Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۹
۱۲۹-۱۲۱
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1927.1466

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر دو گونه قارچ میکوریزا-آربوسکولار در سطوح مختلف تنش رطوبتی بر برخی ویژگی‌های رشدی ذرت

عزیز مجیدی[1*]، پرنگ امیری[2]

۱. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۲. کارشناس ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۱۳

چکیده

در شرایط تنش، همزیستی گونه‌های قارچ میکوریزا-آربوسکولار با ریشه گیاه میزبان، تأثیر مستقیمی بر تحمل خشکی در گیاهان دارد. به‌منظور بررسی تأثیر دو گونه قارچ میکوریزا-آربوسکولار در سطوح مختلف تنش رطوبتی بر برخی ویژگی‌های رشدی ذرت، این آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو عامل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با پنج تکرار در شرایط گلخانه اجرا گردید. عامل اول مربوط به سطوح تنش رطوبتی شامل ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و عامل دوم مربوط به دو گونه قارچ میکوریزا شامل *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* و شاهد (عدم تلقیح) بودند. نتایج نشان داد که تنش رطوبتی موجب کاهش ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی به ترتیب به میزان ۱۳٪ و ۱۷٪ شد. تنش رطوبتی بر وزن خشک ریشه بی‌تأثیر بود ولی قارچ‌های مایکوریزا وزن خشک ریشه را افزایش داده و تأثیر *G. mosseae* نسبت به گونه *G. intraradices* بیشتر بود. علیرغم افزایش شدت تنش رطوبتی، قارچ‌های مایکوریزا شاخص کلروفیل **SPAD را افزایش داد. بیشترین شاخص کلروفیل مربوط به تیمار تلقیح با قارچ *G. mosseae* در ۰/۶ ظرفیت زراعی معادل ۳۷/۰۲ بود. گیاه تلقیح شده با قارچ *G. mosseae* نسبت به *G. intraradices* کارایی بیشتری در حفظ رطوبت نسبی آب برگ در شرایط تنش رطوبتی داشت. بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه معادل ۳۹/۰۴ در تیمار تلقیح با قارچ *G. mosseae* در ۶۰٪ رطوبت زراعی به دست آمد. به‌طورکلی، نتایج پیشنهاد می‌کنند که در شرایط تنش رطوبتی، گونه *G. mosseae* قادر به برقراری ارتباط همزیستی مؤثرتری با ریشه گیاه ذرت تحت شرایط انجام این آزمایش بود.**

واژه‌های کلیدی: **تنش رطوبتی، شاخص کلروفیل، کلونیزاسیون ریشه، همزیستی مایکوریزائی**

مقدمه

محصولات زراعی در معرض تنش‌های محیطی متعددی قرار دارند که همگی بر رشد آن‌ها مؤثر بوده و درنتیجه، میزان تولید محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Farooq et al., 2011). تنش خشکی مخرب‌ترین این تنش‌هاست که بیش از سایر تنش‌ها، قابلیت تولیدی محصولات زراعی را کاهش می‌دهد (Lambers et al., 2008). کاهش مداوم نزولات جوی توأم با افزایش تبخیر و تعرق، منجر به بروز خشکی می‌شود (Mishra and Cherkauer, 2010) که به فقدان رطوبت موردنیاز برای رشد طبیعی و تکمیل چرخه زندگی گیاهان تلقی می‌گردد. در گیاهان صدمات بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی ناشی از تنش رطوبتی اتفاق می‌افتد که درجه خسارات آن‌ها به عواملی مانند مدت‌زمان بروز تنش، مقاومت ژنتیکی و مرحله رشد فنولوژیکی بستگی دارد (Gong et al., 2013).

ذرت در مرحله گلدهی، به تنش رطوبتی بسیار حساس است (Daryanto et al., 2016). این محصول، در مراحل

* نگارنده پاسخگو: عزیز مجیدی. پست الکترونیک: Az.majidi89@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

رشد رویشی و زایشی به آب بیشتری نیاز دارد ولی اگر در مرحله استقرار با کمبود رطوبت مواجه باشد، تولید محصول به دلیل گلدهی زودرس، کاهش چشمگیری می‌یابد (Cao and Wj, 2004; Min et al., 2016). مطالعات قبلی مقاومت نسبت به تنش خشکی در ذرت نشان داده است که در ارقام مقاوم، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی ارتقاءیافته، پراکسیدانهای چربی کاهش و تجمع اسمولیت‌ها و تنظیم فشار تورمی سلول بهبود و کارایی فرآیندهای فتوسنتزی حفظ می‌گردند (Anjum et al., 2016; Min et al., 2016). در این زمینه، بررسی‌ها نشان داده است که همزیستی قارچ‌های آربوسکولار-میکوریزا (AMF) برای تحمل و غلبه بر اثرات سوء تنش‌های رطوبتی در گونه‌های مختلف گیاهان (Gholamhoseini et al., 2013) و ازجمله گیاه ذرت (Bárzana et al., 2015) بسیار مؤثر است.

همزیستی AMF اثرات تنش خشکی را از طریق جذب مستقیم آب و انتقال آن توسط هیف‌های قارچ به میزبان (Avis et al., 2008)، افزایش هدایت هیدرولیکی (Bárzana et al., 2015)، تنظیم ارتقاءیافته اسمزی (Aroca et al., 2007) و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانتی (Bompadre et al., 2014) کاهش می‌دهد. گیاهان تلقیح شده با AMF سطوح بالاتری از رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، پارامترهای فلورسانس کلروفیل و تولید فتوسنتزی خالص را نسبت به گیاهان شاهد دارا می‌باشند (Yooyongwech et al., 2016)؛ بنابراین، روابط آبی گیاه همزیست با قارچ و تغییرات این روابط به تعداد کثیری از مکانیسم‌ها مربوط است که فقط به بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه مربوط نمی‌شوند (Leung et al., 2013). در حقیقت، مطالعات بیشتری برای شناخت مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیمی که روابط آبی همزیستی قارچ AM-گیاه را کنترل می‌کنند، موردنیاز است (Xu et al., 2016) و دراین‌ارتباط، شناخت توانائی رابطه همزیستی گیاهان با گونه‌های کارای قارچ برای افزایش درجه تحمل خشکی بسیار موردتوجه است (Smith and Read, 2008). علاوه بر تفاوت‌های فیزیولوژیکی گونه‌ها و تفاوت‌های مربوط به جدایه‌های جغرافیائی آن‌ها، تنوع زیستی قارچ‌های AM بسیار گسترده است.

اطلاعات اندکی در مورد عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی این میکروارگانیسم‌ها در دست است (Eskandari, et al., 2017). یکی از مهم‌ترین نکات رابطه همزیستی قارچ مایکوریزا با گیاه میزبان این است که فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آن باید به‌گونه‌ای باشد که گیاه میزبان بتواند به‌طور موفقیت‌آمیزی از عهده شرایط محیطی محدودکننده برآید (Auge et al., 1995)؛ بنابراین، توانائی‌های ویژه اندوفیت‌های AMF برای سازگاری بهتر گیاه میزبان به مقدار کم آب خاک، می‌تواند ضابطه مناسبی برای انتخاب گونه‌های کارای قارچها برای تولید مایه تلقیح باشد (Liebersbach et al., 2004). بدین منظور، در این تحقیق میزان کارایی دو گونه جنس Glomus شامل *G. intraradices* و *G. mosseae* بر بهبود برخی صفات رشدی ذرت تحت شرایط تنش رطوبتی موردمطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی انجام گرفت. بدین منظور، نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری یک خاک زراعی که غلظت فسفر آن کمتر از پنج میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی آن بر طبق استانداردهای موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شدند (Aliehaie, 1997). بافت خاک به روش هیدرومتر، pH به‌وسیله الکترود شیشه‌ای در گل اشباع، هدایت الکتریکی با دستگاه الکتروکانداکتومتر در عصاره‌ی گل اشباع، کربن آلی به روش دی کرومات پتاسیم، نیتروژن به روش کجلدال، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن و پتاسیم قابل‌جذب با روش استات آمونیوم یک نرمال و عناصر کم‌مصرف به روش DTPA اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده برای انجام آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است. خاک مذکور غیر شور با pH قلیائی و بافت متوسط بوده، ازنظر کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل‌جذب خاک در شرایط کمبود و ازنظر عناصر کم‌مصرف روی، آهن و منگنز در حد بهینه بودند (Malakouti et al., 2005).

آزمایش به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: عامل تنش رطوبتی در سه سطح آبیاری در ظرفیت زراعی (شاهد)، آبیاری در ۰/۸ ظرفیت زراعی و آبیاری در ۰/۶ ظرفیت زراعی و عامل مایه تلقیح در سه سطح: عدم تلقیح، تلقیح با گونه قارچ *G. intraradices* و تلقیح با گونه قارچ *G. mosseae*. بودند.

www.SID.ir

Archive of SID

خاک گلدان‌ها پس از هوا خشک‌کردن از الک پنج میلی‌متری عبور داده شدند. نمونه خاک فراهم‌شده در دستگاه اتوکلاو استریل گردیدند تا آلودگی‌های احتمالی قارچ یا باکتری از بین بروند. در داخل هر گلدان ۱۰ کیلوگرم از خاک استریل شده ریخته شد. مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا از بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه گردید. از مایه تلقیح مذکور به میزان ۲۵ گرم در هر گلدان مطابق تیمارها استفاده شد. داخل هر گلدان تعداد پنج حفره به عمق سه و نیم سانتی‌متر ایجاد و مایه تلقیح قارچ مطابق تیمارها در کف حفره‌ها ریخته شده و سپس نسبت به کاشت بذر در همان حفرات اقدام گردید تا مایه تلقیح در تماس مستقیم با بذور قرار گیرند. رقم ذرت کشت‌شده رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. پس از کاشت بذرها و سبز شدن آن‌ها، بوته‌ها تنک شده و نهایتاً در داخل هر گلدان دو بوته نگه‌داشته شدند. قبل از کشت بذور ذرت به مدت ۱۵ دقیقه در هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد ضدعفونی سطحی شدند و سپس سه بار با آب مقطر شستشو گردیدند. بر اساس نتایج آزمون خاک، توصیه کودی مطابق استانداردهای مؤسسه تحقیقات خاک و آب برای عناصر نیتروژن و پتاسیم به انجام رسیده و به ترتیب از منابع اوره و کلرید پتاسیم تأمین شدند (Malakouti et al., 2005). پتاسیم قبل از کشت با خاک گلدان‌ها مخلوط و نیتروژن در طول دوره رشد گیاه با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به‌صورت محلول غذائی به گلدان‌ها اضافه شد.

جدول ۱. میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده در آزمایش

Table 1. Average physical and chemical properties of the soil used in the experiment

هدایت الکتریکی	مواد خنثی شونده	کربن آلی	شن	رس	اسیدیته	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	بافت
EC	TNV	OC	sand	clay	pH	P	K	Fe	Mn	Zn	Tex
(dS/m)	----------(%)----------					----------(mg.Kg^{-1})----------					
0.5	**1.7**	**0.9**	**34**	**26**	**7.2**	**4.5**	**79**	**13.7**	**7.9**	**1.8**	**Silt**

پس از گذشت حدود ۳۰ روز از کاشت، تنش رطوبتی بر روی بوته‌های موجود در گلدان‌ها اعمال شد. جهت ایجاد شرایط تنش ابتدا رطوبت ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) با استفاده از دستگاه‌های صفحه فشاری و غشاء فشاری در فشارهای یک‌سوم و ۱۵ اتمسفر اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه خاک در دمای C°105 به مدت ۲۴ ساعت خشک‌شده و وزن خاک خشک اندازه‌گیری شد (Aliehaie, 1997). مقادیر آب تیمارها به روش وزنی مطابق فرمول‌های ذیل محاسبه گردید:

$$A100\% = (\Theta FC100\% \times Dw)+DW+PW+PLW \quad [۱]$$

$$A80\% = F80\% \times (\Theta FC100\% \times Dw)+DW+PW+PLW \quad [۲]$$

$$A60\% = F60\% \times (\Theta FC100\% \times Dw)+DW+PW+PLW \quad [۳]$$

در این فرمول‌ها A100%، A80% و A60% به ترتیب وزن کل گلدان همراه با بوته در ضرایب رطوبتی ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه، F80% و F60% به ترتیب مقادیر کسر رطوبتی موردنیاز نسبت به درصد رطوبتی ظرفیت مزرعه، ΘFC100% درصد رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، Dw وزن خاک خشک گلدان، PW وزن گلدان و PLW وزن بوته‌های هر گلدان هستند.

پس از شروع اعمال تنش‌های رطوبتی، هر پنج روز یک‌بار در تعدادی از گلدان‌های اضافی گیاهان از خاک خارج و وزن بوته‌ها (اندام هوائی و ریشه) محاسبه و در معادلات بالا وارد شد. مقدار آب موردنیاز گلدان‌ها به‌صورت یک روز در میان به روش وزنی محاسبه و به گلدان‌های مربوطه مطابق تیمارها اضافه شدند (Widiastuti et al., 2008).

در مرحله شروع گلدهی، صفاتی مانند ارتفاع بوته، مساحت سطح برگ، شاخص کلروفیل (با استفاده از کلروفیل سنج Spad-502 Minolta)، مقدار رطوبت نسبی برگ اندازه‌گیری شدند. برای برآورد مساحت سطح برگ از روش (Ponsens et al., 2010) استفاده شد. برای این منظور، برگ مشخصی از بوته (برگ هفتم) انتخاب‌شده و بزرگ‌ترین طول و عرض آن اندازه‌گیری گردید. مساحت سطح برگ مطابق فرمول زیر محاسبه گردید:

$$L \times W \times 0.785 \quad [۴]$$

در این فرمول، L بیشترین طول برگ و W بیشترین عرض برگ هر دو برحسب سانتی‌متر است.

برای تعیین مقدار رطوبت نسبی، از برگ بالغ انتهایی استفاده شد. بعد از جدا نمودن برگ‌ها از گیاه بلافاصله

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه‌ها با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند (وزن‌تر) و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرارگرفته و در این مدت در محیط آزمایشگاهی با دمای تقریبی ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شده و سپس توزین شدند (وزن اشباع)، درنهایت برگ‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده‌شده و سپس توزین شدند و از رابطه زیر مقدار آب نسبی برگ محاسبه گردید (Matin et al., 1989).

$$R_{WC} = \frac{W_F - W_d}{W_T - W_d} \times 100 \qquad [۵]$$

در این رابطه WF وزن تر برگ‌ها، Wd وزن خشک برگ‌ها و WT وزن آماس برگ‌ها است.

پس از گذشت هشت هفته از زمان تنک کردن بوته‌ها، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و درصد کلونیزاسیون ریشه در تمام گلدان‌ها اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوائی، ابتدا اندام‌های هوایی گیاهان به‌صورت کف‌بر برداشت‌شده، پس از شستشو با آب مقطر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار داده شدند. سپس وزن خشک اندام هوایی با ترازوی با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، پس از برداشت اندام‌های هوائی، ریشه همراه با خاک اطراف آن از داخل گلدان خارج شد. به‌منظور جلوگیری از قطع ریشه‌های مویین، ریشه‌ها در یک ظرف پر از آب قرار داده و به‌دقت شسته و تمیز شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، پس از قرار دادن نمونه‌ها در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت از طریق ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ استفاده شد. برای اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون از روش (Giovannetti and Mosse, 1980) استفاده شد. برای این منظور، پس از اشباع کردن گلدان‌ها، خاک گلدان‌ها به‌آرامی شسته شد. پس از تمیز کردن ریشه‌ها از بخش‌های مختلف ریشه حدود یک گرم نمونه تهیه و در ظروف حاوی آب و الکل ۷۰٪ نگهداری شدند. سپس به مدت یک ساعت در محلول هیدروکسید پتاسیم یک درصد و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. پس از شستشو به مدت ۲۰ دقیقه در محلول آب‌اکسیژنه قلیایی یک درصد عمل رنگ‌بری انجام شد. مجدداً ریشه‌ها چندین بار شسته شده و برای اسیدی شدن به مدت سه دقیقه در محلول اسیدکلریدریک یک درصد قرار داده شد. سپس ریشه‌ها در محلول لاکتوگلیسیرین تریپان بلو به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. برای تعیین درصد کلونیزاسیون، ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به قطعات یک سانتی‌متری برش داده شدند و درصد کلونیزاسیون ریشه با استفاده از میکروسکوپ برآورد شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، بر اساس آزمایش‌های فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS به انجام رسید. مقایسه میانگین تیمارها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح تنش رطوبتی بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع گیاه به میزان ۷۴/۲۷ سانتیمتر در ۱۰۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی به دست آمد. کاهش رطوبت به میزان ۸۰٪، اثر محسوسی بر کاهش ارتفاع گیاه داشت ولی کاهش بیشتر آن در ۶۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی تأثیری بر ارتفاع گیاه نداشت (جدول ۳). کاهش ارتفاع گیاه درنتیجه افزایش تنش رطوبتی احتمالاً به علت اختلال در فتوسنتز و کاهش تولید و انتقال ترکیبات فتوسنتزی به بافت‌های مریستمی در حال رشد گیاه است. یکی از اولین علائم کمبود آب، کاهش فشار تورژسانس و درنتیجه کاهش تقسیم سلولی در اندام‌های جوان در حال رشد است. با کاهش تقسیم سلولی، رشد و توسعه اندام‌ها نیز محدودشده و به همین دلیل، اولین اثر محسوس تنش رطوبتی بر روی رشد گیاهان به‌صورت کوچک‌تر شدن برگ‌ها یا کاهش ارتفاع گیاهان ظهور می‌کند (Li et al., 2011).

اثرات مستقل گونه‌های قارچ میکوریزا نیز ازنظر ارتفاع بوته معنی‌دار گردیده (جدول ۲) و بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار تلقیح با گونه *G. intraradices* حاصل شد (جدول ۳). نتایج فوق با نتایج سایر محققین دراین‌ارتباط مطابقت داشت (Wu et al., 2006; Zhang et al., 2010; Asrar and Elhindi, 2011). اثرات متقابل سطوح تنش خشکی و قارچ‌های میکوریزا بر ارتفاع بوته معنی‌داری نگردید.

وزن خشک اندام هوایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات مستقل سطوح تنش خشکی به‌طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). با افزایش شدت

www.SID.ir

Archive of SID

تنش رطوبتی وزن خشک اندام‌های هوائی کاهش یافت. کاهش وزن خشک گیاه با افزایش تنش رطوبتی را می‌توان به اختلال در عمل فتوسنتز و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت انتقال به اندام‌های در حال رشد نسبت داد. نتایج مذکور با نتایج گزارش‌شده توسط سایر محققین (Ponsens et al., 2010; Asrar and Elhindi, 2011; Liu et al., 2011) مطابقت داشت.

تلقیح بذور درت با گونه‌های قارچ میکوریزا هرچند باعث افزایش ۱۲-۱۰٪ وزن خشک اندام هوائی شد ولی این افزایش ازنظر آماری معنی‌دار نبود.

جدول ۲. میانگین مربعات صفات موردبررسی در آزمایش ذرت در شرایط تنش آبی و تلقیح با قارچ‌های میکوریزا

Table 2. Mean squares of studied traits in corn experiment under drought stress conditions and inoculation with mycorrhizal fungi

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root weight	شاخص کلروفیل Chlorophyll Index	سطح برگ Leaf area	رطوبت نسبی برگ Leaf relative humidity	کلونیزاسیون ریشه Root colonization
تنش خشکی Drought stress (S)	2	477**	14.7**	0.04ns	4.32 ns	245ns	0.018*	171.2 ns
قارچ میکوریزا mycorrhizal (M)	2	255*	1.6 ns	0.66**	24.33*	1099*	0.031**	1423.5**
S*M	4	54ns	0.6ns	0.07ns	13.41*	743*	0.021*	317.8**
خطاError	32	86	1.5	0.07	5.20	227	0.006	80.15
CV (٪)	-	13.68	13.5	13.84	6.40	14.35	15.02	27.77

: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و غیر معنی‌دار.ns، **و *

*,** and ns: indicate significant diffirances at 0.05, 0.01 and not significant respectively

جدول ۳. میانگین اثر سطوح تنش خشکی و گونه‌های قارچ میکوریزا بر ارتفاع بوته، وزن‌های خشک اندام هوائی و ریشه

Table 4. Effect of drought stress and mycorrhizal fungus species on the plant height, shoot and root dry weights

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
FC	74.27a	6.13a	0.36a
0.8 FC	64.70b	5.08b	0.25a
0.6 FC	64.30b	4.15c	0.28a
شاهد (Check)	69.07ab	4.84a	0.16b
G. intraradices	71.07a	5.48a	0.19b
G. mosseae	63.13b	5.04a	0.54a

وزن خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مربوط به وزن خشک ریشه نشان داد که اثر مستقل سطوح تنش رطوبتی بر وزن خشک ریشه معنی‌دار نگردید ولی اثر مستقل تیمارهای مربوط به گونه‌های قارچ مایکوریزا بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در تیمار *G. mosseae* نسبت به گونه *G. intraradices* وزن خشک ریشه بیشتر بود. تفاوت معنی‌داری بین گونه *Glomus intraradices* و تیمار شاهد مشاهده نگردید. بر اساس نتایج سایر محققین می‌توان اظهار داشت که تحت شرایط تنش خشکی، روزنه‌های هوایی بسته‌شده، میزان فتوسنتز کاهش‌یافته و درنهایت رشد ریشه سریعاً متوقف‌شده و بدین طریق ظرفیت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از خاک به‌طرف اندام هوایی کاهش می‌یابد (Meybodi and Gharayazi, 2001). از طرفی در شرایط تنش خشکی، هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی است که این موضوع در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزی است (Giri et al., 2005; Kungu et al., 2008; Jongrungklang et al., 2011).

شاخص کلروفیل (SPAD)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سطوح تنش رطوبتی و گونه‌های قارچ‌های مایکوریزا بر شاخص کلروفیل SPAD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که علیرغم افزایش شدت تنش رطوبتی، قارچ‌های مایکوریزا شاخص کلروفیل SPAD را افزایش داد. بیشترین شاخص کلروفیل مربوط به تیمار تلقیح با قارچ *G. mosseae* در FC ۰/۶ بود که با تیمار تلقیح با قارچ *G. intraradices* در همان عامل رطوبتی تفاوت نداشت (جدول ۴). نتایج مذکور با نتایج مورته و همکاران (Morte et al., 2001) مطابقت داشت.

جدول ۴. اثر سطوح تنش خشکی و گونه‌های قارچ میکوریزا بر شاخص کلروفیل SPAD، سطح برگ و درصد کلونیزاسیون ریشه

Table 4. Effect of drought stress levels and mycorrhizal species on SPAD chlorophyl index, leaf area, leaf relative humidity and root colonization precentage

سطوح تنش خشکی Drought stress levels	گونه قارچ مایکوریزا Mycorrhizal fungus specie	شاخص کلروفیل Chlorophyl Index	سطح برگ Leaf area (cm^2)	رطوبت نسبی برگ Leaf relative humidity (%)	کلونیزاسیون ریشه Root colonization (%)
FC	شاهد (Check)	32.32 b	87.62 c	0.33 c	19.36 d
	G. intraradices	37.66 a	128.93 a	0.48 a	28.66 bc
	G. mosseae	35.74 ab	104.08 bc	0.37 bc	37.04 b
0.8 FC	شاهد (Check)	32.40 b	101.01 bc	0.30 c	28.02 bc
	G. intraradices	34.70 ab	103.46 bc	0.42 ab	21.19 c
	G. mosseae	37.70 a	96.69 bc	0.41 ab	54.33 a
0.6 FC	شاهد (Check)	32.58 b	99.68 bc	0.28 c	33.9 b
	G. intraradices	35.92 a	107.11 bc	0.30 c	28.58 bc
	G. mosseae	37.02 a	116.71 ab	0.41 ab	39.04 a

حروف کوچک انگلیسی مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است

*The Similar small letter indicate a significant difference of 5%, level

مساحت سطح برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سطوح تنش رطوبتی و گونه‌های قارچ‌های مایکوریزا بر مساحت سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مساحت سطح برگ در تیمار ۱۰۰٪ رطوبت ظرفیت مزرعه و تلقیح با گونه قارچ *G. intraradices* مشاهده شد که با تیمار ۰/۶ رطوبت ظرفیت مزرعه و تلقیح با قارچ *G. mosseae* در یک کلاس آماری قرار داشت (جدول ۴). این امر بیانگر کارایی بیشتر گونه *G. mosseae* تحت شرایط تنش رطوبتی است. به‌طورکلی مطالعات انجام‌گرفته نشان داده است که افزایش جذب آب در گیاهان مایکوریزی اغلب منجر به افزایش سطح و محتوای آب نسبی برگ و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود (Hu et al., 2010). نتایج مذکور نتایج ارائه شده توسط ناگاراتنا و همکاران (Nagarathna et al., 2007) را تأیید نمود.

محتوی رطوبت نسبی برگ

اثرات مستقل سطوح تنش رطوبتی بر محتوای رطوبت نسبی برگ ازنظر آماری معنی‌دار بوده و با کاهش مقدار رطوبت خاک میزان رطوبت نسبی برگ کاهش یافت. تفاوت کاملاً معنی‌داری بین اثرات مستقل گونه‌های قارچ میکوریزا ازنظر رطوبت نسبی برگ وجود داشت و تلقیح با قارچ میکوریزا موجب افزایش رطوبت نسبی برگ گردید.تفاوتی بین تأثیر دو گونه قارچ از محتوی رطوبت نسبی برگ وجود نداشت. اثرات متقابل تنش رطوبتی و قارچ میکوریزا بر صفت مذکور نیز معنی‌دار گردید و بیشترین محتوای رطوبت نسبی برگ در تیمار رطوبت ظرفیت مزرعه در تلقیح با قارچ *G. intraradices* به دست آمد که با تیمار ۰/۶ رطوبت ظرفیت

www.SID.ir

Archive of SID

مزرعه در تلقیح با گونه قارچ *G. mosseae* تفاوتی نداشت (جدول ۶). نتیجه مذکور بیانگر کارایی بیشتر گونه قارچ *G. mosseae* در حفظ رطوبت نسبی آب برگ تحت شرایط تنش رطوبتی بود. نتایج مشابهی توسط محققین دیگر (Liu et al., 2004; Aliasgharzad et al., 2006; Kungu et al., 2008) در رابطه با تأثیر قارچ‌های میکوریزا در بهبود محتوی رطوبت نسبی گیاه تحت شرایط تنش خشکی گزارش گردیده است.

درصد کلونیزاسیون ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سطوح تنش رطوبتی و گونه‌های قارچ‌های مایکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل تنش رطوبتی و قارچ میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار تلقیح با قارچ mosseae G. در ۰/۸ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد که با تیمار تلقیح همان‌گونه در ۰/۶ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه در یک کلاس آماری قرار داشتند. نتایج مذکور با نتایج تعدادی از محققین (Aliasgharzad et al., 2006; Abo Ghalia and Khalafallah, 2008) مطابقت داشت. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که تلقیح قارچ میکوریزا اثر معنی‌داری در افزایش درصد آلودگی ریشه دارد یعنی تلقیح قارچ‌ها بر درصد آلودگی ریشه مؤثر بوده و با افزایش جمعیت آن‌ها در خاک درصد آلودگی ریشه بالا می‌رود. درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های میکوریز بستگی به گیاه میزبان و گونه‌های قارچ دارد و حتی جدایه‌های یک‌گونه که از مناطق مختلف جمع‌آوری‌شده باشند ازنظر درصد کلونیزاسیون اختلاف دارند هرچند این جدایه‌ها ازنظر مرفولوژی مشابه هستند ولی ازنظر فیزیولوژی ممکن است متفاوت باشند (Barin et al., 2006). لذا بالا رفتن درصد کلونیزاسیون ریشه در تلقیح یک‌گونه با گونه دیگر در هر گیاهی بی‌ارتباط به توانایی ذاتی آن گونه نیست.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد که تلقیح ریشه ذرت با قارچ‌های میکوریزا-آربوسکولار موجب افزایش شاخص کلروفیل برگ و تولید ماده خشک گیاه در رژیم‌های رطوبتی کمتر از ظرفیت مزرعه شد. افزایش بیشتر عوامل موردبررسی در این تحقیق از قبیل ارتفاع گیاه، شاخص کلروفیل، مساحت سطح برگ، رطوبت نسبی برگ، تولید ریشه و اندام هوائی درنتیجه استفاده از گونه *G.mosseae* نسبت به گونه *G.intraradices*، علیرغم حاکمیت تنش رطوبتی در خاک، پیشنهاد می‌کند که این گونه در شرایط تنش خشکی قادر به برقراری ارتباط همزیستی مؤثرتری با ریشه گیاه ذرت است؛ بنابراین، برای افزایش درجه تحمل گیاه ذرت نسبت به تنش-های رطوبتی و افزایش راندمان جذب آب، گونه مذکور کاراتر است. برای تحقیقات آتی، مقایسه درجه همزیستی گونه‌های قارچ میکوریزا-آربوسکولار در شرایط تنش‌های زنده و غیرزنده در مزرعه پیشنهاد می‌گردد.

منابع

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. 5, 570-580.

Aliehaie, M., 1997. Descriptions of methods for chemical analysis of soil. Volume II, Soil and Water Research Institute, Publication No. 1024. [In Persian].

Aliasgharzad, N., neyshabouri, M.R., Salimi, G., 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrizobium japonicum* on drought stress of soybean. Biologia, Bratislava. 61, 324-328.

Anjum, S.A., Tanveer, M., Ashraf, U., Hussain, S., Shahzad, B., Khan, I., Wang, L. 2016. Effect of progressive drought stress on growth, leaf gas exchange, and antioxidant production in two maize cultivars. Environmental Science and Pollution Research. 23, 17132–17141.

Aroca, R., Porcel, R., Ruiz-lozano, J. M. 2007. How does arbuscular mycorrhizal symbiosis regulate root hydraulic properties and plasma membrane aquaporins in *Phaseolus vulgaris*

www.SID.ir

Archive of SID

under drought, cold or salinity stresses? New Phytologist. 173, 808–816.

Asrar, A.W.A., Elhindi, K., 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of biological Sciences. 18, 93-98.

Avis, T.J., Gravel, V., Antoun, H., Tweddell, R.J., 2008. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. Soil Biology and Biochemistry. 40(7), 1733–1740.

Auge, R.M., Stodola, A.J.W., Ebel, R.C., Duan, X., 1995. Leaf elongation and water relations of mycorrhizal sorghum in response to partial soil drying: two Glomus species at varying phosphorus fertilization. Journal of Experimental Botany. 46, 297-307.

Barin M., Aliasgharzadeh, N., Samadi, V., 2006. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the yield and absorption of nutrients in tomato under salinity from Nacl and mixtures of salts, Journal of Soil and Water Sciences. 20(1), 94-120. [In Persian with English Summery].

Bárzana, G., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J.M. 2015. Localized and non-localized effects of arbuscular mycorrhizal symbiosis on accumulation of osmolytes and aquaporins and on antioxidant systems in maize plants subjected to total or partial root drying. Plant, Cell AND Environonment. 38, 1613–1627.

Bompadre, M.J., Silvani, V.A., Bidondo, L.F., de Molina, M.D.C.R., Colombo, R.P., Pardo, A.G., Godeasa, A.M., 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate oxidative stress in pomegranate plants growing under different irrigation conditions. Botany. 92, 187–193.

Cao, L.Z.X., Wj, B.X.P., 2004. Discuss on evaluating method to drought-resistance of maize in seedling stage. Journal of Maize Science. 12, 73–75.

Daryanto. S., Wang, L., Jacinthe, P-A., 2016 Global Synthesis of Drought Effects on Maize and Wheat Production. PLoS ONE. 11(5), e0156362. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156362

Eskandari, S., Guppy, C.N., Knox, O.G.G., Backhouse, D., Haling, R.E. 2017. Mycorrhizal symbioses of cotton grown on sodic soils: A review from an Australian perspective. Pedosphere. 27(6), 1015–1026.

Farooq, M., Bramley, H., Palta, J.A., Siddique, K.H.M., 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. Critical Review in Plant Sciences. 30, 491-507.

Giovannetti.M, Mosse.B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytolologist. 84, 489–500.

Giri, B., Kapoor, R., Mukerji, K.G., 2005. Effect of the arbuscular mycorrhizae *Glomus fasciculatum* and *G. macrocarpum* on the growth and nutrient content of Cassia siamea in a semi-arid Indian wasteland soil. New Forests. 29, 63-73.

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., Khodaei-Joghan, A. 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. Agricultural Water Managment. 117, 106–114.

Gong, B., Wen, D., Vanden Langenberg, K., Wei, M., Yang, F., Shi, Q., Wang, X. 2013. Comparative effects of NaCl and $NaHCO_3$ stress on photosynthetic parameters, nutrient metabolism, and the antioxidant system in tomato leaves. Scientia Horticulture. 157, 1–12.

Hu, L., Wang, Z., Du, H., Huang, B., 2010. Differential accumulation of dehydrins in response to water stress for hybrid and common bermudagrass genotypes differing in drought tolerance. Journal of Plant Physiology. 167, 103-109.

Kungu, B.J., Lasco, R.D., Cruz, L.U.D., Cruz, R.E.D., Husain, T., 2008. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of senna spectabilis. Pakistan Journal of Botany. 40, 217-224.

Lambers, H., Chapin, F., Pons, T., 2008. Plant physiological ecology. Springer, New York, p 540.

Liebersbach, H., Steingrobe, B., Claassen, N., 2004. Roots regulate ion transport in the rhizosphere to counteract reduced mobility in dry soil. Plant and Soil.260, 79–88.

Leung, H.M., Wang, Z.W., Ye, Z.H., Yung, K.L., Peng, X.L., Cheung, K.C., 2013. Interactions between arbuscular mycorrhizae and plants in

www.SID.ir

Archive of SID

phytoremediation of metal-contaminated soils: A review. Pedosphere. 23(5), 549–563.

Li, Y., Zhao, H., Duan, B., Korpelainen, H., li, C., 2011. Effect of drought and ABA on growth, photosynthesis and antioxidant system of Continus coggygria seedling under two different light conditions. Environmental and Experimental Botany. 71, 107-113.

Liu, F., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2004. Drought stress effect on carbohyd rate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set. Field Crops Research. 86, 1-13.

Liu, H., Wang, X., Wang, D., Zou, Z., Liang, Z., 2011. Effect of drought stress on growth and accumulation of active constituents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. Industrial Crops and Products. 33, 84-88.

Malakouti, M.J., Moshiri, F., Ghibi, M.N., Molavi, S., 2005. Optimum concentrations of nutrients in soil and some garden products (first part). Council policy development and efficient use of fertilizers and pesticides application of biological agriculture, Technical publication No. 406, Senate Publications, Tehran, Iran. [In Persian].

Matin, M.A., Brown, J.H. Ferguson, H., 1989. Leaf water potential, relative water content, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. Agronomy Journal. 81, 100-105.

Meybodi, M.M.S., Gharayazi, B., 2001. Physiological and Vegetative Aspects of Salinity Stress of Plants. Isfahan University of Technology publishing house, No. 78, Isfahan, 274 p. [In Persian with English Summery].

Min, H., Chen, C., Wei, S., Shang, X., Sun, M., Xia, R., Liu, X., Hao, D., Chen, H., Xie, Q. 2016. Identification of drought tolerant mechanisms in maize seedlings based on transcriptome analysis of recombination inbred lines. Frontiers in Plant Science. 7, 1080. Doi: 10.3389/fpls.2016.01080

Mishra, V., Herkauer, K.A., 2010. Retrospective droughts in the crop growing season: Implications to corn and soybean yield in the midwestern united states. Agriculture and Forest Meteorology. 150, 1030-1045.

Morte, A., Diaz, G., Rodriguez, P., Alarcon, J.J., Sanchez-Blanco, M.J., 2001. Growth and water replications in mycorrhizal and Nonmycorrhizal Pinus Halepensis plants in response to drought. Biologia plantarum. 44, 263-267.

Nagarathna, T.K., Prasad, T.G., Bagyaraj, D.J., Shadakshari, Y.G., 2007. Effect of arbuscular mycorrhiza and phosphorus levels on growth and water use efficiency in Sunflower at different soil moisture status. Journal of Agricultural Technology. 3, 221-229.

Jongrungklang, N., Toomasan, B., Vorasoot, N., Jogloy, S., Boote, K.J., 2011. Rooting traits of peanut genotypes with different yield responses to pre-flowering drought stres. Field Crops Research. 120, 262-270.

Ponsens, J., Hanson, J., Schellberg, J., Moeseler, B.M., 2010. Characterization of phenotypic diversity, yield and response to drought stress in a collection of Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth) accessions. Field Crops Research. 118, 57-72.

Smith, S.E., Read, D.J., 2008. Mycorrhizal Symbioses, third ed. Academic Press, UK.

Widiastuti N., Wu, H., Ang, M., Zhang, D.K., 2008. The potential application of natural zeolite for grey water treatment. Desalination Journal, 218, 271-280.

Wu, Q., Xia, R., Hu, z., 2006. Effect of arbuscular mycorrhiza on the drought tolerance of poncirus Trifoliata seedlings. Frontiers of Forestry in China. 1, 100-104.

Xu, Z.Y., Ban Y.H., Jiang, Y.H., Zhang, X.L., Liu, X.Y., 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi in wetland habitats and their application in constructed wetland: A review. Pedosphere. 26(5), 592–617

Yooyongwech, S., Samphumphuang, T., Tisarum, R., Theerawitaya, C., Cha-um, S., 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved water deficit tolerance in two different sweet potato genotypes involves osmotic adjustments via soluble sugar and free proline. Scientia Horticulturae. 198, 107–117.

Zhang, Y., Zhong, C.L., Chen, Y., Chen, Z., Jiang, Q.B., Pinyopusarerk, C., Wu, K., 2010. Improving drought tolerance of *Casuarina equisetifolia* seedlings by arbuscular mycorrhizas under glasshouse conditions. New Forests. 10, 91-98

www.SID.ir