولید کند. این امر موجب افزایش سرعت رشد نسبی گیاه گشنیز در شرایط بدون تنش در مقایسه با شرایط تنش می‌شود (Valadabadi et al, 2009).

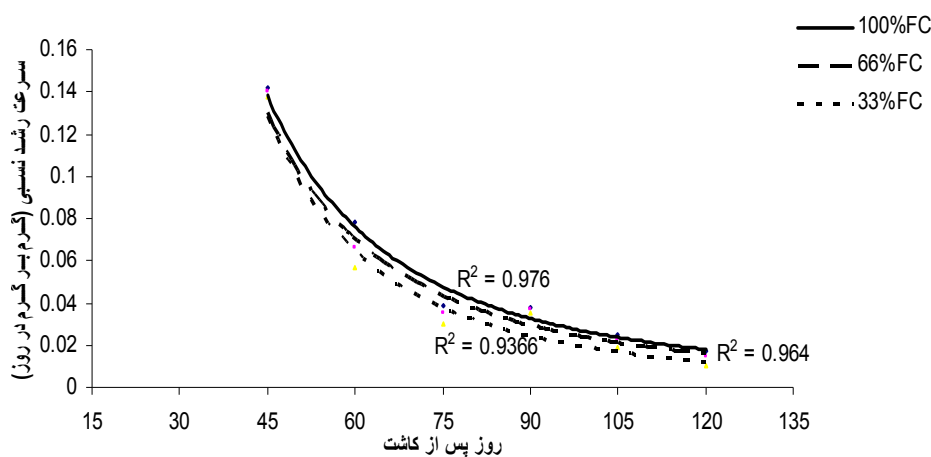
نتایج نشان داد که قارچ‌های میکوریزا در اوایل رشد تأثیر مثبتی بر تغییرات سرعت رشد نسبی دارند (شکل ۱۴). در دوره زمانی ۴۵-۳۰ روز پس از کاشت کاربرد گونه *G. intraradices* و *G. mosseae* به ترتیب موجب افزایش ۴۵/۴۵٪ و ۳۶/۳۶٪ در مقایسه با شاهد شد. شاخص RGR نیز با گذشت زمان روند کاهشی داشت. سرعت رشد نسبی در اوایل فصل رشد بالا است. مقدار RGR تابع سطح کل فتوسنتز کننده گیاه است و به همین دلیل با افزایش سن گیاه و افزایش مقدار تنفس در اواخر فصل رشد، کاهش می‌یابد. این موضوع توسط پژوهشگران دیگر در مورد گندم نیز گزارش شد (Davidson & Campbell, 1984). شکل ۱۵ اثر کاربرد اسید هیومیک بر تغییرات سرعت رشد نسبی ذرت در طی مراحل رشد را نشان می‌دهد. میزان تغییرات سرعت رشد نسبی در اوایل دوره رشد (۴۵-۳۰ روز پس از کاشت) بالا ولی با گذشت زمان میزان تغییرات کاهش می‌یابد. کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش RGR در اوایل دوره رشد در مقایسه با شرایط شاهد شده است. در فاصله زمانی ۴۵-۶۰ روز پس از کاشت بیشترین اختلاف بین سطوح کاربرد اسید هیومیک و شاهد مشاهده

شد. در شرایط کاربرد اسید هیومیک، RGR به میزان ۴۰٪ نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۱۵).

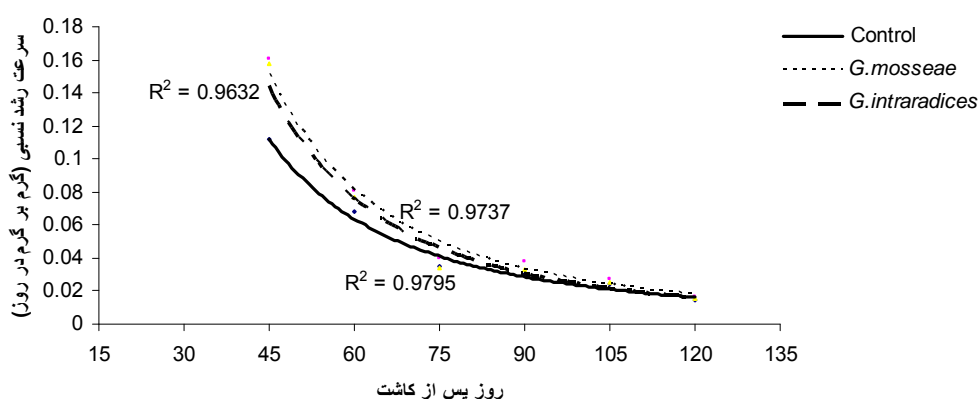
د) سرعت رشد محصول (CGR)

نتایج حاصل از تأثیر تنش کم آبی بر سرعت رشد محصول در طی دوره رشد در شکل ۱۶ نشان داده شده است. در مراحل ابتدایی رشد، بین سطوح مختلف تنش از نظر سرعت رشد محصول اختلاف چندانی وجود ندارد. بیشترین مقدار CGR در فاصله زمانی ۴۵-۶۰ روز پس از کاشت در شرایط بدون تنش (FC ۱۰۰٪) و کم‌ترین مقدار این شاخص در شرایط تنش شدید (FC ۳۳٪) به دست آمد. روند تغییرات سرعت رشد تا ۹۰ روز پس از کاشت افزایشی و پس از آن کاهشی است (شکل ۱۶). در فاصله زمانی ۹۰-۷۵ روز پس از کاشت، تنش کم آبی در شرایط FC ۶۶٪ و FC ۳۳٪، سرعت رشد گیاه را به ترتیب به مقدار ۲/۴۷٪ و ۲۱/۶۳٪ نسبت به شرایط FC ۱۰۰٪ کاهش می‌دهد. مطالعات نشان داده است که سرعت رشد محصول در هر گونه به طور معمول، به میزان دریافت تشعشع نور خورشید بستگی دارد. در پایان دوره رشد گیاه، به دلیل افزایش سایه‌اندازی برگ‌ها، تشعشع دریافتی و میزان فتوسنتز، مقدار CGR کاهش می‌یابد.

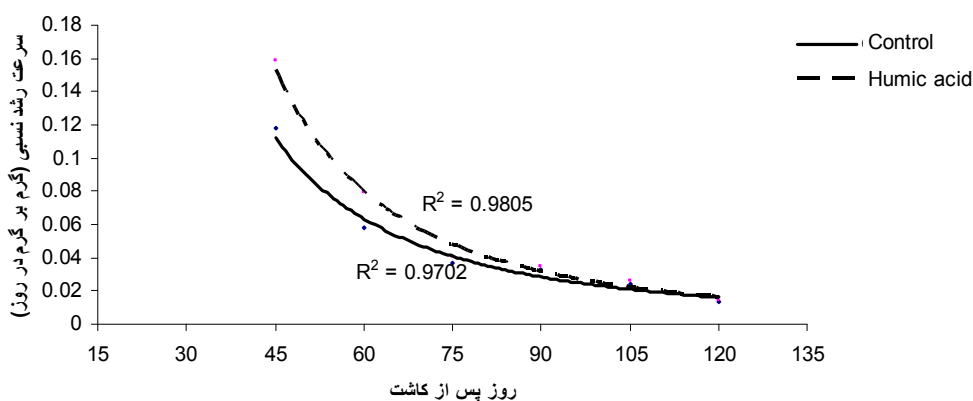
شکل ۱۷ تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر تغییرات سرعت رشد گیاه در طی فصل رشد را نشان می‌دهد. بیشترین اختلاف بین گونه‌های قارچ‌های میکوریزا و شاهد در فاصله زمانی ۶۰-۷۵ روز پس از کاشت دیده می‌شود. در این فاصله زمانی، گونه *G. intraradices* و *G. mosseae* به ترتیب موجب ۴۵/۸۴٪ و ۲۸/۷۲٪ افزایش در مقایسه با شاهد شدند. در ۹۰ روز پس از کاشت CGR به حداکثر مقدار خود در طول فصل رشد رسید. در فاصله زمانی ۹۰-۷۵ روز پس از کاشت، بیشترین مقدار شاخص CGR از گونه *G. mosseae* و کمترین مقدار از شاهد به دست آمد (به ترتیب ۵۴/۷۵ و ۴۲/۶۶ گرم بر متر مربع در روز). مقدار CGR با گذشت زمان تا مرحله گرده افشانی افزایش یافت و پس از رسیدن سرعت رشد محصول به حد نهایی خود، مقدار آن کاهش یافت. تلقیح با میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار CGR ذرت شد. افزایش سرعت رشد گیاه توسط قارچ‌های میکوریزا می‌تواند به علت‌های زیر باشد:



شکل ۱۳. تأثیر سطوح تنش کم آبی بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد.



شکل ۱۴. تأثیر سطوح قارچ‌های میکوریزا بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد.



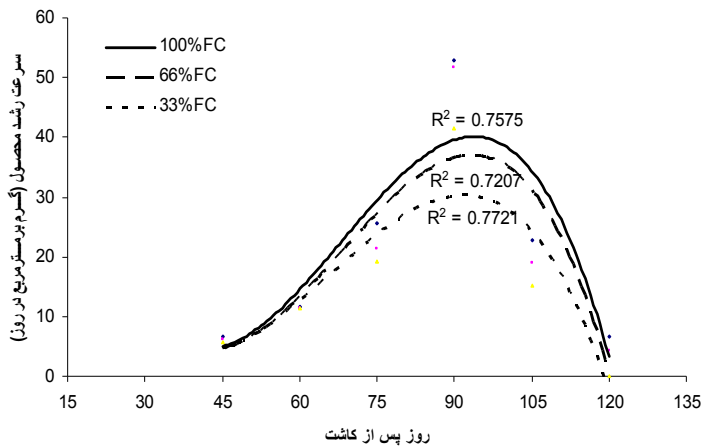
شکل ۱۵. تأثیر سطوح اسید هیومیک بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد.

۴) افزایش سطح فعال سیستم ریشه‌ای و جذب فسفر و سولفور در ذرت و شبدر قرمز (Astaraei & Koochaki, 1996, Brussard, & Ferrera-Cenato, 1997, Allen et al, 1980)

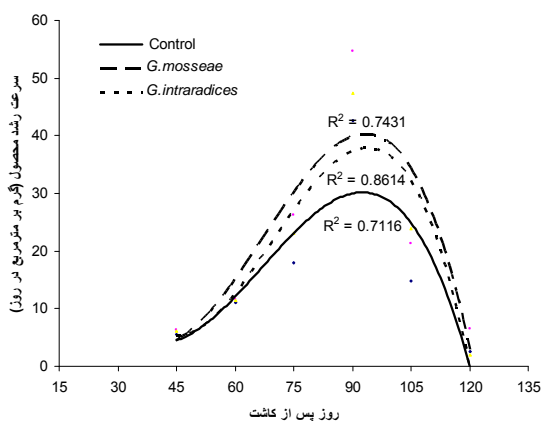
۱) بهبود جذب مواد غذایی توسط گیاه؛
 ۲) بهبود ساختار فیزیکی خاک و افزایش محتوای ماده آلی و نیتروژن قابل دسترس؛
 ۳) افزایش مقدار سیتوکنین و کلروفیل؛

فاصله زمانی ۴۵-۶۰ روز پس از کاشت در شرایط کاربرد اسید هیومیک به دست آمد (۱۱/۶۶ گرم بر متر مربع در روز). روند تغییرات سرعت رشد تا ۹۰ روز پس از کاشت افزایشی و پس از آن کاهش‌ی است (شکل ۱۸).

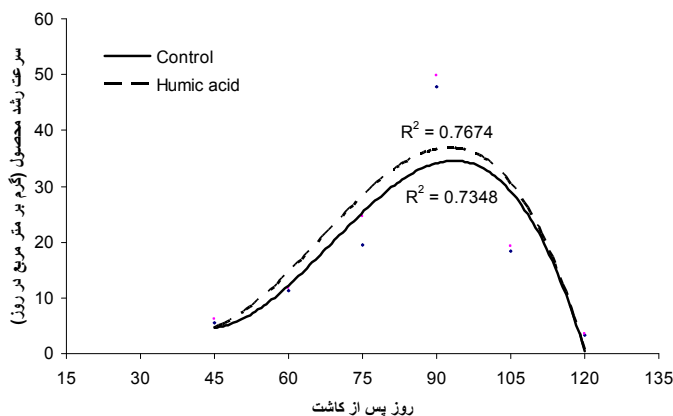
نتایج حاصل از تأثیر کاربرد اسید هیومیک بر سرعت رشد محصول در طی دوره رشد در شکل ۱۸ نشان داده شده است. در مراحل ابتدایی رشد، بین سطوح کاربرد اسید هیومیک و شاهد از نظر سرعت رشد محصول اختلاف چندانی وجود ندارد. بیشترین مقدار CGR در



شکل ۱۶. تأثیر سطوح تنش کم آبی بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول دوره رشد.



شکل ۱۷. تأثیر سطوح قارچ‌های میکوریزا بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول دوره رشد.



شکل ۱۸. تأثیر سطوح اسید هیومیک بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول دوره رشد.

نتیجه‌گیری

(۱) کاربرد میکوریزا و اسید هیومیک باعث افزایش کارایی مصرف آب و شاخص‌های رشد در ذرت می‌شود؛
 (۲) مقایسه دو گونه *G. intraradices* و *G. mosseae* نشان داد که گونه *G. mosseae* تأثیر بیشتری بر روی کارایی مصرف آب و شاخص‌های رشد در ذرت نسبت به گونه *G. intraradices* دارد؛
 (۳) استفاده از قارچ‌های میکوریزا تحت شرایط تنش کم آبی در مزرعه می‌تواند در افزایش کارایی مصرف آب مؤثر باشد.

بین فاصله زمانی ۷۵-۹۰ روز پس از کاشت، کاربرد اسید هیومیک سرعت رشد گیاه را به میزان ۴/۲۴٪ نسبت به شاهد افزایش داد. اسید هیومیک با کلات کردن عناصر ضروری، باعث افزایش جذب عناصر شده و باروری و تولید را در گیاهان افزایش می‌دهد (Khazaei et al, 2009)، که این امر می‌تواند در افزایش سرعت رشد محصول مؤثر باشد.

References

- Abo-Ghalia, H. H., & Khalafallah, A. A. (2008). Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. *Journal of Applied Sciences Research*, 4(5), 570-580.
- Acquaah, G. (2002). *Principals of Crop production (Theory, technical and technology)*. Prentice- Hall of India, New Delhi, PP: 460.
- Adani, F., Genevi, P., & Zocchi, G. (1998). The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 21, 561-575.
- Albuzio, A., Concheri, G., Nardi, S., & Dellagnola, G. (1994). Effect of humic fractions of different molecular size on the development of oat seedling grown in varied nutritional condition. In: Senesi, N, T, M, Mianom (eds). *Humic substances in the global environment and implications on human health. Elsevier Science, Amsterdam*, PP, 199-204.
- Allen, M. F., & Boosalis, M. G. (1983). Effect of two species vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on drought tolerance of winter wheat. *NewPhytopathol*, 93, 67-76.
- Allen, M., Moore, F., & Christensen, M. (1980). Phytohormone, changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular arbuscular mycorrhizae. I. cytokinin increase in the host plant. *Canadian Journal of Botany*, 58, 371-374.
- Aliabadi Farahani, H., Lebaschi, H., Hussein, M., Shiranirad, A., Valadabadi, A., & Daneshian, J. (2008). Effect 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.
- Amerian, M. R., Stewart, W. S., & Griffiths, H. (2001). Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth assimilation and leaf water relation in maize. *Aspect of Applied Biology*, 63, 73-76.
- Astaraei, A., & Koochaki, A. (1996). Application of biologic fertilizers in sustainable agriculture. *Jahad Daneshgahi Publication: Mashhad*. (in Farsi).
- Auge, R. M. (2001). Water relations, drought and VA mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, 3-42.
- Beltrano, J., & Ronco, M. G. (2008). Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Society of Plant Physiology*, 20(1), 29-37.
- Bethlenfalvay, G. J., Brown, M. S., Ames, R. N., & Thomas, R. S. (1988). Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Physiologiae Plantarum*, 72, 565-571.
- Bolandnazar, S., Aliasgarzad, N., Neishabury, M. R., & Chaparzadeh, N. (2007). Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use

- efficiency under water deficient condition. *Scientia Horticulturae*, 114, 11-15.
- Bronick, E. J., Lai, R. (2005). Soil structure and management : A review. *Geoderma*, 124, 3-22.
- Brussard, L., & Ferrera-Cenato, R. (1997). Soil ecology in sustainable agricultural systems. New York: Lewis Publishers, U.S.A, P. 168.
- Cakir, R. (2004). Effect of water Stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89, 1-16.
- Coelho, D. T., & Dale, R. F. (1980). An energy-crop growth variable and temperature function for prediction corn growth and development. planting to silking. *Agronomy Journal*, 72, 503-510.
- Davidson, H. R., & Campbell, C. A. (1984). Growth rates, harvest index and moisture use of manitu spring wheats influenced by nitrogen tempreture and moisture. *Canadian Journal Plant Sciencies*, 64, 825-839.
- Dursun, A., Guvenc, I., & Turan, M. (2002). Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. *Acta Agrobotanica*, 56, 81-88.
- Fitter, A. H. (1986). Effect of benomyl on leaf phosphorus concentration in alpine grasslads: A test of mycorrhizal benefit. *New Phytologist*, 103, 767-776.
- Ghazi, N., & Karaki, A. L. (1998). Benefit - cost and water use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. *Mycorrhizae*, 8, 41-45.
- Ghosh, P. K. (2004). Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field Crop Research*, 88, 227-237.
- Hajrasouliha, S., Behran, S., & Mokhtarzade, E. A. (1982). The application of fast measurement method for soil moisture in some Iranian soils. *Iranian Journal of Agriculture Sciences*, 13, 30-38, (in Farsi).
- Hay, R. K. M., & Walker, A. J. (1989). An introduction to the physiology of crop yield. Longman, Essen. GB, 292.
- Kaya , C., Higges, D., Kirnak, H., & Tas, I., (2003). Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in water melon (*Citrullus lanatus thumb*) grown under well watered and water stressed conditions. *Plant and Soil*, 253, 287-292.
- Khalvati, M. A., Mozafar, A., & Schmidhalter, V. (2005). Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart*, 7(6), 706-712.
- Khan, I. A ., Ahmad, S., & Mirza, S. (2003). Yield and water use efficiency of *Avena Sativa* as influenced by vesicular arbuscular mycorrhizae(VAM). *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(4), 371-373.
- Khazaei, H., Sabzevari, S., & Kafi, M. (2009). Effect of humic acid on root and shoot growth of wheat varieties Sayonz and Sabalan. *Journal of Water and Soil*. 23(2), 87-94, (in Farsi).
- Khoramdel, S., Koochaki. A., Nasiri Mahallati, M., & Ghorbani, R. (2008). Influence of biologic fertilizers on growth indices of *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Agricultural Researches*, 6(2), 285-294,(in Farsi).
- Liu, C., Cooper, R. J., & Bowman, D. C. (1996). Humic acid application affects photosynthesis, root development , and nutrient content of creeping bentgrass. *Hort Sciences*, 33(6): 1023-1025.
- Malcolm, R. E. & vaghuan, D. V. (1979). Humic substances and phosphatase activies in plant tissues. *Soil Biology Biochemistry*, 11, 253-259.
- Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J. M., & Azcon, R. (2007). Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought tolerant or drought-sensitive Glomus Species. *Microbial Ecology*, 54, 543-552.
- Mc Gonigle, T., Miller, M., & Swan, J. (1990). A new method that gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 115, 495-501.
- Miller, M. H. (2000). Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize: Areview of guelph studies. *Canadian Journal of Plant Scenceis*, 80, 47-52.
- Mosse, B. D., Stribley, P., & Letacon, F. (1981). Ecology of mycorrhizae and

- mycorrhizal fungi. *Advance Microbial Ecology*, 5, 137.
- Nagarathna, T. K., Prasad, T. G., Bagyaraj, D. J., & Shadakshar, Y. G. I. (2007). Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus levels on growth and water use efficiency in sunflower at different soil moisture stress. *Journal of Agricultural Technology*, 3(2), 221-229.
- Pinton, R., Cesco, S., Iacoletti, G., Astolfi, S., & Varanini, Z. (1999). Modulation of NO_3^- uptake by water extractable humic substances: Involvement of root plasma membrane H^+ ATPase. *Plant and Soil*, 215, 155-161.
- Ruiz-Lozano, J. M., & Azcon, R. (1995). Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. *Physiologia Plantarum*, 95, 472-478.
- Sharif, M., Khatkhat, R. A., & Sarir, M. S. (2002). Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33, 3567-3580.
- Sharma, A. K. (2002). Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India. 407 pp.
- Singer, M. J., Bissonais, L. Y. (1998). Importance of surface sealing in the erosion of some soils from a Mediterranean climate. *Geomorphology*, 24, 79-85.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (1997). Mycorrhizal symbiosis, 2nd ed. Academic press, New York.
- Song, H. (2005). Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Journal of Biological Chemistry*, 1, 44-48.
- Subramanian, K. S., & Charest, C. (1998). Arbuscular mycorrhizae and nitrogen assimilation in maize after drought and recovery. *Physiologia Plantarum*, 102, 285-296.
- Subramanian, K. S., Charest, C., Dwyer, L., & Hamilton, R. I. (1997). Effects of arbuscular mycorrhizae on leaf water potential sugar content and phosphorus content during drought and recovery of maize. *Canadian Journal of Botany*, 75, 1582-1591.
- Thakur, A. K., & Panwar, I. D. S. (1997). Response of rhizobium vesicular arbuscular mycorrhizal symbionts on photosynthesis, nitrogen metabolism and sucrose translocation in green gram (*Phaseolus radiatus*). *Indian Journal Agriculture Sciences*, 67(6), 245-248.
- Thomas, R. S., Dakessian, S., Ames, R. N., Brown, M. S., & Bethlenfalvay, G. J. (1986). Aggregation of a silty clay loam by mycorrhizal onion roots. *Soil Science Society of America Journal*, 50, 1494-1499.
- Valadabadi, S., Lebaschi, M., & Aliabadi farahani, H. (2009). Influence of AMF, P_2O_5 and irrigation interval on physiological indices of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Aromatic and Medicinal plants*, 25(3), 414-428, (in Farsi).

Effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition

1-Z. Shahhosseini, MSc. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, I.R. Iran.
zshahhoseiny@yahoo.com

2-Gholami, Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, I.R. Iran.

3-H. Asghari, Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, I.R. Iran.

Received: 04 Feb 2012

Accepted: 08 Aug 2012

Abstract

The effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize was studied at three water regimes. The research was carried out in a farm experiment using a split plot factorial based randomized complete block design with three replications. Main plot included three levels of under water deficit condition (100%FC, 66%FC, and 33%FC); and sub plot included two species of mycorrhizae (M1: *Glomus mosseae*, M2: *Glomus intraradices* and M0: non application of mycorrhizae) and two levels of humic acid. (application of humic acid (H1) non application of humic acid (H0)). Results showed that the application of arbuscular mycorrhizae, humic acid, and normal condition (no water deficit), increased leaf area index, crop growth rate, relative growth rate and total dry matter. The above mentioned characteristics were decreased under water deficit condition, non application of mycorrhizae and non application of humic acid. Application of mycorrhizae and humic acid significantly increased water use efficiency. The interaction effects of water deficit and mycorrhizae, was statistically significant. The highest water use efficiency (2-5 Kg/m³) occurred under water deficit condition (33% FC) and *Glomus mosseae* species. The lowest amount of water use efficiency (1.31 Kg/m³) observed with non application of mycorrhizae under normal condition (no water deficit).

Keywords: Maize; Arbuscular Mycorrhizae (AM); Humic acid; Water Use Efficiency; Growth indices; Water deficit condition.