اثرات همزیستی قارچ میکوریزی آربسکولار بر رشد و فیزیولوژی نهال‌های گونه بیابانی استبرق (*Calotropis procera* Ait.) تحت دوره‌های مختلف آبیاری

محمد بهمنی جعفرلو[۱]، ضیاءالدین باده یان[۱*] و جواد دلپسند[۲]

[۱] **ایران، خرم‌آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی**

[۲] **ایران، نور، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور**

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۲

چکیده

پژوهش حاضر باهدف کارایی استبرق در همزیستی قارچ میکوریز آربسکولار در شرایط تنش خشکی انجام‌شده است. طرح آزمایشی با دو سطح تلقیح (شاهد و قارچ میکوریزی) و شش سطح تنش خشکی دوره‌ای (۳، ۶، ۹ و ۱۲ روز) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی شکل گرفت. بالاترین درصد کلنیزاسیون در نهال‌های میکوریزی تحت شرایط بدون تنش با میزان ۴۳ درصد دیده شد. هم‌چنین نرخ فتوسنتز و تعرق در نهال‌های تلقیح شده تحت بدون تنش به ترتیب ۹/۰۶ و ۰/۳۵ نشان داده شد که با افزایش خشکی، روند کاهش پارامترها مشاهده می‌شود. تفاوت معنی‌داری در غلظت نیتروژن برگ و ریشه در نهال تلقیح شده و شاهد در تمام سطوح تنش نشان داده شد که این میزان در برگ نهال تلقیح شده بیشتر از ریشه نهال‌های تلقیح شده بود. کارایی مصرف آبی در نهال‌های تلقیح شده قارچ میکوریزی تحت تنش خشکی ۶ روزه، به بالاترین اندازه ۰/۵۵ رسید. نتایج تحقیق آشکار ساخت که استفاده از مایه تلقیح قارچ میکوریزی تا خشکی ۹ روزه به‌دلیل نقش آن در افزایش و تسهیل جذب آب و عناصر تغذیه‌ای، افزایش حجم ریشه، ایجاد کلنیزاسیون ریشه‌ای، بهبود متغیرهای فیزیولوژی نهال استبرق مفید به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: کلنیزاسیون ریشه‌ای، فتوسنتز، نیتروژن ، زنده‌مانی و خشک‌بوم

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۶۶۳۳۲۰۴۳۹۵ ، پست الکترونیکی: Badehian.z@lu.ac.ir

مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عامل غیرزیستی محدودکننده رشد و بازدهی گیاهان قلمداد می‌شود (۲۴)، ازاین‌رو گیاهان علاوه بر سیستم حفاظت طبیعی، قادرند با همزیستی تعدادی از ریز موجودات خاک، علائم تنش را کاهش دهند. قارچ میکوریز آربسکولار (=AMF *Arbuscular Mycorrhizal* Fungi) جزء گسترده‌ترین ریز موجوداتی هستند که قادر به ایجاد ارتباط همزیستی باریشه‌های بسیاری از گیاهان خشکی‌زی است (۲۹). قارچ‌های میکوریزی نوعی بیوتروف‌های اجباری هستند که تأثیر زیادی بر نحوه تکامل سیستم ریشه‌ای گیاهان دارند. تمامی این قارچ‌ها اندام خاصی را به نام آربسکول (Arbuscol) در پوست ریشه گیاه میزبان به‌وجود می‌آورند که محل تبادل عناصر غذایی بین دو همزیست است (۲۸).

اغلب مطالعات اکوفیزیولوژیک، سهم قارچ‌های میکوریزی بر تحمل به خشکی گیاه را ناشی از اثرات تجمعی فیزیکی، تغذیه‌ای، فیزیولوژی و سلولی دانسته‌اند؛ به‌طوری‌که عباسپور و همکاران (۹) با بررسی نهال تلقیح شده میکوریزی پسته (*Pistacia vera*) تحت تنش خشکی گزارش دادند که نهال تلقیح شده تحت شرایط بدون تنش، از وضعیت رویشی بالاتری نسبت به نهال تحت تنش

خشکی برخوردار است. هم‌چنین، وضعیت بهتری ازنظر غلظت فسفر، پتاسیم، روی و مس اندام هوایی در مقایسه با نهال شاهد تحت تنش دارد. طی پژوهشی دیگر، گنگ و همکاران (۱۹) با تأثیر قارچ‌های میکوریزی *Glomus mosseae* و *G. constrictum* بر رویش و فیزیولوژی نهال‌های *Sophora davidii* تحت تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که این قارچ‌ها باریشه گیاه تشکیل کلنیزاسیون داده و در مقایسه با نهال‌های شاهد سبب افزایش در وزن خشک ساقه و ریشه، ارتفاع، طول ریشه، نرخ فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای شده‌اند. هم‌چنین پژوهشگران دیگر، دانیلسون و پله (۱۶) با بررسی نقش تغذیه‌ای قارچ میکوریزی *Paxillus involutus* بر نهال صنوبر (*Populus canescens*) تحت تنش خشکی نشان دادند که گیاه تلقیح شده، هدایت روزنه‌ای، پتاسیم و منیزیم بیشتری نسبت به شاهد دارد. در تحقیقی دیگر، گنگ و همکاران (۲۰) طی بررسی روی رشد گیاه *Setaria italica*پی بردند که تنش خشکی مانع ایجاد کلنیزاسیون میکوریزی و رشد و عملکرد مطلوب گیاه شده است، درحالی‌که با تلقیح قارچ میکوریزی *Glomus intraradices* اندازه، ارتفاع و قطر یقه نهال‌های تحت تنش افزایش یافت. به‌طورخلاصه استبرق (*Calotropis procera* Ait.) از تیره استبرقیان (*Asclepiadaceae*) درختچه‌ای دائمی و چندساله است که در بسیاری از نواحی گرم بیابانی جنوب غربی آسیا و ناحیه مدیترانه تا سواحل آفریقا و هم‌چنین در جنوب ایران (خوزستان تا بلوچستان) پراکنش دارد (۲). استبرق دارای ارزش‌های اقتصادی و دارویی منحصربه‌فردی است که در جنگل‌کاری و احیای اراضی تخریب یافته مناطق خشک و بیابانی به‌خصوص در جنوب کشور نقش مهمی را ایفا می‌کند (۴، ۶ و ۸). درختچه استبرق باتوجه به اینکه در رویشگاه طبیعی، بذر زیادی تولید و دارای قوه نامیه بالایی است، اما در طبیعت با پراکنش کمی مواجه است که به‌نظر می‌رسد این درختچه بیابانی به‌دلیل خشکی بستر با مشکل استقرار اولیه روبه‌رو باشد (۱). ازاین‌رو در تحقیقی که توسط بوترا و همکاران (۱۳) بر نقش تنش خشکی بر رشد و محتویات کلروفیلی گیاه استبرق داشتند، به این نتیجه رسیدند که در ظرفیت زراعی ۳۰ و ۵۰ درصد، پارامترهای مورد اندازه‌گیری نهال‌ها کمترین مقادیر بودند. نظر به افزایش و تمرکز مطالعات روز دنیا بر نقش میکروارگانیسم‌ها بر روی بهبود رشد و فیزیولوژی نهال‌ها که قارچ‌های میکوریزی قادرند مقاومت به خشکی نهال‌ها را ارتقاء دهند، این پژوهش به‌دنبال این است تا کارایی قارچ میکوریزی *Glomus intraradices* بر مقاومت به تنش خشکی نهال‌های استبرق به‌مدت زمان شش ماه در شرایط گلخانه‌ای مورد بررسی قرارداده و مطلوب‌ترین شدت خشکی با لحاظ تلقیح میکوریزی را تعیین و برای عملیات اجرایی و میدانی معرفی نماید.

مواد و روشها

جمع‌آوری و آزمایش بذر: میوه تازه استبرق، در مردادماه سال ۱۳۹۰ از رویشگاه‌های طبیعی آن در روستای آباد شهرستان تنگستان از توابع استان بوشهر با عرض جغرافیایی ۳۲۱۳۲۰۶ m شمالی و طول ۵۲۳۷۰۳ m شرقی (در سیستم UTM)، مجموع بارندگی ۴۳۰ میلی‌متر و ارتفاع ۵۸ متر از سطح دریا) جمع‌آوری شدند. سپس بذر-های همسان و یکنواخت استبرق را انتخاب و به‌منظور ضدعفونی به‌مدت دو دقیقه در محلول قارچ‌کش Tiram Carboxin ۲ درصد قرارگرفت. به‌منظور تلقیح قارچ میکوریزی تعداد کافی بذرهای همسان، یکنواخت و استریل استبرق را روی پتری دیش ریخته و در انکوباتور با میانگین دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و ۱۰۰۰ لوکس نوری تا زمان جوانه‌زنی و ظهور ریشه‌چه نگهداری شدند (۱۲).

مشخصات و تلقیح قارچ میکوریز آربسکولار: جمعیت قارچ میکوریزی *Glomus Intraradices* برابر با

۲۵۰propagol/gr که از طریق کشت In *vitro* (درون شیشه‌ای) بریشه گیاه هویج که در بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور شناسایی، تلخیص و تکثیر شدند. طبق دستورالعمل موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، ابتدا ریشه‌های بذور جوانه‌دار شده با صمغ عربی ۲۰ درصد آغشته گشته و سپس با مایه تلقیح قارچ میکوریزی عمل تلقیح صورت گرفت. در پایان به ازای هر گلدان ۱۰عدد بذور جوانه‌دار شده تلقیح شده را در عمق ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متری بستر کشت با خاک لوم شنی که سترون شده قرارگرفت (۳). نهال‌های استبرق جهت رشد به مدت شش ماه در شرایط گلخانه‌ای با میانگین حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی شب و روز گلخانه در طول دوره پژوهش به ترتیب ۱۸، ۳۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۲ و ۵۰ درصد قرارگرفتند. به‌طوری که تنش خشکی نهال‌ها با چهار سطح ۳، ۶، ۹ و ۱۲ روز براساس ظرفیت زراعی (FC= Field Capacity) و مشخصات خاک تحت آزمایش اعمال شدند (۲۷).

جدول۱ – خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک مورد استفاده

هدایت الکتریکی (µs/m)	۰/۳۲۸	رس (٪)	۲۰	نیتروژن (%)	۱/۱۳
pH (گل اشباع)	۷/۷۱	سیلت (٪)	۳۰	فسفر (ppm)	۰/۲
شن (٪)	۵۰	کربن آلی (٪)	۱/۳۲	پتاسیم (ppm)	۹

اندازه‌گیری‌ها: اندازه‌گیری صفات مورفولوژی و فیزیولوژی در پایان دوره شش‌ماهه تنش (شهریورماه) انجام شد، حجم ریشه نیز از طریق اختلاف جابه‌جایی آب درون استوانه مدرج محاسبه شد (۱۴). سنجش رقومی تبادلات گازی ازجمله فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق هر نهال، با استفاده از دستگاه ADC BioScientific Ltd., UK صورت گرفت. به این صورت‌که با انتخاب سه برگ سالم و کاملاً توسعه‌یافته هر نهال با تیمارهای مورد نظر و تحت شرایط طبیعی در هوای آزاد و از ساعت ۱۱-۹ قبل از ظهر در شدت‌جریان فوتونی ۹۰۰-۸۰۰ میکرومول‌متر بر ثانیه اندازه‌گیری شدند. میزان کارایی مصرف آب بعد از سنجش نرخ فتوسنتز و تعرق نهال‌ها (A_i/E) به روش کارایی تبادلات گازی ژانگ (۳۲) محاسبه شدند. برای اندازه‌گیری غلظت نیتروژن برگ و ریشه، ابتدا با استفاده از اسیدسولفوریک غلیظ نمونه‌ها هضم شده و سپس رقیق-سازی و صاف شد و درنهایت با دستگاه کلجدال قرائت صورت گرفت. در پایان برای اندازه‌گیری درصد کلنیزاسیون ریشه‌ها، یک گرم ریشه شامل ریشه‌های اصلی و فرعی را جداسازی و با آب مقطر شستشو و در اتانول ۹۷ درصد قرارگرفتند. مقدمات رنگ‌آمیزی به روش فیلیپس و هایمن (۲۶) انجام گرفت و محاسبه عددی و درصدی کلینیزاسیون طبق روش Grind line Intersect، تعیین شد (۱۸).

تجزیه‌وتحلیل آماری: این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، مجموع ۱۰۸نهال (۹×۶×۲) بودند که آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای توکی در سطح آماری ۵ و ۱ درصد و ترسیم جداول و اشکال با نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام شد. شایان ذکر است، به‌طوری‌که به دلیل خشکیدگی نهال‌ها، سطوح بالاتر تنش خشکی (۱۵ و ۱۸ روز) در اواسط دوره، لذا تمام اندازه‌گیری‌ها و محاسبات، تا سطح تنش ۱۲ روز انجام گرفتند.

نتایج

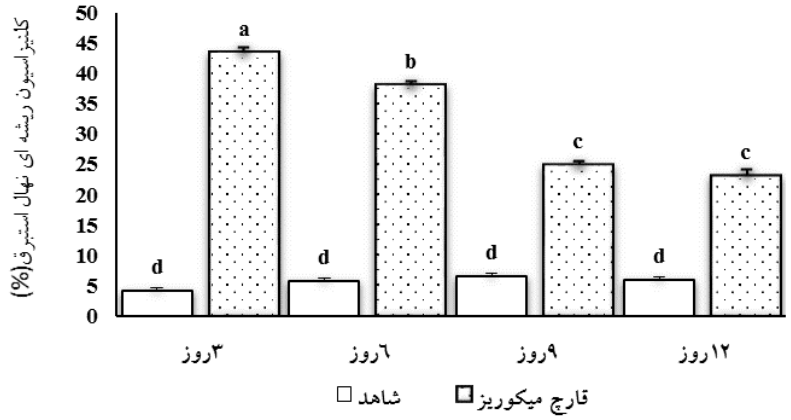
درصد کلنیزاسیون ریشه‌ای نهال‌های استبرق به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار تلقیح، تنش خشکی و اثر متقابل آن قرارگرفتند (جدول۲). به‌طوری‌که قارچ میکوریزی بیش‌ترین درصد کلنیزاسیون را نهال تحت تنش آبی ۳ روز نشان داد که با افزوده شدن به‌شدت تنش، از میزان کلنیزاسیون ریشه‌ای استبرق به‌صورت نزولی کاسته شد. نکته قابل‌توجه اینکه در نهال‌های بدون تلقیح قارچ میکوریزی نیز تا سطح تنش ۱۲روز آبیاری همزیستی میکوریزی هرچند اندک مشاهده شد (شکل ۱).

تنش خشکی روی میزان زنده‌مانی اثر معنی‌داری گذاشت، ولی اثر قارچ و نیز اثر متقابل این دو روی زنده‌مانی بی‌تأثیر بود. درواقع، در هر سطح تنش، زنده‌مانی نهال با تلقیح قارچ تغییری نکرد. علاوه براین، در هر دو تیمار قارچ میکوریزی و شاهد، زنده‌مانی تا سطح تنش خشکی ۹ روز تغییری نکرد، اما در سطح خشکی ۱۲ روز کاهش یافت. بااین وجود میزان آن در سخت‌ترین شرایط تنش (۱۲ روز) از ۷۵ درصد کاهش نیافت (شکل ۲، الف).

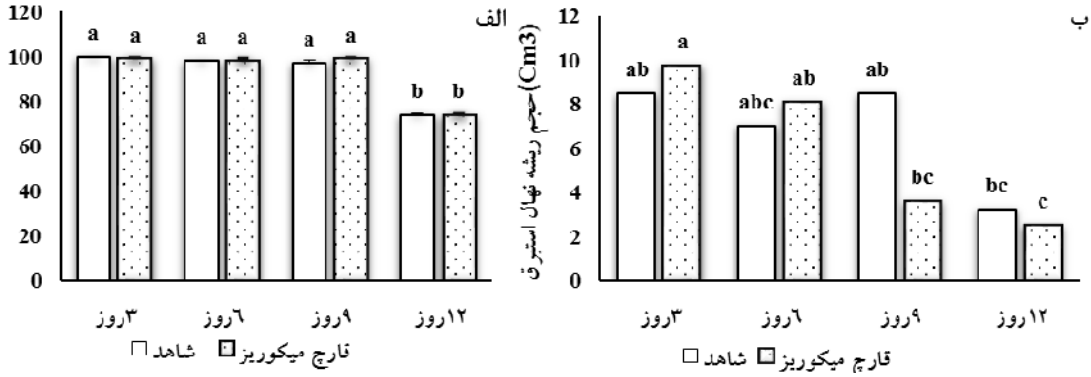
جدول ۲- تجزیه واریانس دوطرفه اثرات قارچ میکوریزآربسکولار بر پارامترهای نهال استبرق تحت تنش خشکی

پارامترها	قارچ میکوریزی			تنش خشکی			قارچ‌میکوریزی×تنش خشکی		
	df	*F-value*	*P-value*	*df*	*F-value*	*P-value*	*df*	*F-value*	*P-value*
کلنیزاسیون ریشه‌ای	۱	۲۳۹۸/۳۳	۰/۰۰ **	۳	۶۹/۰۸	۰/۰۰ **	۳	۹۸/۱۲	۰/۰۰ **
زنده‌مانی	۱	۰/۴۷۱	۰/۵۰ns	۳	۶۴۰/۳۵	۰/۰۰**	۳	۱/۶۴۷	۰/۲۱ ns
حجم ریشه	۱	۱/۱۰۴	۰/۳۰ ns	۳	۱۱/۵۱	۰/۰۰ **	۳	۳/۳۲۸	۰/۰۴ *
هدایت روزنه‌ای	۱	۱۶۳۸/۷۵	۰/۰۰ **	۳	۳۱۳/۸۸	۰/۰۰ **	۳	۳۷/۶۵	۰/۰۰ **
فتوسنتز	۱	۶۸/۹۱	۰/۰۰ **	۳	۶۴/۰۵	۰/۰۰ **	۳	۱۰/۶۳	۰/۰۰ **
تعرق	۱	۲/۱۰	۰/۱۶ ns	۳	۴/۹۵	۰/۰۱ **	۳	۱/۰۴	۰/۳۹ ns
کارایی مصرف آبی	۱	۱۶/۵۰	۰/۰۰ **	۳	۳/۱۳	۰/۰۵ *	۳	۱/۵۹	۰/۲۳ ns
نیتروژن برگ	۱	۱۹/۱۹	۰/۰۰**	۳	۲۴/۵۰	۰/۰۰**	۳	۲/۳۷	۰/۰۰**
نیتروژن ریشه	۱	۱۷/۲	۰/۰۰**	۳	۱۰۱/۷۳	۰/۰۰**	۳	۳۷/۳۷	۰/۰۰**

**، * و ns نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح آماری ۱٪، ۵٪ و عدم معنی‌داری است.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات قارچ میکوریزآربسکولار بر درصد کلنیزاسیون نهال استبرق تحت تنش خشکی



شکل ۲- مقایسه میانگین توکی اثرات توأم قارچ میکوریز آربسکولار ببر زنده‌مانی و حجم ریشه نهال استبرق تحت تنش خشکی

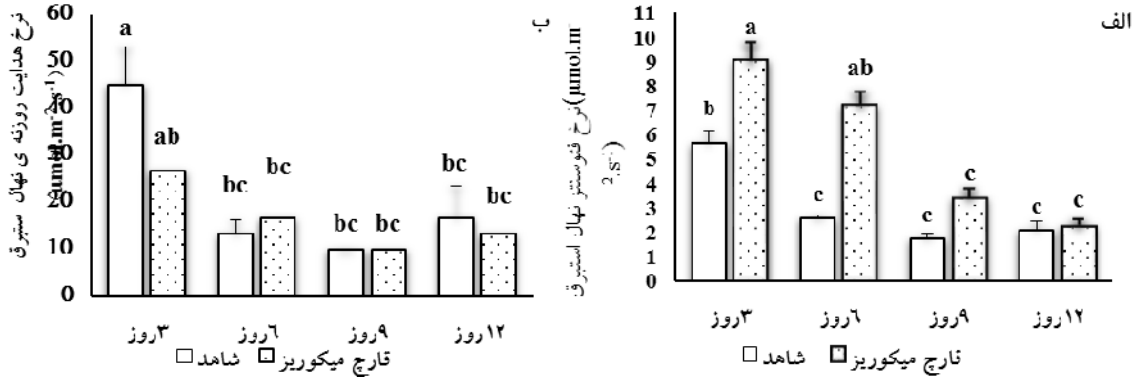
اثرات تلقیح میکوریز آربسکولار بر حجم ریشه معنی‌دار نبود، اما تنش خشکی و اثر متقابل این دو بر حجم ریشه اثر معنی‌داری نشان دادند (جدول۲). حداکثر میزان حجم ریشه در نهال تلقیح شده با قارچ میکوریزی در تنش آبی ۳ روز اتفاق افتاد. به‌طورکلی با افزایش تنش خشکی میزان حجم ریشه در هر دو تیمار قارچ و شاهد (به‌ویژه قارچ میکوریزی) روندی نزولی داشت. در مقایسه با تیمار بدون قارچ (شاهد)، قارچ میکوریزی توانست فقط تا تنش خشکی۶ روز حجم ریشه را بهبود بخشد (شکل ۲، ب).

اثر معنی‌دار تلقیح، تنش خشکی و متقابل آن بر نرخ فتوسنتز نشان داده شد (جدول۲)، درحالی‌که بیشینه نرخ فتوسنتز در نهال میکوریز آربسکولار در فاصله خشکی۳ روز مشاهده شد، به‌طوری‌که با افزایش سطح تنش در تیمار قارچ میکوریزی و شاهد روند کاهشی دیده شده و قارچ میکوریزی همواره در تمام سطوح خشکی نرخ بالایی از فتوسنتز را در مقایسه با شاهد داشت، درحالی‌که تا سطح تنش ۶ روز تفاوت معنی‌داری نشان داد (شکل ۳، الف). تلقیح، تنش خشکی و اثر متقابل آن تأثیر معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای نهال‌ها داشت (جدول۲). نرخ هدایت روزنه‌ای در نهال‌های بدون تلقیح و تنش به میزان ۴۵ میکرومول بالاترین بود که با افزایش شدت تنش خشکی از میزان آن کاسته شد. به‌طوری‌که به جز در سطح خشکی ۳ روز، بقیه سطوح تنش هیچ تفاوت معنی‌داری در شرایط تلقیح و بدون تلقیح نشان ندادند (شکل ۳، ب).

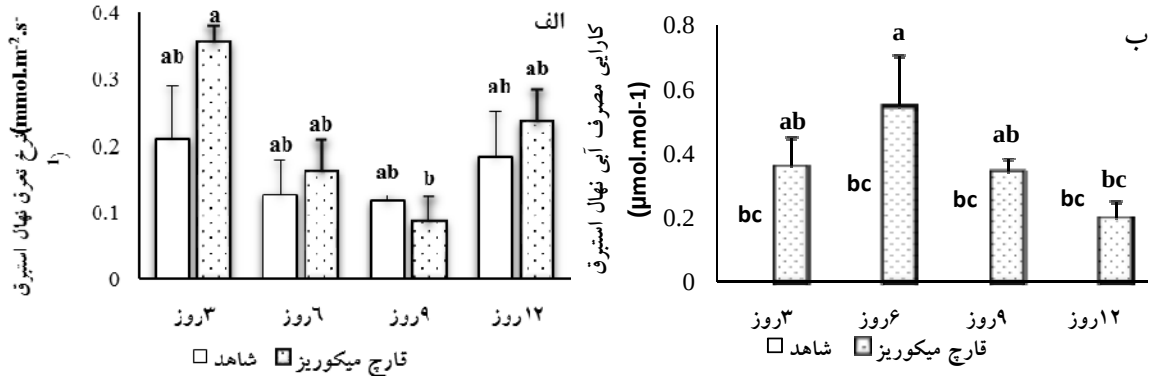
تنش خشکی تأثیر معنی‌دار، تلقیح و اثر متقابل آن تأثیر غیرمعنی‌داری بر نرخ تعرق داشته است (جدول۲). بنابراین بالاترین نرخ آن در نهال‌های میکوریز آربسکولار تحت فاصله خشکی۳ روز دیده شد، درحالی‌که با افزایش تنش به طوری تقریبی منجر به کاهش نرخ تعرق در هر دو تیمار میکوریزی و شاهد گردید. قابل ذکر است که قارچ میکوریزی در مقایسه با تیمار شاهد موجب افزایش نرخ تعرق در نهال‌های استبرق شده‌اند (شکل ۴، الف). کارایی مصرف آبی نهال استبرق به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش آبی، تلقیح و اثر متقابل آن قرارگرفتند (جدول۱)، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان آن در نهال میکوریزی با فواصل خشکی۶ روز دیده شد. با قرارگیری نهال‌ها در سطوح بالاتر تنش خشکی به کاهش در کارایی مصرف آبی منتج شد، درحالی‌که تا میانه تنش (۶روز) افزایش دیده شد و قارچ میکوریزی در هر سطح تنش تأثیر مطلوبی بر متغیر موردنظر نسبت به شاهد داشت (شکل ۴، ب).

تیمارهای قارچ میکوریزی، خشکی و اثر متقابل آن بر میزان غلظت نیتروژن برگ و ریشه اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان دادند (جدول ۲). در نهال‌های شاهد و قارچ میکوریزی، غلظت نیتروژن برگ در سطح تنش شاهد یا ۳ روز به ترتیب ۳/۴۷ و ۳/۳۹ درصد، بالاترین غلظت دیده

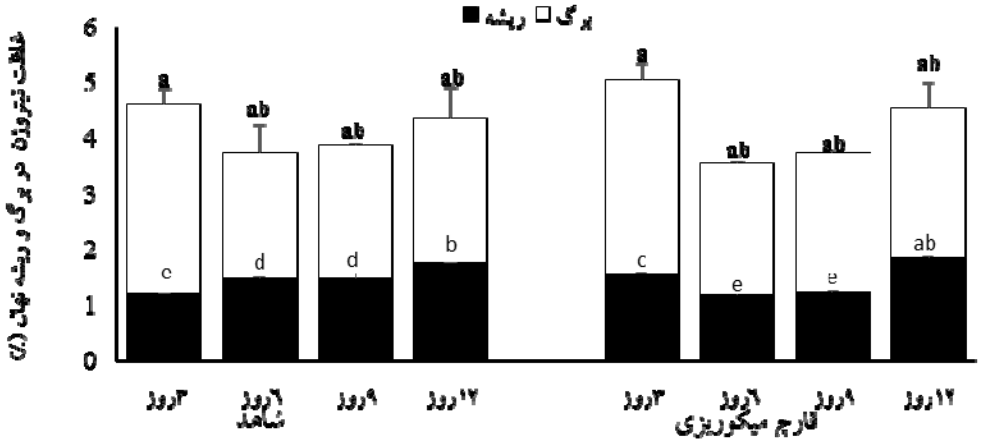
شد، درحالی‌که در سایر سطوح تنش، اختلاف معنی‌داری بین نهال‌های تلقیح شده و نشده مشاهده نشد. با افزایش شدت تنش، از میزان نیتروژن برگ کاسته شد (شکل ۵). ازلحاظ آماری غلظت نیتروژن ریشه در شرایط تلقیح و شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد، به‌طوری‌که در شرایط تنش بالاتر به عبارتی ۱۲ روز غلظت نیتروژن ریشه در نهال‌های میکوریزی و شاهد ۱/۸۳ و ۱/۷۳ درصد بیشترین بودند. در سطوح پایین‌تر خشکی، بااینکه ازلحاظ آماری، تفاوت معنی‌داری داشته، ولی زیاد مشهود به‌نظر نمی‌رسد (شکل ۵).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات توأم قارچ میکوریز آربسکولار بر نرخ فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای نهال استبرق تحت تنش خشکی



شکل ۴- مقایسه میانگین توکی اثرات قارچ میکوریز آربسکولار بر نرخ تعرق و کارایی مصرف آبی نهال استبرق تحت تنش خشکی



شکل ۵- مقایسه میانگین توکی اثرات قارچ میکوریز آربسکولاربرجذب نیتروژن نهال استبرق تحت تنش خشکی

بحث و نتیجه‌گیری

رشد و توسعه گیاهان حاصل فعالیت‌های متنوع حیاتی ازجمله در اختیار بودن آب می‌باشند. در صورت عدم تأمین آب موردنیاز، به‌دلیل کاهش فشار تورژسانس سلول‌های در حال رشد و به‌تبع بر طول سلول‌ها، رویش گیاه مختل می‌شود (۵و ۷). درحالی‌که اغلب مطالعات انجام‌شده بر گونه‌های مناطق خشک بیابانی توسط محققان ازجمله ابراهیم (۲۲) و بوترا (۱۳) روی گونه استبرق دلالت بر کاهش اندازه متغیرهای رویشی نهال تحت تنش خشکی ۳۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی داشته‌اند. بنابراین در تحقیق پیش رو تنش خشکی اعمال‌شده در فواصل خشکی ۹ روزه کاهش و نزولی در زنده‌مانی نهال‌های استبرق ایجاد نکرد. به‌عبارت‌دیگر، نهال استبرق بدون تلقیح قارچ هم می‌تواند تا ۹ روز آبیاری نشود، بدون اینکه کاهشی در زنده‌مانی آن حاصل آید. البته در تنش خشکی ۱۲ روزه درصد زنده‌مانی اندکی تنزل یافت و دراین خصوص تلقیح قارچی نیز نتوانست تغییری نسبت به شاهد نشان دهند، درحالی‌که بیشتر صفات فیزیولوژی نهال‌های استبرق به‌خصوص کارایی مصرف آبی که شاخص مهمی است، در تمام سطوح فاصله خشکی از میزان بالاتری برخوردار بود. به‌موازات کاهش درصد کلنیزاسیون ریشه، دیگر متغیرهای موردمطالعه نهال‌های تلقیح شده نوسانات کم و بیشی را به نمایش گذاشتند. درمجموع، اگرچه با افزایش شدت خشکی، درصد کلنیزاسیون ریشه کاهش یافت، اما این مؤلفه در هر سطح تنش همواره از اندازه بزرگ‌تری در مقایسه با شاهد برخوردار بود. درصد کلنیزاسیون ریشه‌ای در نهال‌های میکوریزی استبرق به بیش‌ترین میزان خود در فواصل خشکی۳ روزه رسید، بنابراین بین درصد کلنیزاسیون ریشه و افزایش رشد و عملکرد گیاه ارتباط معنی‌داری وجود دارد. دیگر محققین نیز در نتایج خود به وجود چنین رابطه مثبتی در عملکرد گیاهان با قارچ میکوریز اشاره‌کرده‌اند (۱۱و ۱۵). به‌طوری‌که در نهال‌های بدون تلقیح، کلنیزاسیون ریشه در سطوح پایین خشکی هرچند به‌اندازه کم نیز دیده شد که احتمالاً بتوان قابلیت بالای همزیستی میکوریزی را در درختچه استبرق دخیل دانست. بنابراین تنش خشکی مانع از جوانه‌زنی اسپور و توزیع هیف در خاک گشته و به‌عبارتی اثر سوء و منفی بر کلنیزاسیون ریشه‌ای گیاهان دارند (۲۱).

در تحقیق گنگ و همکاران (۲۰) به تأثیر منفی تنش خشکی بر کلنیزاسیون ریشه قارچ *Glomus Intraradices* و عملکرد گیاه مورد آزمایش اشاره شده است. به‌طورکلی، قارچ میکوریزی از طریق توسعه سیستم هیفی در اطراف ریشه و افزایش تماس آن با خاک سبب افزایش فشار تورمی سلولی و جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرک فسفر، روی، مس شده و درنهایت منجر به افزایش رشد ریشه و بهبود رویش گیاه می‌شود (۲۵و ۳۱). لذا، با افزایش سطح ریشه از طریق نفوذ میسلیوم قارچی در خاک و درنتیجه دسترسی گیاه به حجم بیشتری از خاک سبب جذب بیشتر آب و مواد غذایی شده و موجبات افزایش فتوسنتز، بهبود رشد و زی‌توده گیاه می‌گردد (۳۰). بااین‌حال افزایش خشکی تا ۶ روز، قارچ میکوریز توانست حجم ریشه نهال‌های استبرق را بهبود بخشد، درحالی‌که با افزایش تنش از میزان حجم ریشه کاسته شد. فیزیولوژی گیاهان همزیست با قارچ‌های میکوریزی آربسکولار، عکس‌العمل‌های متفاوتی را نسبت به تنش‌های غیرزیستی ازجمله خشکی از خود نشان می‌دهند. قارچ میکوریز آربسکولار با افزایش جذب عناصر غذایی ازجمله نیتروژن، فسفر و سایر عناصر معدنی منتج به بهبود فعالیت آنزیم‌ها و کلروفیل گیاه می‌گردد. علاوه‌براین، با بهبود هدایت هیدرولیکی و خاصیت اسمزی و افزایش جذب آب، به بازماندن روزنه‌ها و واکنش بیوشیمیایی گیاه کمک می‌کند که درنهایت، باعث افزایش میزان فتوسنتز گیاه می‌شود. در این تحقیق، نهال‌های استبرق در مواجه با شدت‌های تنش، روزنه‌های خود را بسته و نرخ تعرق را تا حد زیادی

کاهش دادند. از طرف دیگر، قارچ میکوریزی با افزایش تسهیل در جذب آب تحت شرایط تنش خشکی، میزان تعرق را بهبود بخشید، به‌طوری‌که نرخ تعرق نهال‌های میکوریزی استبرق کم‌وبیش در اغلب سطوح خشکی تا ۱۲ روز، بیش از نهال‌های بدون تلقیح بودند. گیاهان، زمانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، تمایل به کاهش پتانسیل آبی را نشان می‌دهند (۱۷). علت اصلی کاهش پتانسیل آبی نهال استبرق به اندام‌های آبدار و ساکولنت آن اشاره شده (۱۰) بنابراین در ارتباط با موارد فوق Gong و همکاران (۱۹) روی نهال‌های *Sophora davidii* ، ژانگ و همکاران (۳۳) نیز روی نهال کازوارینا (*Casuarina equisetifolia*)، قارچ‌های میکوریزی را در بهبود رویشی و فیزیولوژی گیاه سودمند دانستند.

از نتایج این تحقیق می‌توان چنین استنباط نمود که استبرق بدون تلقیح قارچ نیز می‌تواند در فاصله خشکی ۹ روزه بدون اینکه در زنده‌مانی آن کاهشی پدید آید، رشد کنند. ازطرف‌دیگر، اگرچه تلقیح قارچ در افزایش زنده‌مانی نهال-های متأثر از خشکی تأثیر قابل‌توجهی نداشت، اما به‌دلیل نقش آن در افزایش و تسهیل جذب آب و عناصر تغذیه‌ای، حجم ریشه، ایجاد کلنیزاسیون ریشه‌ای، بهبود متغیرهای فیزیولوژی و افزایش کارایی مصرف آبی نهال، بهتر است در برنامه‌های جنگل‌کاری رویشگاه‌های رو به تخریب درختچه دارویی و صنعتی استبرق، ریشه نهال پیش از ورود به عرصه در نهالستان با قارچ میکوریزی به‌عنوان یک رهیافت بیولوژیک و دوستدار محیط‌زیست تلقیح شود. برای مقاومت بهتر نهال‌ها، بهتر است که در نهالستان، نهال-های تلقیح شده با قارچ میکوریزی، در معرض تنش خشکی قرارگیرند. البته تنش خشکی نباید آن‌چنان شدید باشد که در پاسخ‌های فیزیولوژی و رویشی نهال‌ها خلل وارد آید.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از همکاری آقای مهندس سردار کشتکار از مرکز تحقیقات منابع طبیعی بوشهر و تکنسین‌های متخصص بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور و تمامی افرادی که به نحوی در پیشبرد این تحقیق مشارکت داشتند، تشکر می‌نمایند.

منابع

۱. بهمنی، م.، جلالی، غ.ع.، اصغرزاده، ا.، و طیری، م.، ۱۳۹۳. اثرات تلقیح ریزو باکتری‌های محرک رشد بر برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر استبرق، مجله زیست‌شناسی خاک، ۲(۱)، صفحات ۸۶-۸۰.

۲. ثابتی، ح.، ۱۳۸۷. جنگل‌ها، درختان و درختچه‌های ایران، انتشارات دانشگاه یزد، ۸۸۶ صفحه.

۳. خاوازی، ک.، رحمانی، ه.، و ملکوتی، ج.، ۱۳۸۵. ضرورت تولید صنعتی کود زیستی در ایران، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، ۴۳۹ صفحه.

۴. خائف، ن.، تقوایی، م.، صادقی، ح.، و نیازی، ع.، ۱۳۹۰. بررسی اثرهای متقابل نور و درجه حرارت بر جوانه‌زنی بذر استبرق (*Calotropis procera* L)، مجله علمی پژوهشی مرتع، ۵(۱)، صفحات ۲۶-۳۱.

۵. علیزاده، ا.، ۱۳۸۷. رابطه آب‌وخاک و گیاه، انتشارات دانشگاه امام رضا مشهد، ۴۷۰ صفحه.

۶. فاکر باهر، ز. ۱۳۷۳. گیاهان مولد کائوچو. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ۴۵ صفحه.

۷. کافی، م.، برزوئی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع.، و نباتی، ج.، ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۶۷ صفحه.

۸. گلستانه، س. ر.، عسکری، ح.، گلدسته، ش.، دوستی مظفری، ا.، و فرار، ن.، ۱۳۸۸. مطالعه چرخه زندگی پروانه برگ‌خوار استبرق (*Danaus chrysippus* L. (Lep. Nymphalidae) در استان بوشهر، فصلنامه تخصصی تحقیقات حشره‌شناسی ۱(۱)، صفحات ۱۱-۱.

9. Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H., and Abdel-Wahhab, M. A., 2012. Tolerance of Mycorrhiza infected Pistachio (Pistacia Vera L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions, Journal of Plant Physiology 169, PP: 704– 709.

10. Ajmal Khan, M., and Beena, N., 2002. Seasonal Variation in Water Relations of Desert Shrubs from Karachi, Pakistan Journal of Botany 34(4), PP: 329-340.

11. Al-Karaki, G. N., and Al-Raddad, A., 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance, Mycorrhiza 7, PP: 83-88.

12. Association of Official Seed Analysts. 1970. Tetrazolium Testing Handbook to the Handbook on Seed Testing, Prepared by the Tetrazolium Subcommittee of the Association of Official Seed Analysts.

13. Boutraa, T., 2010. Effects of water stress on root growth, water use efficiency, leaf area and chlorophyll content in the desert shrub *Calotropis procera*, Journal of International of Environmental Application and Science 5 (1), PP: 124-132.

14. Bohm, W., 1979. *Methods of studying root systems.* Ecological Studies, SpringerVerlag., Berlin, 188 p.

15. Clark, R. B., and Zeto, S. K., 1996. Mineral acquisition by mycorrhizal maize. Grown on acid and alkaline soil. Soil Biology and Biochemistry 28, PP: 1503-1405.

16. Danielsen, A., and Polle. B., 2014. Poplar nutrition under drought as affected by ectomycorrhizal colonization. En Lara vironmental and Experimental Botany 108, PP: 89–98.

17. Erdei, L., Trivedi, K., and Matsumoto, H., 1990. Effect of osmotic and salt stress on the accumulation of polyamincs in varietics differing in salt and drought tolerance. Journal of Plant Physiology 137, PP: 165-168.

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

19. Gong, M., Tang, M., Chen, H., Zhang, Q., and Xinxin, F., 2013. Effects of two *Glomus* species on the growth and physiological performance of *Sophora davidii* seedlings under water stress, Journal of New forest 43(1), PP: 779-790.

20. Gong, M., Xiaoyan, Y., and Zhang, Q., 2014. Effects of *Glomus intraradices* on the growth and reactive oxygen metabolism of foxtail millet under drought. Annals of Microbiology 65(1), PP: 595-602

21. Huang, Z., Zou, Z. R., He, C., X He, Z. Q., Zhang, Z. B., and Li, J. M., 2011. Physiological and photosynthetic responses of melon (*Cucumis melo* L.) seedlings to three *Glomus* species under water deficit. Plant Soil 339, PP: 391–399.

22. Ibrahim, A. H., 2013. Tolerance and avoidance responses to salinity and water stresses in *Calotropis Procera* and *Suaeda aegyptiaca*. Turk Journal of Agric and Forestry 37, PP: 352-360.

23. Katre, K., Joseph, N.T. D., Anu, S., Johanna, R., 14. Jaak, S., David, F. K., 2010. Diurnal changes in photosynthetic parameters of *Populus tremuloides* modulated by elevated concentrations of CO_2 and/or O_3 and daily climatic variation. Environmental Pollution 158: 1000–1007.

24. Kramer, P.J. and Boyer, J.S. 1995. Water Relations of Plants and Soils. Academic Press, San Diego, CA, USA. 495 page.

25. Marschner, H., and Dell, B., 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, Plant and Soil 159, PP: 89-102.

26. Phillips, J., and Hayman, D., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesiculararbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans Br Mycology Society 55, PP: 158–161.

27. Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S., and Papendick, R. I., 1986. Estimating generalized soilwater Characteristics from texture. Soil Scientific Social American of journal 50 (4), PP: 1031-1036.

28. Sharma, A. K., and Johri, B. N., 2002. Arbuscular mycorrhizae, interaction in plants, rhizosphere and soils. Oxford and IBH Publishing, New Delhi, 308 p.

29. Smith, S. E., and Read, D. J., 1997. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, 587 p.

30. Smith, S. E., Smith, F. A., and Jacobsen, I., 2003. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plant irrespective of growth responses. Plant Physiology 133, PP: 16–20.

31. Wu, Q. R., and Xia, X., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under

well-watered and water stress conditions, Journal of Plant Physiology 163, PP: 417-425.

32. Zhang, X., Wu, N., and Li, C., 2005. Physiological and growth responses of Populus *davidiana* ecotypes to different soil water contents. Arid Environment 60, PP: 567-579.

33. Zhang, Y., Zhong, C. L., Chen, Y., Chen, Z., Jiang, Q. B., Wu, C., and Pinyopusarerk, K., 2010. Improving drought tolerance of *Casuarina equisetifolia* seedlings by arbuscular mycorrhizas under glasshouse conditions, New Forests 40, PP: 261-271.

Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi colonization on Growth and Physiology of *Calotropis Procera* Seedlings to Water Stress Response

Jafarlou M.B.[1], Badehian Z.[1] and Delpasand J.[2]

[1] Agriculture and Natural Resource College, Lorestan University, Khorram abad, I.R. of Iran

[2] Natural Resource and Marine Sciences College, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. of Iran

Abstract

Present study aimed to enhance resistance to drought stress Calotrope Seedlings Using AMF is conducted under greenhouse conditions for six months. So an experiment with two levels of inoculum (Control and AMF) and six levels of water stress (3, 6, 9 and 12 days irrigation interval) as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications was formed. The highest percentage of mycorrhizal colonization in seedlings under drought 3 days was showed at a rate of 43 percent. The rate of photosynthesis and transpiration in plants 9.06 and 0.35 respectively that with increasing intensity of drought has resulted in a reduction parameters. N concentration in leaves and roots of the seedlings were inoculated and control showed significant differences in stress levels. Water use efficiency amount is 0.55 under drought stress 6-day mycorrhizal fungi inoculation was observed. Results of this study indicated that, with regard to the role of Arbuscular mycorrhizal fungi in Enhance and facilitate the uptake of water and elements of the nutritional, increasing the volume of the roots, creating root colonization and improvement of physiological variables interval of drought to 9 days.

Key words: Root Colonization, Photosynthesis, N Concentration, Survival and arid biome