

عملکرد و اجزای عملکرد دانه و محتوای نسبی آب در ذرت (*Zea mays L.*)

تحت تنش کمبود آب و دو گونه قارچ میکوریز

وحید نصراله زاده اصل^{۱*}، مهری یوسفی^۱، عزیزاله قاسمی^۲، علی بنده حق^۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۱

۱- گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران

۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز

۳- گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: Email: vnasrollah@yahoo.com

چکیده

اثرات دو گونه قارچ میکوریز بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه، ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب (RWC) و کلروفیل در ذرت سینگل کراس ۷۰۴ تحت تنش کم‌آبی، تحت آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقاتی مغان بررسی شد. تنش کمبود آب در دو سطح آبیاری عادی و قطع آبیاری قبل گلدهی به‌عنوان عامل اصلی و سه سطح قارچ میکوریز، شاهد یا بدون تلقیح، *Glomus mosseae* و *Glomus etunicatum* به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد تنش کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه، ارتفاع بوته، RWC و محتوای کلروفیل گردید. میزان کاهش عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه، RWC و شاخص کلروفیل در شرایط کمبود آب نسبت به شرایط آبیاری عادی به‌ترتیب حدود ۱۴، ۱۳، ۲۰ و ۱۳ درصد بود. قارچ میکوریز به‌طور معنی‌دار باعث تقویت صفات ارتفاع بوته، RWC و شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد گردید. اثر متقابل تنش کم‌آبی × قارچ میکوریز نیز فقط برای صفات عملکرد دانه و وزن صد دانه معنی‌دار بود. طوریکه بیشترین عملکرد دانه در واحد بوته (۱۹۳/۸ گرم) و وزن صد دانه در بوته (۳۶/۲ گرم) مربوط به گونه *G. mosseae* در شرایط آبیاری عادی بود. گونه‌های قارچ میکوریز باعث تقویت عملکرد دانه، ارتفاع بوته، RWC و شاخص کلروفیل گیاه ذرت شدند. براساس نتایج این تحقیق استفاده از گونه *G. mosseae* برای تقویت عملکرد دانه و افزایش فتوسنتز تحت شرایط تنش کم‌آبی در ذرت مناسب به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: تنش کمبود آب، ذرت، عملکرد، محتوای کلروفیل، میکوریز

Grain Yield, Yield Components and Relative Water Content in Maize (*Zea mays* L.) under Water Deficit Stress and two Mycorrhizal Fungi

Vahid Nasrollahzade asl^{1*}, Mehri Yusefi¹, Azizolah Ghosemi², Ali Bandehhagh³

Received: April 10, 2017 Accepted: August 22, 2017

1-Dept. of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2-Young Researchers and Elite club, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

3-Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: Email: vnasrollah@yahoo.com

Abstract

The effects of two mycorrhizal fungi species on grain yield, yield components, relative water content (RWC) and chlorophyll content in maize (SC₇₀₄) under water deficit stress, under field experiment was assessed out as a split plot design with four replications in 2016 at Moghan Research Station. Water stress treatments included commonly available irrigation water referred to as control and the interrupted irrigation before flowering as the main plot, and two different mycorrhiza species, including *Glomus mosseae* and *Glomus etunicatum* and also a control (without any inoculation) as sub plots. Results showed that water stress significantly decreased grain yield, yield components, relative water content (RWC) and chlorophyll content. The applied water deficit stress reduced grain yield, yield components, RWC and chlorophyll content about 14, 13, 20 and 13 percent, respectively. Mycorrhizal fungi increased plant height, RWC and chlorophyll content in maize. Interaction between water stress and strains of mycorrhiza had only an impact on grain yield and 100-seed weight. The maximum grain yield and 100-seed weight were recorded in plots irrigated in normal condition and inoculated with *G. mosseae* species on control irrigation. Based on the results of this study, for enhancing grain yield and chlorophyll content using mycorrhizal fungi especially, *G. mosseae* species was recommended.

Keywords: Chlorophyll Content, Maize, Mycorrhiza, Yield, Water Deficit Stress

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) از مهم‌ترین گیاهان زراعی بوده و بعد از گندم و برنج مقام سوم را در بین غلات دارد. خشکی یکی از عوامل محدود کننده تولید در گیاهان زراعی از جمله ذرت می‌باشد. اثرات زیان آور خشکی،

بطور کلی در سلول‌ها و بافت‌هایی که در مراحل رشد و توسعه سریع هستند، بیشتر مشخص است. به‌عنوان مثال، تنش آب در زمان گرده افشانی ذرت باعث لقاح تعداد کم و یا عدم تلقیح تخمک‌ها شده و در نتیجه دانه‌ای تولید نخواهد شد (مکومی و همکاران ۲۰۱۱). در بررسی

(طاهری و فتحی ۲۰۱۶). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، یکی از انواع کودهای زیستی بوده و جزء اصلی فلور محیط ریشه گیاهان در بوم نظام‌های طبیعی می‌باشند (پانوار و طرفدار ۲۰۰۶). مطالعات انجام شده نشان داده است که استفاده از قارچ میکوریز، موجب افزایش رشد رویش گیاهان در شرایط تنش خشکی نسبت به گیاهان بدون قارچ می‌شود (جیمز و همکاران ۲۰۰۸) حیدری و کرمی (۲۰۱۳) گزارش کردند که در بالاترین سطح تنش خشکی استفاده از قارچ میکوریز بیشترین اثر را بر عملکرد دانه گیاه آفتابگردان داشت. افزایش فتوسنتز گیاه توسط قارچ‌های میکوریز توسط کوپتا و همکاران (۲۰۰۶) به اثبات رسیده است. شواهد بسیار زیادی وجود دارد که گیاهان می‌توانند سرعت فتوسنتز خود را افزایش دهند تا نیازهای همزیست خود را تامین نمایند. این عمل از طریق افزایش سطح برگ و افزایش مقدار تثبیت دی‌اکسید کربن به ازای واحد وزن برگ انجام می‌گیرد. گیاهان میکوریزی در دوره‌های خشکی بهتر از گیاهان غیر میکوریزی دی‌اکسید کربن را جذب می‌نمایند (لطفی و همکاران ۲۰۱۶).

این آزمایش با هدف بررسی اثر همزیستی دو گونه قارچ میکوریز بر ارتفاع بوته، عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه، محتوای نسبی آب (RWC) و شاخص محتوای کلروفیل در سینگل کراس ۷۰۴ ذرت تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در فصل زراعی ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان واقع در استان اردبیل (بین ۳۹ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۴۵ تا ۵۰ متر از سطح دریای آزاد) اجرا شد. براساس آمار آب و هوایی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پارس آباد، این منطقه جزء اقلیم نیمه بیابانی خفیف بوده، دارای زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم می‌باشد. بیشینه دما با متوسط ۳۱/۴ درجه

هاگ و داویدس (۲۰۰۳) تنش آبی ملایم و شدید عملکرد دانه هیبریدهای ذرت مورد مطالعه را به ترتیب ۶۳ و ۸۵ درصد کاهش داد. قبادی و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که با افزایش تنش آبی، تعداد دانه در هر بلال کاهش و کمترین تعداد دانه در بلال (۴۰۳/۲) دانه در بلال) به تیمار تنش شدید رطوبتی تعلق داشت. تنش رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار وزن صد دانه گردید و بیشترین و کمترین وزن صد دانه به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری مطلوب و تنش شدید رطوبتی بود. در شرایط تنش کم آبی، رشد زایشی گیاه وابسته به ذخایر برگ و ساقه بوده و عدم تشکیل مناسب دانه به دلیل ناکافی بودن مواد فتوسنتزی در زمان گرده افشانی، پر شدن دانه و یا پیش از آن می‌باشد (ربانی و امام ۲۰۱۲).

یکی از مباحث نوین کشاورزی پایدار در مدیریت منابع خاک، بررسی موجودات خاکزی و روابط همزیستی متقابل مفید بین اجزای اکوسیستم در زنجیره-های غذایی و چرخه حیاتی است. با توجه به اینکه در اکثر موارد، کمیت و کیفیت ارگانسیم‌های خاکزی در حد مطلوب نیست، کودهای زیستی به‌منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تولید شده‌اند (طاهری و فتحی ۲۰۱۶). وجود رابطه‌ی متقابل میان گیاهان و میکروارگانسیم‌های خاک، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ساختار خاک، چرخه‌ی زیستی عناصر غذایی، رشد گیاه و سازگاری آن با تغییرات محیط دارد (نظارت و غلامی ۲۰۰۹). وو و همکاران (۲۰۰۵) در بین میکروارگانسیم-های خاک اظهار کردند که به آن دسته از باکتری‌های ریزوسفری که فعالیت آن‌ها بر رشد و تغذیه گیاه تأثیر مثبتی داشته و می‌توانند تضمین کننده سلامت گیاه و حاصلخیزی خاک باشند، باکتری‌های محرک رشد گیاه اطلاق می‌گردد. افزایش رو به رشد جمعیت و مشکلات اقتصادی ناشی از هزینه کودهای شیمیایی از یک سو و مسایل زیست محیطی به دلیل مصرف بی‌رویه این کودها، سبب شد که تفکر استفاده از شیوه‌های زیستی تثبیت عناصر برای تقویت رشد گیاهان را تقویت کند

خطوط کاشت، تراکم کشت در حدود ۷۵ هزار بوته در هکتار بود. عملیات تهیه بستر شامل شخم برگردان، رتیواتور، دیسک و تسطیح بهاره بود. قبل از کاشت، معادل ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره که نیمی از آن قبل از کاشت و مابقی در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی به عنوان کود سرک توزیع شد و سپس آبیاری صورت گرفت. برداشت محصول پس از حذف دو ردیف کناری هر کرت و ۲۵ سانتی متر از ابتدا و انتهای هر خط کاشت به عنوان حاشیه، فقط از دو خط وسط هر کرت به مساحت ۸/۶۴ متر مربع انجام شد. گونه‌های قارچ میکوریزی مورد استفاده در این تحقیق از کلینیک گیاهپزشکی ارگانیک اسد آباد همدان تهیه شد. به طوری که بر اساس توصیه این کلینیک قبل از کاشت حدود پنج گرم از قارچ میکوریزا به ازای هر بذر در حفره کاشت بذور، در عمق سه تا چهار سانتیمتری قرار داده شد

سلسیوس در مرداد ماه و کمینه دما متوسط ۱/۴ درجه سلسیوس در دی ماه ثبت شده و متوسط بارندگی سالیانه منطقه مورد مطالعه نیز ۳۸۹/۵ میلی متر گزارش شده است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به صورت کرت خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی شامل آبیاری در دو سطح آبیاری بهینه و قطع در مرحله قبل گلدهی (دیرپرا و همکاران ۲۰۰۸) و فاکتور فرعی در سه سطح از قارچ میکوریز (بدون تلقیح، *Glomus etunicatum* و *Glomus mosseae*) بود. گیاه مورد آزمایش ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به فاصله ۷۵ سانتی متر و به طول ۵/۷۶ متر بود که در روی هر خط، ۳۲ بوته به فاصله ۱۸ سانتی متر به صورت دستی کاشته شد. با احتساب ۷۵ سانتی متر فاصله

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	شن (درصد)	سلیت (درصد)	رس (درصد)	pH خاک	درصد رطوبت اشباع	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	نیتروژن کل (درصد)	ماده آلی (درصد)
لومی رسی	۱۷	۴۲	۴۱	۸	۴۶	۳۰	۴۴۸/۴	۰/۸	۱/۴

محتوای نسبی آب (RWC)

بعد از اتمام تنش کمبود آب از هر ردیف یک بوته انتخاب و برگ‌های کامل بوته جدا شدند و وزن تر دیسک‌های برگ با ترازوی حساس تعیین گردید. سپس برگ‌ها در آب دیونیزه و ظرف پتری و فرمول زیر به دست آمد:

$$RWC = 100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن تورمی}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})$$

ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نمونه برداری در انتهای فصل رشد (بعد از اعمال تنش کم‌آبی) و رسیدگی فیزیولوژیکی برای اندازه‌گیری عملکرد، اجزای عملکرد و ارتفاع بوته ذرت انجام شد. برای نمونه برداری در کلیه کرت‌ها با حذف دو ردیف

شاخص محتوای کلروفیل

بعد از اتمام تنش کمبود آب از هر ردیف یک بوته انتخاب و از جوان‌ترین و کامل‌ترین برگ برای اندازه‌گیری کلروفیل برگ از دستگاه SPAD-502 (KONICA MINOLTA) استفاده گردید.

میزان محتوای آب نسبی گیاه ذرت مورد مطالعه گردید طوری که این میزان کاهش RWC نسبت به شرایط آبیاری عادی حدود ۲۰ درصد بود. مقایسه میانگین تیمار قارچی نشان داد که بیشترین تاثیر معنی دار روی RWC مربوط به گونه قارچ میکوریز *G. mosseae* در سینگل کراس ۷۰۴ بود (شکل ۱). وجود هیفهای قارچی سبب می‌گردد که سطح جذب ریشه‌ها در گیاهان تلقیح شده با قارچ نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافته و این افزایش به نوبه خود محتوای نسبی آب گیاهان تلقیح شده را افزایش دهد. قبولی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثر قارچ شبه میکوریز روی برنج تحت تنش کمبود آب اظهار کردند صفت RWC تحت تنش کم‌آبی کاهش معنی‌داری داشت ولی تلقیح قارچ میکوریز باعث افزایش درصد RWC نسبت به شرایط تنش کمبود آب شد. میرشکاری (۲۰۱۶) با بررسی اثر سویه‌های مختلف قارچ میکوریز تحت تنش کم‌آبی بیان کرد که تنش کمبود آب به‌طور معنی‌دار باعث کاهش صفت RWC می‌شود. ایشان همچنین اظهار کردند که قارچ میکوریز باعث تقویت میزان درصد RWC می‌شود همچنین از بین گونه‌های قارچی میکوریز مورد استفاده بیشترین تاثیر معنی‌دار روی صفت RWC مربوط به گونه *G. mosseae* بود، که با نتایج حاضر مطابقت دارد.

کناری و حذف نیم متر از ابتدا و انتهای سه ردیف وسط، از سطحی معادل ۴/۵ متر مربع بوته‌های ذرت به صورت کف بر برداشت و تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی جهت اندازه‌گیری صفات عملکرد دانه، اجزای عملکرد شامل وزن هزار دانه، طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و تعداد ردیف دانه در بلال بوته انتخاب شد.

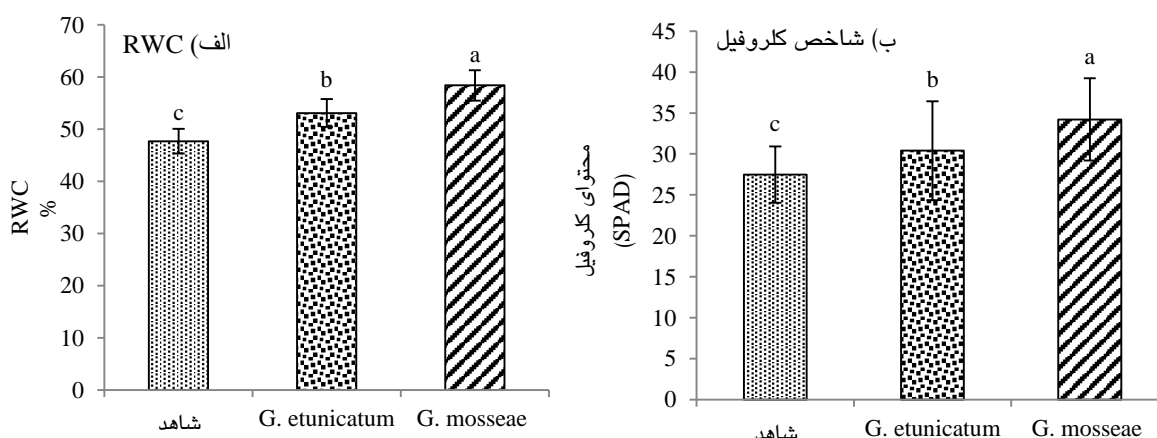
تجزیه‌های آماری

نرمال بودن داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری شده توسط تست کولموگروف-اسمیرنوف مورد آزمون قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 16.0 انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Microsoft Excel 2010 انجام گرفت.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب (RWC)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات تنش کمبود آب و قارچ میکوریز بر RWC در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل تنش × قارچ میکوریز بر صفت RWC معنی‌دار نبود (جدول ۲). تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش



شکل ۱- (الف) میانگین RWC و (ب) میانگین شاخص کلروفیل برگ سینگل کراس ۷۰۴ در گونه‌های قارچ میکوریز ستون‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند.

شاخص محتوای کلروفیل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات تنش کمبود آب و قارچ میکوریز بر شاخص محتوای کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است اثر متقابل تنش \times قارچ میکوریز بر صفت شاخص محتوای کلروفیل معنی‌دار نبود (جدول ۲). تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش معنی‌دار میزان شاخص محتوای کلروفیل گیاه نرت مورد مطالعه گردید (جدول ۳). میزان کاهش شاخص محتوای کلروفیل در شرایط تنش کمبود آب نسبت به شرایط آبیاری عادی حدود ۱۳ درصد بود. مقایسه میانگین تیمار قارچی نشان داد که بیشترین تاثیر معنی‌دار روی شاخص محتوای کلروفیل مربوط به گونه قارچ میکوریز *G. mosseae* در سینگل کراس ۷۰۴ بود (شکل ۱).

محدودیت محتوای آب در خاک موجب یک سری واکنش‌هایی در گیاهان نظیر بسته شدن روزنه‌ها می‌شود که منجر به کاهش شدید جذب CO_2 و به دنبال آن کاهش در تولید مواد فتوسنتزی از جمله ATP و NADPH و محدودیت تثبیت CO_2 در گیاهان می‌شود. همچنین فقدان آب در محیط‌های رشد باعث کاهش انتشار عناصر غذایی در خاک شده که مهم‌ترین

اثر زیان بخش بر رشد گیاهان دارد (بینابدلاها و همکاران ۲۰۱۱). محدودیت جذب و ساخت CO_2 از طریق بسته شدن روزنه‌ها به گیاه تحمیل شده که ممکن است عدم تعادلی بین فعالیت فتوشیمیایی در فتوسیستم II و نیاز الکترون برای فتوسنتز ایجاد کند، که منجر به بیش‌برانگیختگی و بازدارندگی نوری مراکز فتوسیستم می‌شود (سوزا و همکاران ۲۰۰۴). همزیستی میکوریز با ریشه گیاه جذب فسفر را بهبود می‌بخشد (بومسما و وین ۲۰۰۸). در فتوسنتز، فسفر برای تأمین انرژی (ATP و NADPH) مصرف شده، که در بازسازی گیرنده CO_2 مشارکت دارد (زلاتیو و لیدون ۲۰۱۲). وقتی گیاهان در شرایط کافی یا کمبود متوسط فسفر رشد می‌کنند، فتوسنتز برگ، توسط ATP در دسترس یا فعالیت روبیسکو محدود نمی‌شود، بنابراین افزایش اندام‌های مخزن، سرعت خروج تریوزفسفات را تحریک می‌کند، این عمل چرخه‌های مجدد ارتوفسفات (Pi) را به سمت کلروپلاست‌ها تقویت کرده و آنزیم‌های تنظیم کننده فتوسنتز را تحریک می‌کند (زلاتیو و لیدون ۲۰۱۲). نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج مطالعات نقاش‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) و کاسچوک و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اجزای عملکرد دانه، ارتفاع بوته، RWC و کلروفیل تحت

تاثیر تنش کمبود آب

شرایط	طول بلال (cm)	تعداد ردیف دانه در بلال	تعداد دانه در ردیف بلال	ارتفاع بوته (cm)	RWC (%)	کلروفیل (SPAD)
آبیاری عادی	۵۳/۲۷ ^a	۱۸/۵۰ ^a	۴۲/۵۰ ^a	۱۸۷/۱۱ ^a	۵۹/۹۳ ^a	۳۱/۴۸ ^a
تنش کم‌آبی	۴۶/۱۷ ^b	۱۶/۴۴ ^b	۳۷/۳۴ ^b	۱۵۵/۳۰ ^b	۴۵/۰۷ ^b	۲۷/۴۳ ^b

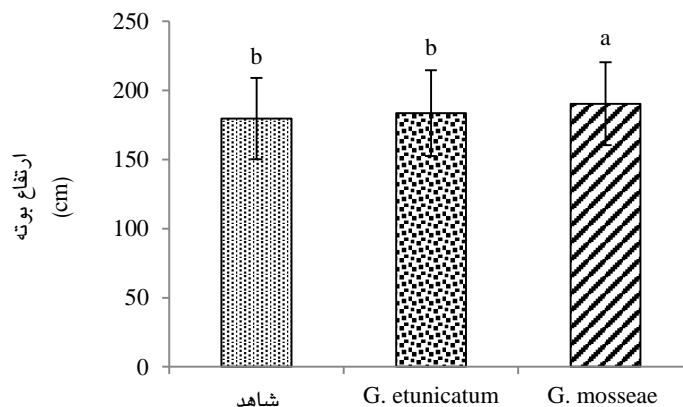
اختلاف بین اعداد هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک، معنی‌دار نمی‌باشند.

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات تنش کمبود آب و قارچ میکوریز بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۲). اثر متقابل تنش × قارچ میکوریز بر صفت ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جدول ۲). تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش ارتفاع بوته سینگل کراس ۷۰۴ در این مطالعه شد. به طوری‌که این میزان کاهش نسبت به شرایط آبیاری عادی حدود ۱۷ درصد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریز برای ارتفاع بوته نشان داد که گونه قارچ میکوریز *G. mosseae* بیشترین تاثیر را روی صفت ارتفاع بوته داشت (شکل ۲).

با اینکه ارتفاع بوته بیشتر تحت تاثیر خصوصیات ژنتیکی گیاه قرار دارد اما تنش خشکی به‌خصوص در مراحل رشد رویشی می‌تواند ارتفاع بوته را

تحت اثر قرار دهد. احتمالاً افزایش تنش خشکی سبب می‌گردد که رقابت برای آب بین بوته‌ها زیاد گردد، لذا گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به ریشه اختصاص می‌دهد در نتیجه مواد فتوسنتزی کمتری به بخش هوایی از جمله ساقه رسیده که این امر باعث کاهش ارتفاع بوته می‌گردد (ریبات و همکاران ۲۰۱۲). همچنین مشاهده شده است که مایه‌زنی قارچ میکوریزا باعث تغییرات وسیع شاخص‌های مورفولوژیکی ریشه به‌ویژه افزایش ریشه‌های جانبی می‌شود (بومسما و وین ۲۰۰۸) در نتیجه با افزایش رشد ریشه، آب و مواد غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و این امر موجب بهبود رشد و ارتفاع بوته می‌گردد. به‌طور کلی مایه‌زنی قارچ میکوریز *G. mosseae* و گونه *G. etunicatum* نسبت به عدم مایه‌زنی، ارتفاع بوته را به ترتیب به میزان ۲۸ و ۲۰ درصد افزایش داد (قلی‌نژاد ۲۰۱۶).



شکل ۲- میانگین ارتفاع بوته سینگل کراس ۷۰۴ در گونه‌های قارچ میکوریز

ستون‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند.

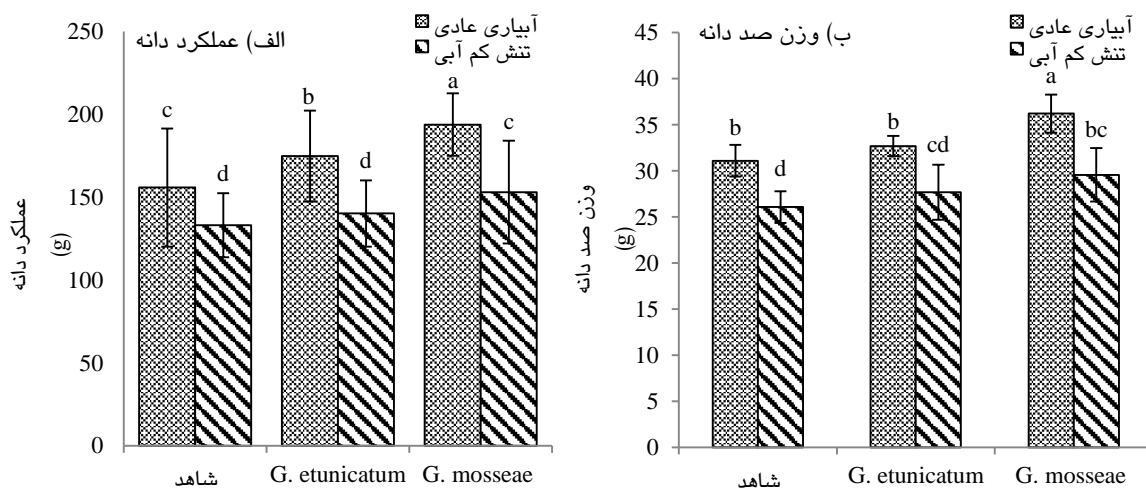
عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کمبود آب بر عملکرد دانه، وزن صد دانه، طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر قارچ میکوریز فقط بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود همچنین اثر متقابل تنش × قارچ میکوریز بر صفت عملکرد دانه و وزن صد دانه در سطح احتمال پنج درصد

معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد دانه سینگل کراس ۷۰۴ شد. طوری‌که این میزان کاهش نسبت به شرایط آبیاری عادی برای عملکرد دانه، وزن صد دانه، طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال به ترتیب ۱۴/۰۲، ۱۶/۵۱، ۱۳/۳۳، ۱۱/۱۴ و ۱۲/۱۳ درصد بود (جدول ۳).

قارچ میکوریزا، افزایش عملکرد دانه مشاهده شد. طوریکه بیشترین و کمترین عملکرد دانه در واحد بوته به ترتیب مربوط به تیمار *G. mosseae* در شرایط آبیاری عادی و بدون کاربرد قارچ در شرایط تنش کم آبی بود (شکل ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش × قارچ میکوریزا برای وزن صد دانه نشان داد که قارچ میکوریزا به طور معنی دار باعث تقویت وزن صد دانه و مانع از کاهش بیشتر عملکرد دانه تحت تنش کم آبی در این رقم شد (شکل ۳). هر دو گونه قارچ میکوریزا تاثیر یکسانی روی وزن صد دانه داشتند و *G. etunicatum* و *G. mosseae* نسبت به شرایط تنش آبی به ترتیب ۹/۶۵ و ۱۰ درصد مانع از کاهش وزن صد دانه شد.

مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تنش × قارچ میکوریزا برای عملکرد دانه نشان داد که قارچ میکوریزا به طور معنی دار باعث تقویت عملکرد دانه و مانع از کاهش بیشتر عملکرد دانه تحت تنش کم آبی نسبت به عدم کاربرد قارچ در سینگل کراس ۷۰۴ شد (شکل ۳). از بین قارچ میکوریزا، *G. mosseae* بیشترین تاثیر را نسبت به گونه *G. etunicatum* روی عملکرد دانه سینگل کراس ۷۰۴ داشت. گونه های قارچ میکوریزا *G. etunicatum* و *G. mosseae* نسبت به شرایط تنش آبی به ترتیب ۱۰/۴۵ و ۱۶/۲۳ درصد مانع از کاهش عملکرد دانه در سینگل کراس ۷۰۴ شد. این نتایج حاکی از تاثیر مثبت روی عملکرد دانه سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش کمبود آب داشت. همچنین در شرایط عدم تنش کم آبی نیز با کاربرد



شکل ۳- (الف) میانگین عملکرد دانه در واحد بوته و (ب) میانگین وزن صد دانه سینگل کراس ۷۰۴ در گونه های قارچ میکوریزا تحت شرایط آبیاری عادی و تنش کم آبی

ستون های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون مقایسه میانگین ها فاقد اختلاف آماری معنی دار می باشند.

درصد در مقایسه با شاهد کاهش داشت. کاهش معنی دار وزن هزار دانه در تیمار تنش آبی در مرحله پر شدن دانه را می توان به تولید دانه های چروکیده با وزن کمتر نسبت داد (کامان و همکاران ۲۰۱۱). محرم نژاد و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثر تنش کم آبی روی صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه در سه هیبرید ذرت بیان کردند که

قورچیانی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی تاثیر تنش کمبود آب بر خصوصیات بلال ذرت اظهار کردند که تنش ملایم نسبت به شرایط آبیاری عادی عملکرد دانه، تعداد کل دانه در بلال و طول بلال را به ترتیب به میزان ۱۸/۸۲، ۲۳/۷۵ و ۱۹/۴۰ درصد کاهش داد. یان و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که عملکرد دانه حدود ۱۸

افزایش ظرفیت فتوسنتزی، می‌تواند با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن عملکرد دانه ذرت را بهبود ببخشد (بومسما و وین ۲۰۰۸). بسیاری از محققین اذعان داشتند که ژنوتیپ‌هایی از ذرت که در دوره پر شدن دانه سطح برگ سبز بیشتری را برای مدت طولانی‌تری حفظ می‌کنند، می‌توانند انرژی خورشیدی بیشتری جذب کنند (بومسما و وین ۲۰۰۸؛ اکبری و همکاران ۲۰۱۲)، در نتیجه توانایی بیشتری نیز در پر کردن دانه‌های در حال نمو در حضور تنش رطوبتی دارند. بعلاوه به نظر می‌رسد که تأخیر در پیری برگ نیز همبستگی مثبتی را با عملکرد دانه تحت شرایط تنش رطوبتی داشته باشد (ریبات و همکاران ۲۰۱۲). از این رو به نظر می‌رسد افزایش عملکرد دانه در تیمارهای واجد قارچ میکوریز نسبت به شاهد در شرایط کم آبیاری توسط بهبود سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی به دلیل افزایش جذب فسفر، افزایش جذب آب و همچنین تعدیل شرایط تنش رطوبتی بوده است (بومسما و وین ۲۰۰۸). گزارش‌های زیادی وجود دارند که تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریزی رشد و مقدار جذب مواد غذایی را در گیاه افزایش می‌دهد و به دنبال آن مقاومت به تنش‌های محیطی و بیماری‌ها و همچنین عملکرد آن‌ها افزایش یافته است (پارس و همکاران ۲۰۰۹؛ حیدری و کرمی ۲۰۱۳). وینتیرهالتیر و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشت که طول بلال، وزن بلال، وزن چوب بلال و قطر بلال گیاهان کلنیزه شده با قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به گیاهان کلنیزه نشده با قارچ بیشتر است. قورچیانی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی اثر قارچ میکوریز در خصوصیات بلال تحت شرایط تنش کمبود آب عنوان نمودند اثر متقابل تنش × گونه‌های قارچ فقط برای صفات عملکرد دانه و وزن خشک بلال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بنابر گزارش ایشان، قارچ میکوریز بطور معنی‌دار مانع کاهش بیشتر وزن عملکرد دانه ذرت تحت تنش کم-آبی شد. با بررسی تاثیر دو گونه قارچ میکوریز (*G. mosseae* و *G. etunicatum*) روی گیاه آفتابگردان

میزان کاهش عملکرد دانه، وزن صد دانه، طول بلال و قطر بلال در شرایط کم‌آبی نسبت شرایط آبیاری عادی به ترتیب ۴۵/۵۵، ۱۵/۱۴، ۱۴/۴۴ و ۱۷/۹۴ درصد بود. شیری و بهرامپور (۲۰۱۶) در بررسی اثر تنش کمبود آب در هیبریدهای ذرت طی دو سال زراعی عنوان کردند که تنش کم‌آبی در هیبریدهای ذرت به‌طور معنی‌دار باعث کاهش عملکرد دانه شد. کاهش تعداد دانه، به دلیل کاهش ظرفیت مقصد فیزیولوژیک، اثر مستقیم بر عملکرد دانه داشته و تنش آبی طی مرحله گلدهی موجب افت شدید در تعداد دانه خواهد شد. در هیبریدهای مقاوم، با خروج سریع کاکل‌ها، همزمانی ظهور دانه‌ها گرده با پیدایش کاکل‌ها و باروری زیادتر دانه‌ها، میزان کچلی در بلال کاهش و در نتیجه، در شرایط تنش آبی، تعداد دانه در ردیف بلال افت کمتری می‌یابد (ریبات و همکاران ۲۰۱۲). ویژگی‌های بلال رابطه مستقیمی با عملکرد دانه ذرت دارد، دلیل کاهش اجزای بلال در تیمار تنش رطوبتی، عدم وقوع حداکثر پتانسیل رشدی بلال‌ها به‌علت تأخیر در مرحله رشد بلال و کاهش مواد پرورده جهت رشد بلال می‌باشد. نتایج تحقیقات انجام شده بر روی ذرت نشان داده که افزایش فواصل آبیاری به لحاظ اثر منفی بر تلقیح و پر شدن دانه‌ها موجب افزایش طول کچلی بلال می‌گردد که بروز ناهنجاری‌هایی چون افزایش فاصله زمانی گرده افشانی و ظهور ابریشم‌ها، عدم پذیرش دانه‌های گرده توسط ابریشم‌ها به لحاظ محتوای رطوبت کم آن‌ها و عدم تکامل ابریشم‌ها دلایل اصلی عدم لقاح و پر نشدن دانه‌ها و افزایش طول کچلی انتهایی بلال در شرایط تنش خشکی می‌باشند (ریبات و همکاران ۲۰۱۲).

قارچ میکوریز جذب عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر و عناصر کم مصرف نظیر روی و مس را بهبود می‌بخشد و باعث تحریک رشد و کاهش اثرات تنش‌های محیطی روی گیاه میزبان می‌شود و از طریق افزایش زیاده با فراهم کردن عناصر غذایی توسط هیف‌ها و یا بهبود رشد ریشه و همچنین افزایش آسیمیلایون مواد فتوسنتزی در ساقه به دلیل افزایش سطح برگ و در نتیجه

آبیاری عادی برای عملکرد دانه، وزن صد دانه، طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، ارتفاع بوته، RWC و محتوای کلروفیل به ترتیب ۱۶/۵۱، ۱۴/۰۲، ۱۳/۳۳، ۱۱/۱۴، ۱۲/۱۳، ۱۷، ۲۰ و ۱۳ درصد بود. گونه‌های مختلف قارچ میکوریز به‌طور معنی‌دار باعث تقویت صفات زراعی و فیزیولوژی مورد مطالعه در این پژوهش شد. حضور گونه‌های قارچ میکوریز *G. etunicatum* و *G. mosseae* در تنش رطوبتی نسبت به تیمار فاقد قارچ به ترتیب ۱۰/۴۵ و ۱۶/۲۳ درصد افزایش عملکرد دانه در سینگل کراس ۷۰۴ را در پی داشت. یعنی باعث تقویت عملکرد دانه و صفات مرتبط با عملکرد دانه در سینگل کراس ۷۰۴ در این مطالعه شد. طوریکه گونه *G. mosseae* بیشترین تاثیر معنی‌دار نسبت به گونه *G. etunicatum* تحت تنش کمبود آب داشت.

(حیدری و کرمی ۲۰۱۳) و گیاه ذرت (اکبری و همکاران ۲۰۱۲) تحت شرایط تنش کمبود آب مشخص شد که استفاده از قارچ میکوریز در شرایط تنش باعث تقویت گیاه شده و مانع از کاهش بیشتر عملکرد دانه در شرایط تنش کمبود آب می‌شود همچنین تاثیر مثبت و معنی‌دار گونه *G. mosseae* بیشتر از *G. etunicatum* تحت شرایط تنش کمبود آب گزارش شده است (اکبری و همکاران ۲۰۱۲؛ حیدری و کرمی ۲۰۱۳) کردند. که با نتایج حاضر مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

تنش کمبود آب به‌طور معنی‌دار باعث کاهش عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه، ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب (RWC) و محتوای کلروفیل در سینگل کراس ۷۰۴ شد. طوریکه این میزان کاهش نسبت به شرایط

منابع مورد استفاده

- Akbari G, Ghorchiani M, Alikhani HA, Allahdadi I and Zarei M, 2012. Effect of biological and chemical phosphate fertilizers on growth indices and grain yield of maize under deficit irrigation conditions in Karaj region. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22: 51-67. (In Persian).
- Benabdellah K, Abbas Y, Abourouh M, Aroca R and Azcon R, 2011. Influence of two bacterial isolates from degraded and non-degraded soils and arbuscular mycorrhizae fungi isolated from semi-arid zone on the growth of *Trifolium repens* under drought conditions: Mechanisms related to bacterial effectiveness. *European Journal of Soil Biology* 47: 303-309.
- Boomsma CR and Vyn TJ, 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, 108:14-31.
- Copetta A, Lingua G and Berta G, 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. *Mycorrhiza*. 16: 485-494.
- Derera J, Tongoona P, Vivek BS and Laing MD, 2008. Gene action controlling grain yield and secondary traits in southern African maize hybrids under drought and non-drought environments. *Euphytica*, 162: 411-422.
- Ghabooli M, Hosseini Salekdeh G and Sepehri M, 2015. The effect of mycorrhiza-like fungus *Piriformospora indica* on some morphophysiological traits of rice under normal and drought stress conditions. *Plant Production Technology*, 15: 59-89. (In Persian).
- Ghobadi R, Shirkhani A and Jalilian A, 2015. Effects of water stress and nitrogen fertilizer on yield, its components, water and nitrogen use efficiency of corn (*Zea mays* L.) cv. SC. 704. *Agronomy Journal*, 104: 79-87. (In Persian).
- Gholinezhad E, 2016. Effects of different irrigation levels and arbuscular mycorrhizal fungi on morphological traits and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26: 83-95. (In Persian).

- Ghorchiani M, Akbari G, Alikhani HA, Allahdadi I and Zarei M, 2012. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungus, plant growth promoting Rhizobacterium and drought stress on different forms of soil potassium and potassium uptake of maize. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22: 272-282. (In Persian).
- Kaman H, Kirda C and Sesveren S, 2011. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 98: 801-807.
- Kaschuk, G., Kuyper, T. W., Leffelaar, P. A., Hungria, M., and Giller, K. E. 2009. Are the rates of photosynthesis stimulated by the carbon sink strength of rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses? *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 1233-1244.
- Heidari, M and Karami V, 2013. Effects of water stress and different mycorrhiza species on grain yield, yield components, chlorophyll content and biochemical components of sunflower. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6: 17-26. (In Persian).
- Hugh JE and Davids RF, 2003. Effect of drought stress on leaf and while canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95: 688-696.
- James B, Rodcl D, Lorctru U, Rcynaldo E and Tariq II, 2008. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna speetabilis*. *Pakistan Journal of Botany*, 40: 2217-2224.
- Makumbi D, Betraun JF, Baunziger M and Ribaut JM, 2011. Combining ability, heterosis and genetic diversity in tropical maize (*Zea mays* L.) under stress and non-stress conditions. *Euphytica*, 180: 143-162.
- Mirshekari B, 2016, Effect of mycorrhizal strain on yield and essence of two fennel (*Foeniculum vulgare*) land races under water stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10: 669-682. (In Persian).
- Moharramnejad S, Valizadeh M, Sofalian O, Shiri MR and Asgri A, 2015. Effect of water deficit stress on agronomic traits and superoxide dismutase (Mn-SOD) activity in maize plant (*Zea mays* L.). *Cereal Research*, 6: 100-110. (In Persian).
- Naghashzadeh MR, Heidari H, Sharifabad E, Majidi Heravan M, Rafiee F and Rejali N, 2014. Imantalab. Evaluation of maize leaf gas exchanges with application of mycorrhizal biofertilizer under drought stress conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 30: 47-59. (In Persian).
- Nezarat S and Gholami A, 2009. The effect of co-inoculation of Azospirillum and Pseudomonasrhizobacteria on nutrient of maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Agronomy*, 1: 25-32. (In Persian).
- Panwar J and Tarafdar JC, 2006. Distribution of three endangered medicinal plant species and their colonization with arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Arid Environments*, 65: 337-350.
- Porras A, Soriano-Martín ML, Porras-Piedra A and Azcon R, 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. *Journal of Plant Physiology*, 166: 1350-59.
- Rabbani J and Emam Y, 2012. Yield response of maize hybrids to drought stress at different growth stages. *Journal of Crop Production and Processing*, 1(2): 65-78. (In Persian).
- Ribaut JM, Betran J, Monneveux P and Setter T, 2012. Drought tolerance in maize. In: Bennetzen, J.L., Hake, S.C. (Eds.), *Handbook of Maize: Its Biology*. Springer, New York, pp. 311-34.
- Shiri MR and Bahrampour T, 2015. Genotype×environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research*, 5(1): 83-94. (In Persian).
- Souza RP, Machado EC, Silva JA, Lagoa AM and Silveira J, 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 51: 45-56.
- Taheri F and Fathi A, 2016. The impacts of mycorrhiza and phosphorus along with the use of salicylic acid on maize seed yield. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10: 657-668. (In Persian).

- Winterhalter L, Mistele B, Jampatong S, and Schmidhalter U, 2011. High throughput phenotyping of canopy water mass and canopy temperature in wellwatered and drought stressed tropical maize hybrids in the vegetative stage. *European Journal of Agronomy*, 35: 22–32.
- Wu B, Cao SCL, Cheung ZH and Wong KC, 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. *Geoderma*, 125: 155-162.
- Yan W, Zhong Y and Shangguan Z, 2016. Evaluation of physiological traits of summer maize under drought stress. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science*, 66: 133-140.
- Zlatev Z and Lidon FC, 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24: 57-72.