فصلنامه (علمی – پژوهشی)
زیست شناسی تکوینی
سال یازدهم، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۸ ص. ۸۶-۷۵

مقاله پژوهشی

بررسی اثر همزیستی قارچ میکوریزا آربوسکولار بر برخی از صفات فیزیولوژیک ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ در شرایط تنش کمبود آب

احمد افکاری *

فیزیولوژی گیاهی، واحد کلیبر، دانشگاه آزاد اسلامی کلیبر، ایران

* Email: afkariahmad@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثر همزیستی قارچ میکوریزا آربوسکولار بر برخی از صفات فیزیولوژیک ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ در شرایط تنش کمبود آب، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل در سال ۱۳۹۴ اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح تنش کمبود آب (صفر، ۴- ۸-و ۱۲-بار) و پیش تیمار بذر با سه گونه قارچ میکوریزا (*فونلی فورمیس موسه آ*، *ریزوگلوموس فسیکولاتوم* و *کلاروئیدوگلوموس اتانیکاتوم*) و تیمار بدون تلقیح قارچی به عنوان شاهد بودند. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که تأثیر تیمار تنش کمبود آب بر تمامی ویژگی‌های مورد بررسی معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که با افزایش تنش کمبود آب میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ کاهش و میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافت. بذرهای تلقیح یافته با *ریزوگلوموس فسیکولاتوم* از افزایش میزان صفات مورد ارزیابی در مقایسه با عدم تلقیح برخوردار بودند. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش کمبود آب و میکوریزا نشان داد که بیش‌ترین محتوای کلروفیل a (۲۳/۸۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، کلروفیل کل (۳۳/۳۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و محتوای نسبی آب برگ (۸۶/۴۵ درصد) مربوط به تیمار بدون اعمال تنش و گیاهان تلقیح شده با *ریزوگلوموس فسیکولاتوم* بود. به‌طور کلی، کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار سبب افزایش تحمل در برابر تنش کمبود آب از طریق تأثیر بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک در گیاه ذرت شد.

کلیدواژه‌ها: پرولین، پیش تیمار بذر، کربوهیدرات‌های محلول، کودهای بیولوژیک، محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل.

مقدمه

ذرت با نام علمی *Zea mays* L. گیاهی چهار کربنه (C_4) از غلات مهم مناطق گرمسیر و معتدل جهان می‌باشد که در شرایط مناسب محیطی و رشدی دارای کارایی بالا بوده، اما بسیار حساس به کمبود آب و گرمای زیاد می‌باشد [۸].

تنش کمبود آب یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هم‌چنین باعث کاهش جذب آب توسط سیستم ریشه گیاه، کاهش تعرق، کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز و هم‌چنین به هم خوردن موازنه هورمونی در گیاه می‌گردد [۲]. گیاهان به تنش خشکی در سطوح فیزیولوژیکی، سلولی و مولکولی پاسخ می‌دهند که این پاسخ به گونه، ژنوتیپ، سن و مرحله نموی گیاه بستگی دارد [۱۱]. اگر چه رشد گیاه نتیجه فرآیندهای فیزیولوژیک منظم و کامل است و مهار رشد گیاه توسط عوام محیطی را نمی‌توان تنها به یک فرآیند فیزیولوژیک خاص نسبت داد، اما پدیده فیزیولوژیک غالب، فتوسنتز است [۲۶].

یکی از راه‌های افزایش تحمل کم‌آبی و افزایش عملکرد در گیاهان زراعی، استفاده از قارچ‌های میکوریزا است. قارچ‌های میکوریزا از ریز موجودات خاکزی می‌باشند که توانایی برقراری همزیستی با محصولات مختلف کشاورزی و افزایش راندمان تولید را دارند. در واقع همزیستی ریشه گیاه و قارچ میکوریزا یک رابطه مسالمت‌آمیز است که در آن گیاه میزبان و قارچ‌های همزیست به‌طور متقابل سود می‌برند. این همزیستی موجب پایداری گونه‌های گیاهی و افزایش رشد آن‌ها می‌شود [۱۰]. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار گروهی از قارچ‌های همزیست ریشه هستند که در رشد و نمو گیاهان و مقاومت آن‌ها به تنش‌های محیطی نقش مهمی دارند. این قارچ‌ها دارای هیف گسترده‌ای هستند که با افزایش سطح جذب و سرعت جذب ریشه باعث افزایش رشد گیاهان می‌شوند. استفاده از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در گیاهان سبب افزایش فتوسنتز و رشد می‌شود [۵]. بر اساس گزارش‌ها، قارچ‌های میکوریزی منجربه افزایش جذب فسفر، نیتروژن، پتاسیم، منگنز و روی در ذرت می‌شوند [۲]. این قارچ‌ها دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی بوده و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر و برخی عناصر ریزمغزی، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری زا، موجب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند [۱۳]. همزیستی میکوریزا هم‌چنین سبب افزایش تحمل گیاهان میزبان به دمای زیاد، آلودگی قارچ‌های بیماری‌زا و اسیدیته بالای خاک و هم‌چنین تحمل به کمبود آب می‌شود [٤]. قارچ‌های میکوریزا می‌توانند بر تعادل آبی گیاه هم در هر شرایط تنش و هم دورهٔ بدون تنش اثر گذاشته و حتی تأثیر آن‌ها در شرایط تنش افزایش می‌یابد [١٦]. گیاهان دارای همزیستی میکوریزا، نسبت به گیاهان غیرمیکوریزا، آب را از خاک سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌نمایند، زیرا در گیاهان میکوریزا معمولاً اندام هوایی و سطح برگ‌ها در گیاه توسعه بیش‌تری پیدا می‌کند که این خود باعث افزایش نیاز تعرقی گیاهان میکوریزا می‌شود [۱۲]. قارچ میکوریزا به‌طور موثری باعث افزایش ظرفیت جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف از طریق تولید آنزیم‌های متفاوتی مانند فسفاتازها و حلالیت عناصری مانند فسفر و عناصر کم تحرک به‌خصوص در شرایط تنش کمبود آب می‌شوند [۷]. آزمایش انجام گرفته بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت نشان داده است که این قارچ‌ها قادر به افزایش جوانه‌زنی و بهبود رشد گیاهچه ذرت می‌باشند [۲۱]. برخی بررسی‌ها نشان داده است که باکتری‌های جنس *آزوسپریلوم*، *سودوموناس* و *ازتوباکتر* بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت از تأثیر

مثبت و معنی‌داری برخوردارند [۳۰]. همزیستی بوجود آمده بین گیاه ذرت و گونه *Glomus intraradices* در شرایط تنش کمبود آب، مقدار جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و منگنز را در دانه‌های ذرت افزایش داده است [۲۰]. از سوی دیگر، در پژوهش‌های مختلف گزارش شده است که همزیستی قارچ *Glomus intraradices* نیز با گیاهان موجب تحریک رشد، افزایش عملکرد و تحمل گیاه به تنش‌های شوری، کمبود آب و عوامل بیماریزای ریشه و برگ شده است [۱۰]. حمدی و همکاران [۲٤] در سال ۲۰۰٤ نشان دادند که تلقیح بذور ذرت با باکتری‌های محرک رشد (*آزوسپیریلوم*) تعداد برگ‌های بالایی و تعداد برگ در هر بوته را افزایش داد. آن‌ها دلیل این امر را روابط مثبت بین گیاه و باکتری دانستند که در نهایت سبب افزایش عملکرد سیلویی گیاه ذرت شد. رسولی صدقیانی و همکاران [۹] در سال ۱۳۹۰ در مطالعه‌ای تأثیر باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا را بر رشد و جذب روی توسط ذرت در یک خاک آلوده به روی بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که تلقیح گیاه با تیمارهای میکروبی سبب افزایش وزن خشک در مقایسه با گیاه بدون تلقیح شد. یزدانی پیردشتی و همکاران [٦] در سال ۱۳۹۱ با کاربرد باکتری محرک رشد و ریزجانداران حل‌کننده فسفات در کشت ذرت رقم سینگل گراس ٦۰٤ افزایش غلظت و جذب روی را در اندام هوایی گیاه گزارش نمودند. تحقیقات پری و همکاران [۲۷] در سال ۲۰۱۱ نشان می‌دهد که فسفر در افزایش محتوای نشاسته، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و افزایش سطح کاروتن در برگ ذرت نقشی ندارد. احتشامی و همکاران [۱] در سال ۱۳۸۷ در بررسی که بر روی اثر مایه‌زنی بذر با باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریز بر تحمل ذرت به تنش کم‌آبی انجام دادند دریافتند که در تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، تیمارهای تلقیح بذر با قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری حل کننده فسفات‌های نامحلول، در کلیه سطوح آبیاری بالاتر از تیمارهای کود شیمیایی و تیمار شاهد قرار گرفتند؛ یافته‌های آن‌ها نشان داد که ریزموجودات حل کننده فسفات‌های نامحلول به‌دلیل تأثیر هم‌افزایی بر افزایش رشد و جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر در ذرت، افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه و نیز افزایش سطح تماس و جذب ریشه از خاک می‌توانند منجر به افزایش تحمل گیاه در شرایط تنش کم‌آبی گردند.

گورنیک و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۰۸ گزارش کردند تحت شرایط تنش کمبود آب میزان کلروفیل کل گیاه انگور کاهش یافته اما با مصرف کیتوزان میزان کلروفیل افزایش پیدا کرده است.

هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر تلقیح قارچ میکوریزا آربوسکولار با بذور ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰٤ بر برخی از صفات فیزیولوژیک ذرت تحت تنش کمبود آب بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر همزیستی قارچ میکوریزا آربوسکولار بر برخی از صفات فیزیولوژیک گیاه ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰٤ در شرایط تنش کمبود آب، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل درسال ۱۳۹٤ اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح تنش کمبود آب (صفر، ٤-، ۸- و ۱۲- بار) و پیش تیمار بذر با سه گونه قارچ میکوریزا

(*فونلی فورمیس موسه‌آ*، *ریزوگلوموس فسیکولاتوم* و *کلاروئیدوگلوموس اتانیکاتوم*) و تیمار بدون تلقیح قارچی به عنوان شاهد بودند. در این آزمایش از بذر ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰٤ با قدرت رویش مناسب، رطوبت اولیه ۱۱/٦ درصد، قوه‌نامیه ۹۲ درصد و خلوص بذر ۹۸ درصد از بذرهای تولیدی سال ۱۳۹۳ که از شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان تهیه شده بود استفاده گردید. گونه‌های قارچی بومی خاک‌های کشور بوده و مایه تلقیح آن‌ها از بخش تحقیقات بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. برای تلقیح قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار مقدار ۳۰ گرم از مایه تلقیح قارچ‌ها شامل اسپور (۱۲–۱۰ اسپور در هر گرم بستر)، هیف و قطعات کلنیزه شده (۸۵–۷۵ درصد) و کلنیزه نشده ریشه‌ای در عمق ۵ سانتی‌متری از خاک گلدان قرار داده شد و با خاک زیر مخلوط گردید. به‌منظور حفظ جمعیت میکروبی غیر از قارچ میکوریز و یکسان شدن وزن گلدان‌ها، مقدار ۳۰ گرم از بستر گلدان‌های شاهد تلقیح نشده با قارچ که در مرحله کشت تکثیر نگهداری شده بودند به تیمارهای بدون قارچ در کشت اصلی اضافه گردید. مایه تلقیح گونه‌های میکوریزی با تعداد اسپور یکسان، استفاده گردید. سپس ۲۰ بذر سالم تلقیح شده با قارچ‌های فوق در گلدان‌ها قرار داده شدند. قبل از اعمال تنش کمبود آب جهت ایجاد همزیستی بین میکوریزا با بذور، گلدان‌ها به مدت سه هفته در دمای ۲۵–۲۲ درجه سانتی‌گراد در گلخانه نگهداری شدند. پس از سبز شدن بذرها، تنک کردن گیاهچه‌ها در چند مرحله انجام گردید و در نهایت، داخل هر گلدان دو بوته نگهداری شد. برای اعمال تنش کمبود آب ابتدا آب قابل نگهداری در آزمایشگاه با رسم منحنی رطوبتی خاک محاسبه و بقیه تیمارهای کمبود آب بر مبنای آن محاسبه گردید. ۱/۵ ماه بعد از کشت (مرحله شش برگی شدن) تیمارهای کمبود آب بر گلدان‌ها اعمال شد. سپس گلدان‌ها به مدت یک هفته درون اتاقک رشد قرار گرفتند. تعیین مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار تنش کمبود آب، از طریق وزن نمودن گلدان‌ها انجام گرفت [۲].

محتوای کلروفیل: برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل، ۰,۲ گرم بافت برگی تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده شده و محلول حاصل به مدت پنج دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. سپس جذب محلول رویی در طول موج‌های ٦٤٧، ٦٦٤ و ٤٧٠ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت گردید. میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر برگ با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شدند [۳]:

رابطه ۱: $Chla= 15.65A666 -7.340A653$

رابطه ۲: $Chlb= 27.05A653-11.21A666$

رابطه ۳: $ChlT= Chla+ Chlb$

رابطه٤: $Cartenoid= [(4.785A470+3.657A663 - 12.76A646.8 \times 8.1]/FW$

A666= مقدار جذب در طول موج ٦٦٦ نانومتر،
A653= مقدار جذب در طول موج ٦٥٣ نانومتر،
A470= مقدار جذب در طول موج٤٧٠ نانومتر
A663.2= مقدارجذب درطول موج ٦٦٣/٢ نانومتر
A646.8= مقدارجذب درطول موج٦٤٦/٨ نانومتر
FW= وزن تازه برگ

در این فرمول chla، chlb، chlT و car به‌ترتیب غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها می‌باشد.

کربوهیدرات‌های محلول: برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول ابتدا ۰/۲ گرم بافت سبز به همراه ۱۰ سی‌سی الکل اتانول ۹۵ درصد را در لوله‌های آزمایش در بسته قرار داده و به مدت یک ساعت درحمام بن‌ماری در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و پس از سرد شدن ۱ سی‌سی از نمونه را بر داشته و به آن ۱ سی‌سی فنل ۰/۵ درصد و ۵ سی‌سی اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید. میزان نور جذبی در ٤٨٣ نانومتر در اسپکتوفتومتری یادداشت و میزان کربوهیدرات استخراجی بر اساس میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر از جدول استاندارد استخراج گردید [۱۵].

پرولین برگ: برای اندازه‌گیری پرولین برگ، ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ تَر در ۱۰ میلی‌متر سولفوسالیسیلیک‌اسید ۳/۳ درصد به وسیله هاون، هموژن شده و عصاره حاصل صاف گردید. ۲ میلی‌لیتر اسید استیک و ۲ میلی‌لیتر ناین هیدرین به ۲ میلی‌متر از عصاره صاف شده فوق، اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. غلظت پرولین نمونه‌ها در تولوئن با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تَر محاسبه شد [۱۹].

محتوای آب نسبی برگ: برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ از هر گلدان پنج عدد دیسک برگی به قطر یک سانتی‌متر تهیه شد. دیسک‌های برگی پس از توزین، در داخل لوله‌های آزمایشی محتوی آب مقطر قرار داده شدند. درب لوله‌های آزمایشی با فویل پوشیده شد و به مدت ٢٤ ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا به حداکثر وزن اشباع خود برسند. وزن نمونه‌های آماس شده با ترازوی حساس توزین و پس از آن نمونه‌ها در داخل آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٢٤ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها توزین شد. مقدار آب نسبی برگ هر نمونه با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد [١٤].

رابطه ۵: $RWC= ((Fw-Dw))/((Sw-Dw))\times 100$

که در آن Fw: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه برداری، Dw: وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون و Sw: وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر می‌باشند. تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

اثر همزیستی میکوریزا و تنش کمبود آب بر مقدار کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و محتوای نسبی آب برگ گیاه ذرت

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر سطوح مختلف تنش کمبود آب بر محتوای نسبی آب برگ، کربوهیدرات‌های محلول و پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر میکوریزا بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال پنج درصد، و برهمکنش آن‌ها بر محتوای نسبی آب و پرولین برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای تنش کمبود آب و میکوریزا نشان داد بالاترین مقدار محتوای نسبی آب برگ از تیمار (*ریزوگلوموس فسیکولاتوم* و بدون اعمال تنش) و کم‌ترین مقدار محتوای نسبی آب برگ

از تیمار (عدم تلقیح بذر و ۱۲- مگاپاسکال) به‌دست آمد (جدول ۵). میسلیوم قارچ میکوریز ا آربوسکو لار در خاک نقش مهمی در تأثیر قارچ بر رابطه آبی گیاه میزبان دارد و باعث جذب آب از منافذ بسیار ریز خاک می شود [۲].

اختلاف در میزان محتوای آب نسبی برگ ممکن است نشان دهنده تأثیر متفاوت تیمارها برای جذب آب از خاک و یا توانایی کنترل هدر روی آب از طریق روزنه‌ها و یا اختلاف در توانایی گیاهان برای تجمع و تنظیم اسمزی برای حفظ تورژسانس بافت و افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیک باشد. محتوی نسبی آب برگ در هنگام تنش شدید رابطه نزدیکی با پتانسیل آب گیاه دارد، تنش کم‌آبی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش توسعه‌ی برگ‌ها می‌شود و به‌دلیل کاهش دی‌اکسیدکربن در دسترس گیاه میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد [۲]. طی بررسی‌های انجام شده توسط محققان محتوای نسبی آب برگ و وزن تر گیاه تحت تنش کاهش معنی‌داری داشت [۲۵]. که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد.

تجمع پرولین یکی از سازوکارهای درگیر در انطباق گیاهان با تنش می‌باشد. طی مطالعاتی همبستگی مثبتی بین تجمع پرولین و مقاومت به تنش‌های محیطی گزارش شده است [۲۹]. افزایش پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد شد [۲۵]. مطالعه‌های انجام شده بر مرحله گیاهچه‌های سورگوم (*Sorghum bicolor*) نشان داد که محتوای پرولین افزایش معنی‌داری طی تنش گرمایی داشت [۲۳].

نتایج نشان داد که با افزایش سطوح تنش کمبود آب میزان تجمع پرولین افزایش یافت ولی تیمار با قارچ میکوریزا از میزان تجمع پرولین کاست؛ به‌طوری که بیش‌ترین میزان پرولین در تیمار ترکیبی ۱۲- مگاپاسکال و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا به‌دست آمد. قارچ میکوریزا در سطوح بالای تنش کمبود آب در کاهش میزان پرولین از کارآیی بیشتری برخوردار بوده و میزان انباشت پرولین را در بافت برگ به مقدار زیادی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده کاهش داده است [۲]. وو و همکاران [۳۲] در سال ۲۰۰۷ گزارش کردند که برگ‌های گیاهان نارنج سه برگ حاوی قارچ میکوریزا آربوسکولار پرولین کمتری نسبت به برگ‌های گیاهان بدون قارچ تحت شرایط آبیاری کامل و تنش کمبود آب دارند که این ممکن است به‌دلیل مقاومت بیشتر نهال‌های حاوی قارچ به کمبود آب یا آسیب کمتر آنها تحت شرایط کمبود آب باشد. معمولا گیاهان میکوریزا با استفاده

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب	پرولین	کربوهیدرات
تنش کم‌آبی	۳	۹۶۱/۲۹**	٤/۷۳**	۱۳۳۹۳/۵٦**
میکوریزا	۳	۱۹۲/٤۳*	۰/٦۸^{ns}	۱۳۹/۷۸^{ns}
تنش‌کم‌آبی× میکوریزا	۹	۱۰۳/٦۹*	٦۳/۳۸*	۷٤۸۳۷/۱۵^{ns}
خطای آزمایش	۳۲	۰/۹۷	۰/٤۸	۹۷۵/٤۳
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۰/٤۹	۹/٤۱	۱۳/۰٦

*، ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد ns: غیرمعنی‌دار

از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون میکوریزا، قادرند از شرایط تنش کمبود آب به‌طور موقت فرار کنند و کمتر دچار آسیب شوند و در نتیجه میزان پرولین و قندهای محلول نسبت به گیاهان بدون میکوریز ا افزایش کمتری نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار کربوهیدرات با میانگین ۷۲۲/۲۶ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر برگ از بالاترین سطح تنش حاصل شد (جدول ۲). افزایش غلظت اسمولیت‌های سازگار مانند کربوهیدرات و پرولین تحت تأثیر تنش‌های محیطی مانند کمبود آب به اثبات رسیده است. به نظر می‌رسد تجمع ترکیب‌هایی همانند پرولین و کربوهیدرات در بافت سبز گیاه تحت تنش کمبود آب می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم آورد، اما اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه بر بوده و گیاه این هزینه را از طریق کاهش عملکرد جبران می‌کند [٤]. در بین گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزا نیز بیش‌ترین میزان کربوهیدرات در تیمار همزیست *ریزوگلوموس فسیکولاتوم* مشاهده شد، ولی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات بیژنی و همکاران [٤] روی شنبلیله مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند غلظت اسمولیت‌های سازگار تحت تأثیر همزیستی گیاه با قارچ‌های میکوریزا تحت شرایط تنش آبی قرار نگرفت.

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات ارزیابی شده ذرت تحت تأثیر تنش کمبود آب

تنش کمبود آب (مگاپاسکال)	کربوهیدرات (میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
۰	۳٦۸/۲۸^{d}	٦/۳٦^{a}	۸/٤۹^{a}
-٤	٥٤۹/٥۲^{c}	٥/۹۷^{ab}	۷/۸۲^{b}
-۸	٦۷۹/۷۸^{b}	٥/٤۲^{b}	٦/٥۹^{c}
-۱۲	۷۲۲/۲٦^{a}	٤/۸۷^{c}	٥/۰۳^{d}

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نداشتن اختلاف آماری در سطح احتمال ۵٪

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات ارزیابی شده ذرت تحت تأثیر سویه‌های مختلف میکوریزا

میکوریزا	کربوهیدرات (میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
عدم تلقیح	۱۰۱٥/۸٥^{a}	٦/۳٥^{bc}	٥/٤۷^{c}
کلاروئیدوگلوموس اتانیکاتوم	۹٦۳/٤٥^{ab}	۷/۳۱^{b}	٦/۷۲^{b}
فونلی‌فورمیس موسه‌آ ریزوگلوموس فسیکولاتوم	۱۰۰۱/۲۹^{a}	۹/۲٤^{ab}	۷/٤۹^{a}
	۱۰٤٦/۷٦^{a}	۱۱/۰۱^{a}	۷/۹٦^{a}

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نداشتن اختلاف آماری در سطح احتمال ۵٪

جدول ٤. تجزیه واریانس (میانگین مربعات درصد) صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش

	میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
تنش کم‌آبی	۳	۵۵۷/۸۱**	۳۲/۸٦**	٥٦/٦٩**	۰/٦٦۲*
میکوریزا	۳	۳٤/۳۲**	۷/٥٤**	۷۲۸/٦٥**	۸/٦۲۱ **
تنش‌کم‌آبی× میکوریزا	۹	۷/٥۸**	٤/۷۸^{ns}	٥٤/۳٥**	۰/۳۸۹^{ns}
خطای آزمایش	۳۲	۰/٦۹	۰/٥۱	۱/۰۷	۱/۲٤
ضریب تغییرات (٪)	–	۷/۱	۹/۱۳	٦/۰۹	۱۰/۳۱

*، ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد ns: غیرمعنی‌دار

اثر میکوریزا و تنش کمبود آب بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه ذرت

نتایج حاصل نشان داد که اثرات اصلی تنش کمبود آب و میکوریزا بر روی رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش تنش کمبود آب و میکوریزا روی محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار، اما روی محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید معنی‌دار نبود (جدول ٤). نتایج نشان داد که محتوی کلروفیل a به‌دلیل حساسیت بیشتر نسبت به تنش کمبود آب با کاهش پتانسیل آب کاهش یافت. قارچ میکوریزا در سطح عدم تنش در افزایش میزان کلروفیل از کارایی خوبی برخوردار بوده و میزان انباشت کلروفیل را در بافت برگ به مقدار زیادی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده افزایش داده است، بنابراین بیش‌ترین میزان کلروفیل a (۲۳/۸۵ میلی‌گرم برگرم وزن تر) و کلروفیل کل (۳۳/۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار ترکیبی عدم تنش و قارچ *ریزوگلوموس فسیکولاتوم* و کم‌ترین میزان کلروفیل a (۷/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۱۷/٤۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار ترکیبی ۱۲- مگاپاسکال و عدم پیش تیمار بذر با قارچ به‌دست آمد (جدول ۵).

به‌نظر می‌رسد کاهش محتوای کلروفیل در هنگام مواجه با تنش کمبود آب، در اثر تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل بوده است [۳۳]. طی پژوهشی محققان کاهش محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل برگ را تحت افزایش دما در ذرت گزارش کردند [۳٤]. اصلانی و همکاران [۱۷] در سال ۲۰۰۹ اظهار داشتند که تنش آبی اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل ریحان داشت به‌طوریکه با کاهش مقدار آب خاک، مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل کاهش یافت. علاوه بر دلایل فوق‌الذکر برای افزایش میزان کلروفیل با کاربرد قارچ‌های میکوریزا، افزایش در میزان کلروفیل گیاه میکوریزایی شده را به افزایش جذب نیتروژن توسط سیستم میکوریزایی نسبت دادند [۲۸]. که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد. نتایج حاصل از مقایسات میانگین به روش دانکن (جدول ۲) نشان داد که با افزایش سطوح تنش کمبود آب، میزان کلروفیل b و کاروتنوئید به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. که در تمام سطوح کمبود آب، تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود و در گروه‌های آماری جداگانه قرار می‌گیرند. بنابراین بیش‌ترین میزان کلروفیل b (٦/۳٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کاروتنوئید (۸/٤۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش صفات اندازه‌گیری شده ریحان تحت تأثیر تنش کمبود آب و پرایمینگ

میکوریزا	تنش کم‌آبی (مگاپاسکال)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	پرولین (میکرومول در گرم وزن تر)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
عدم تلقیح	۰	۷۸/۲۳^{bc}	۳۳/۶۷^{c}	۱۷/۰٤^{b}	۲٦/٤۳^{b}
	-٤	۸۱/۳۹^{b}	۳٦/۰۲^{b}	۱۲/۹۲^{cd}	۲٤/۱۰^{bc}
	-۸	۸٤/۸۷^{a}	۳۷/۲۱^{b}	۹/۱٤^{d}	۲۰/۸۱^{d}
	-۱۲	۷۵/۱۸^{c}	٤۰/۲٤^{a}	۷/۸^{e}	۱۷/٤۱^{e}
کلاروئیدوگلوموس اتانیکاتوم	۰	۷٦/٦۳^{c}	۲۵/۹٦^{ef}	۱۹/۲۷^{b}	۳۱/۱٦^{a}
	-٤	۸۰/۳^{b}	۲۸/۳^{e}	۱۳/٦۱^{c}	۲۸/۷۷^{ab}
	-۸	۸۳/۷۷^{ab}	۲۹/٤۹^{de}	۹/۳۷^{d}	۲۵/٤۸^{b}
	-۱۲	۸۵/۳٦^{a}	۳۲/۵۱^{cd}	۸/۱۳^{de}	۲۲/۰۹^{c}
فونلی‌فورمیس موسه‌آ	۰	۷٦/۳۲^{c}	۲۸/۲۸^{de}	۲۱/۱۲^{ab}	۳۲/۱٦^{a}
	-٤	۷۹/۹۹^{b}	۳۰/٦۲^{d}	۱٤/۳۸^{c}	۲۹/۸۲^{ab}
	-۸	۸۳/٤٤a^{b}	۳۱/۸۱^{d}	۱۰/۱۹^{d}	۲٦/۵۳^{b}
	-۱۲	۸۵/۰۱^{a}	۳٤/۸٤^{c}	۸/۹۲^{de}	۲۳/۱٤^{c}
ریزوگلوموس فسیکولاتوم	۰	۸٦/٤۵^{a}	۳۱/۸۹^{d}	۲۳/۸۵^{a}	۳۳/۳۵^{a}
	-٤	۷۸/۸۵^{b}	۳٤/۲٤^{c}	۱۷/۹۲^{b}	۳۱/۰۱^{a}
	-۸	۸۲/۳۲^{fb}	۳۵/۳^{bc}	۱۳/۲۳^{c}	۲۷/۷۲۱^{b}
	-۱۲	۸۳/۹۱^{ab}	۳۸/۳٦^{ab}	۱۱/۷۸^{cd}	۲٤/۳۳^{bc}

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نداشتن اختلاف آماری در سطح احتمال ۵

تیمار بدون اعمال تنش (صفر مگاپاسکال) و کم‌ترین میزان کلروفیل b (٤/۸۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کاروتنوئید (۵/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به سطح تنش ۱۲- مگاپاسکال بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که قارچ میکوریزا آربوسکولار باعث افزایش مقدار کلروفیل b و کاروتنوئید در شرایط تنش کمبود آب شد. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کلروفیل b و کاروتنوئید به‌ترتیب در تیمار با قارچ گونه *ریزوگلوموس فسیکولاتوم* و تیمار بدون قارچ به‌دست آمد (جدول ۳). اسرار و الهیندی [۱۸] در سال ۲۰۱۱ نیز افزایش میزان کارتنوئیدها را تحت تنش کمبود آب در گیاه همیشه بهار (*Tagetes erecta*) تلقیح شده با میکوریزا در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح میکوریزا گزارش کرده و این افزایش را در کاهش ممانعت و تخریب نوری رنگیزه‌های فتوسنتزی از طریق غیر فعال کردن فعالیت اکسیژن‌های برانگیخته سودمند عنوان کرده‌اند.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان داد که اعمال تنش و عدم پیش تیمار بذر با میکوریزا، در مراحل مختلف تأثیرات منفی متفاوتی بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه می‌گذارد. بیش‌ترین میزان کاهش در محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار ترکیبی ۱۲- مگاپاسکال و عدم پیش تیمار بذر با گونه‌های قارچ میکوریزا آربوسکولار

بود. تجمع یون‌ها یا مولکول‌های آلی در واکوئل سلول‌های برگ تحت تنش کمبود آب، در گیاهان میکوریزا بیش‌تر انجام می‌شود و باعث کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌های برگ می‌گردد. تمام این تغییرات موجب تغییر نسبت آب در گیاهان میکوریزای می‌شود. بنابراین همزیستی گیاهان ذرت با میکوریزا از طریق افزایش ترکیبات حفاظتی مانند پرولین و کربوهیدرات‌های محلول باعث کاهش اثرات منفی تنش کمبود آب شد. در بین گونه‌های میکوریزا به کاربرده شده در این آزمایش گونه *ریزوگلوموس فسیکولاتوم* از موفقیت بیش‌تری در همزیستی و کاهش خسارات ناشی از تنش‌های کمبود آب برخوردار بود. بنابراین، با توجه به اثربخش بودن همزیستی قارچ‌های میکوریزا برای کاهش اثرات تنش کمبود آب در شرایط آزمایشگاهی، انجام آزمایش‌های تکمیلی در کشت مزرعه‌ای نیز پیشنهاد می‌گردد.

منابع

[۱] احتشامی، م.، آقاعلیخانی، م.، چائی‌چی، م.، خاوازی، ک. ۱۳۸۷. تأثیر کودهای زیستی فسفاته بر خواص کمی و کیفی ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰٤ در شرایط تنش کم‌آبی. مجله علوم گیاهان زراعی، جلد ٤۰، شماره۱. صفحات ۲٦-۱۵.

[۲] اسماعیل پور، ب.، جلیل‌وند، پ.، هادیان، ج. ۱۳۹۲. تأثیر تنش کمبود آب و قارچ میکوریزا بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد مرزه (*Satureja hortensis* L.)، نشریه بوم شناسی کشاورزی، جلد ۵، شماره۲. صفحات ۱۷۷-۱٦۹.

[۳] افکاری، ا. ۱۳۹٦. تأثیر تنش خشکی و مقادیر کود نیتروژنه بر میزان و عملکرد اسانس و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، دوماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، جلد ۳۳، شماره٦. صفحات ۱۰۵۹-۱۰٤۷.

[٤] بیژنی، م.، یدالهی‌دهچشمه، پ.، اصغری‌پور، م.ر.، حیدری، م. ۱۳۹٤. تأثیر تلقیح میکوریزایی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) تحت تنش کمبود آب، نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد ۹، شماره ۳، صفحات ۳۵۲-۳۳۷.

[۵] پوررافضی، ا.ر.، افکاری، ا. ۱۳۹٦. اثر قارچ میکوریز و کود فسفره بر برخی خصوصیات زراعی و بیوشیمیایی ذرت تحت تنش کم‌آبی. فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی. جلد ۱۳، شماره ۱، صفحات ٤۸-۳۷.

[٦] پیردشتی، ه.، ربیعی، ز.، راهداری، پ. ۱۳۹۱. تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر میزان کلروفیل و کارتنویید گیاه دارویی گشنیز تحت تنش شوری، گیاه و زیست بوم، جلد ۸، شماره ۱، صفحات ۷٤-٦۱.

[۷] خورشیدی، م.، بیچرانلو، ب.، باقری، م. ۱۳۹۲. افزایش تحمل گیاهچه‌های ذرت به تغییرات دما از طریق همزیستی با سه گونه میکوریزا، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۳، شماره ٤۱، صفحات ۲۰۰-۱۸۷.

[۸] دولتمندشهری، ن.، طهماسبی، ا.، حق شناس، م. ۱۳۹۷. پاسخ فیزیولوژیکی گیاهچه‌های ذرت (*Zea mays* "Mv500") به دماهای خارج از آستانه گیاه در غلظت‌های سالیسیلیک اسید،

فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۱۰، شماره ۳۸، ص ۱۳۱-۱۱۱.

[۹] رسولی‌صدقیانی، م.ح.، قره‌ملکی، ت.، بشارتی، ح.، توسلی، ع.ر. ۱۳۹۰. تأثیر باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز بر رشد و جذب روی توسط ذرت در یک خاک آلوده به روی. دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۲، صفحات ۱۴۷-۱۳۵.

[۱۰]شاه‌حسینی، ز.، غلامی، ا.، اصغری، ح.ر. ۱۳۹۱. تأثیر همزیستی میکوریزایی و کاربرد اسید هیومیک بر کارآیی مصرف آب و شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد ذرت در شرایط کم آبیاری، دو فصلنامه علمی- پژوهشی خشک بوم، جلد ۲، شماره ۱، صفحات ۵۷-۴۰.

[۱۱]شکاری، ف.، پاک‌مهر، ا.، راستگو، م.، صبا، ج.، وظایفی، م.، زنگانی، ا. ۱۳۸۹. تأثیر پرایمینگ سالیسیلیک‌اسید بر برخی صفات مورفولوژیک لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت تنش کم‌آبی در مرحله غلاف‌بندی، فن‌آوری‌های نوین کشاورزی (ویژه زراعت و باغبانی)، سال ٤، شماره ۱، صفحات ۲۶ -۵.

[۱۲]قربانیان، د.، رجالی، ف.، اسمعیلی زاد، ا. ۱۳۹۳. بررسی کارایی همزیستی قارچ‌های مایکوریزا با گیاه ذرت تحت شرایط تنش کم‌آبی و سطوح مختلف فسفر، نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۸، شماره ٤، ص ٦٨٩-٦٧٦.

[۱۳]قوشچی، ف. ۱۳۹٤. بررسی امکان کاهش خسارت ناشی از تنش قطع آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و کفیت ذرت دانه‌ای با کاربرد پلیمر سوپرجاذب، فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی، سال ۷، شماره ۲۷، صفحات ۹٤ -۸۵

[۱٤]مرتضوی، س.م.، توکلی، ا.، محمدی، م.ح.، افصحی، ک. ۱۳۹٤. اثر کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گندم رقم آذر ۲ در شرایط دیم، نشریه زراعت، جلد ۱، شماره ٦، ص ۱۱۲-۱۱۸.

[۱۵]مهدویان، ک. ۱۳۹٦. تأثیر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک‌اسید در تعدیل اثرات تنش کلرید سدیم بر روی پارامترهای رشد و رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال ۱۲، شماره ٤۷، صفحات ۱۰٦ -۹۳.

[16] Abo-Ghalia, H.H., Khalafallah, A.A., 2008, Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to shortterm water stress followed by recovery at three growth stages, Journal of Applied Sciences Research, 4(5): 570-580.

[17] Aslani, Z., Hassani, A., Rasooli Sadagiyani, M.H., Sefidkon, F., Barin, M., Gheibi, S.A., 2009, Effect of symbiosis with mycorrhiza fungi on some physiological characteristics of basil (*Osimum basilicum*) under drought stress, Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 2 (2): 109-117.

[18] Asrar, A.W.A., Elhindi, K.M., 2011, Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi, Saudi Journal of Biological Science, 18: 93-98.

[19] Bates, L.S., Waldern, R.P., Tear, I.D., 1973, Rapid determination of free proline for water stress studies, Plant and Soil, 39: 205-207.

[20] Copetta, A., Lingua, G., Berta, G., 2006, Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese, Mycorrhiza, 16: 485-494.

[21] Gholami, A., Shahsavani, S., Nezarat, S., 2009, The Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. Proceedings of Word Academy of

[22] Sci, Engineering and Technol, 37: 2070-3740.
[23] Gornik, k., Grzesik, M., Duda, B.R., 2008, The Effect of chitosan on rooting of grapevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 16: 333-343.
[24] Gosavi, G.U., Jadhav, A.S., Kale, A.A., Gadakh, S.R., Pawar, B.D., Chimote, V.P., 2014, Effect of heat stress on proline, chlorophyll content, heat shock proteins and antioxidantenzymes activity in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling stage, Indian Journal of Biotechnology, 13:356-63.
[25] Hamdi, M.A., Shaddad, M.A.K., Doaa, M.M., 2004, Mechanisms of salt tolerance and interactive effects of Azospirillum brasilense inoculation on maize cultivars grown under salt stress conditions, Plant Growth Regul. 44: 165–174.
[26] Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K., Becker, D.F., 2013, Proline mechanisms of stress survival, Antioxid Redox Signal 20, 19 (9): 998–1011.
[27] Omidi, H., Movahadi, F., Movahadi, S.H., 2012, The effect of salicylic acid and scarification on germination characteristics and proline, protein and soluble carbohydrate content of Prosopis (*Prosopis farcta* L.) seedling under salt stress. Range and Desert Research, 18(4): 608-623.
[28] Perry, T.W., Rhykerd, C.L., Holt, D.A., Mayo, H.H., 2011, Effect of potassium fertilization on chemical characteristics, yield and nutritive value of corn silage, Journal of Animal Science, 34: 642-646.
[29] Rodriguez, V.M., Soengas, P.M., Villaverde, V.A., Sotelo, T., Cartea, M.E., [36] Velasco, P, 2015, Effect of temperature stress on the early vegetative development of *Brassica oleracea* L. BMC Plant Biology, 15 (145): 2-9.
[30] Saruhan, N., Saglam, A. and Kadioglu, A. 2012. Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. Acta Physiologiae Plantarum, 34 (1): 97–106.
[31] Shaukat, K., Affrasayab, S., Hasnain, S., 2006, Growth responses of *Helianthus annus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer, Journal Agriculture Research, 1(6): 573-581.
[32] Tang, M., Chen, H., Huang, G.C., Tian, Z.Q., 2009, Am fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays* L. seedlings under diesel stress. Soil Biology and Biochemistry, 41: 936- 940.
[33] Wu, Q.S., Xia, R.X., Zou, Y.N., Wang, G.Y., 2007, Osmotic solute responses of mycorrhizal citrus (*Poncitrus trifoliate*) seedlings to drought stress, Acta physiologica Plantarum, 29: 543-549.
[34] Xiao, X., Xu, X., Yang, F., 2008, Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cothayana* populations, *Silva Fennica*, 42: 705-719. [44].
[35] Yuzbasioglu, E., Dalyan, E., Akpinar, I., 2017, Changes in photosynthetic pigmants, anthocyanin content and antioxidant enzyme activities of maize (*Zea mays* L.) seedlings under high temperature stress conditions, Trakya University Journal of Natural Sciences, 18 (2): 97-104.

Effect of arbuscular mycorrhiza symbiosis on some physiological characteristics of maize (SC704) under water deficit condition

Afkari A.*

Department of Physiology, Kaleybar Branch, Islamic Azad University Kaleybar, Iran

* Email: afkariahmad@yahoo.com

Received: 25 November 2018 Accepted: 7 September 2019

Abstract

In order to investigate the effects of arbuscular mycorrhizae on some physiological characteristics of maize (SC704) under water deficit condition, a factorial experiment based on randomized complete design with three replications was conducted at the physiology laboratory of Islamic Azad University Branch Ardabili, during 2015. Studied factors were: water potential in four levels (Zero, -4, -8 and -12 MPa) and Seed pre-treatment with mycorrhizal fungus in four levels (no inoculation, Seed pre-treatment with *Funneliformis mosseae*, *Rhizoglomus fasciculatum* and *Claroideoglomu etanicatum*. The results showed that increasing water stress decreased chlorophyll a, b, total chlorophyll, carotenoid, relative water content and increased soluble carbohydrates and proline compounds followed, The seeds were inoculated with *rhizoglomus fasciculatum* of increasing traits in comparison with non-inoculated, respectively. The results of the comparison of mean interactions of drought stress and mycorrhiza showed that The highest content of chlorophyll a (85.23 mg/g fresh weight), total chlorophyll (35.33 mg/g fresh weight) and leaf water content (45.8%) related to stress-free treatment and inoculated plants with *rhizoglomus fasciculatum*. In general, the application of arbuscular mycorrhizal fungi increased the tolerance to water deficit stress through its effect on some physiological characteristics of corn.

Keywords: Biofertilizers, Chlorophyll content, Proline, Relative watwer content, Seed pre-treatment, Soluble carbohydrates.