Journal of Genetics and Plant Breeding
Print ISSN : 3060-7965 Online ISSN : 3060-7271
Iranian Genetics Society
Shahid Bahonar University of Kerman

Studying the effect of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphological and physiological traits of *Artemisia dracunculus*

Narges Hatami

*Corresponding Author: Assistant Professor, Research Institute of Forest and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email address: Narges.hatami5579@gmail.com

Elham Mehrabi Gohari

Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. Email address: e.mehrabi@areeo.ac.ir

Mansoreh Tashakorizadeh

Assistant Professor, Forest and Rangeland Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. Email address: mtashakorizadeh1981@gmail.com

Ebrahim Sedaghati

Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran. Email address: sedaghati@vru.ac.ir

Abstract

Objective

One of the limiting environmental factors in the vegetation in different regions of Iran is water stress, which can be mitigated by suitable agricultural methods such as the use of biological fertilizers.

Materials and Methods

The effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and drought stress on the growth of tarragon was investigated as a factorial experiment in the form of a completely randomized design. The tested treatments included a mixture of two species of mycorrhizal fungi, *Rhizophagus irregularis*

and *Rhizophagus intraradices*, and drought stress at three levels. Some morphological and physiological traits of the plant were investigated.

Results

The results showed that vegetative characteristics decreased significantly with increasing dryness in treatments where mycorrhizal fungi were not inoculated. However, inoculation with mycorrhizal fungi significantly increased the vegetative growth indices of tarragon under drought stress conditions in comparison with non-inoculated plants. The effects of mycorrhiza and drought on the relative water content (RWC) and chlorophyll content were significant. With increasing drought stress, RWC and chlorophyll content decreased, but the inoculation of the fungi caused a significant increase in RWC and chlorophyll. The effect of drought stress and inoculation with fungi on the phosphorus and potassium content of leaves was significant, but the interaction effect of drought stress and inoculation with fungi on the phosphorus and potassium content was not significant.

Conclusion

The general conclusion of this research was that the use of mycorrhizal fungi increases resistance to drought stress in the plant, and leveraging the capability of AMF for the large-scale cultivation of medicinal plants is a breakthrough.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, Drought stress, Growth indicators, Medicinal plants.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Hatami N, Mehrabi Gohari E, Tashakorizadeh M, Sedaghati E (2025) Studying the effect of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphological and physiological traits of *Artemisia dracunculus*. *Journal of Genetics and Plant Breeding* 2 (1), 97-118.

Journal of Genetics and Plant Breeding 2 (1), 97-118. DOI: 10.22103/gpb.2024.23392.1013

Received: January 8, 2025. Received in revised form: March 26, 2025.

Accepted: March 28, 2025. Published online: April 6, 2025.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society.

© the authors

مجله ژنتیک و به نژادی گیاهی
شاپا چاپی: ۳۰۶۰-۷۹۶۵ شاپا الکترونیکی: ۳۰۶۰-۷۲۷۱
انجمن ژنتیک ایران
دانشگاه شهید باهنر کرمان
پژوهشگاه اصلی پور

مطالعه تاثیر تنش خشکی و دو گونه قارچ میکوریزا آربوسکولار بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ترخون (*Artemisia dracunculus*)

نرگس حاتمی

*نویسنده مسئول: استادیار، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: Narges.hatami5579@gmail.com

الهام مهرابی گوهری

استادیار، بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. رایانامه: e.mehrabi@areeo.ac.ir

منصوره تشکری‌زاده

استادیار، بخش جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. رایانامه: mtashakorizadeh1981@gmail.com

ابراهیم صداقتی

دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر، رفسنجان، ایران. رایانامه: sedaghati@vru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۴/۱/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱/۸

چکیده

هدف: یکی از عوامل محیطی محدود کننده در رشد و توسعه پوشش گیاهی در مناطق مختلف ایران، تنش خشکی است که می‌توان به‌منظور کاهش اثرات آن از روش‌های زراعی مناسب مانند استفاده از کودهای زیستی شامل قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بهره برد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر رشد و عملکرد گیاه ترخون (*Artemisia dracunculus*) در شرایط تنش خشکی، پژوهشی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تلقیح مخلوط دو گونه قارچ میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* و *Rhizophagus irregularis* و تیمار شاهد (بدون تلقیح قارچ میکوریزا) به‌عنوان فاکتور اول و همچنین تنش خشکی در سه سطح (آبیاری بر اساس

۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان فاکتور دوم بودند. در این آزمایش برخی صفات مورفولوژیکی (ارتفاع ساقه، سطح برگ، طول ریشه، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه) و فیزیولوژیکی (محتوای نسبی آب و میزان کلروفیل) گیاه مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: نتایج حاصل نشان داد که خصوصیات رویشی با افزایش تنش خشکی به‌طور معنی‌داری در تیمارهایی که قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار تلقیح نشده بود کاهش یافتند ولی تلقیح با قارچ میکوریزا به‌طور معنی‌داری باعث افزایش شاخص‌های رشد رویشی گیاه ترخون در شرایط تنش خشکی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده گردید. اثرات میکوریزا و تنش خشکی بر محتوای نسبی آب و میزان کلروفیل نیز معنی‌دار بود و با افزایش تنش خشکی محتوای نسبی آب و میزان کلروفیل کاهش یافت ولی تلقیح گیاه با قارچ میکوریزا موجب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب و کلروفیل در گیاه ترخون نسبت به تیمار بدون قارچ شد. همچنین اثر تنش خشکی و اثر تلقیح با قارچ‌های میکوریزا بر محتوای فسفر و پتاسیم برگ‌ها معنی‌دار بود. تنش خشکی باعث افزایش میزان پتاسیم و کاهش میزان فسفر شد ولی اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح با قارچ‌های میکوریزا بر محتوای فسفر و پتاسیم برگ‌ها معنی‌دار نشد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج نشان داد که قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار سبب افزایش مقاومت به تنش خشکی در گیاه ترخون می‌گردد و استفاده از آن‌ها برای پرورش گیاهان دارویی در سطح وسیع راهگشا است.

کلیدواژه‌ها: تنش خشکی، شاخص‌های رشدی، قارچ میکوریزا آربوسکولار، گیاهان دارویی.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: حاتمی نرگس، مهرابی گوهری الهام، تشکری‌زاده منصوره، صداقتی ابراهیم (۱۴۰۴) مطالعه تاثیر تنش خشکی و دو گونه قارچ میکوریزا آربوسکولار بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ترخون (*Artemisia dracunculus*). *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۲(۱)، ۱۱۸-۹۷.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society

© the authors

مقدمه

ایران خاستگاه گیاهان متنوعی است که برخی از آن‌ها از لحاظ درمانی منحصر به فرد می‌باشند. کشت گیاهان دارویی و معطر از گذشته جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی ایران داشته است (Mehdikhani Moghadam 2010). امروزه تمایل به مصرف گیاهان دارویی در ایران و جهان رو به افزایش است، بنابراین این محصولات از لحاظ اقتصادی مهم می‌باشند و توسعه تولید آن‌ها می‌تواند اهمیت بالایی داشته باشد. ترخون با نام علمی *Artemisia dracunculus* و نام انگلیسی Tarragon یکی از گیاهان

دارویی مهم در طب سنتی است که در صنایع دارویی و غذایی هم مصرف زیادی داشته و سازگاری بالا، امکان پرورش آن را در اکثر نقاط دنیا و ایران فراهم نموده است. بیش از ۸۲ درصد از زمین‌های ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند و کم‌آبی یکی از عوامل محدودکننده تولید محصولات گیاهی در این مناطق می‌باشد. گیاهان برای مقابله با انواع تنش‌ها، سازوکارهای مقاومتی مختلفی مانند تغییر ساختار (ریختی و تشریحی)، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را دارند (Bandurska 2022). تحمل تنش کم‌آبی در گیاهان، وابسته به عوامل مختلفی از جمله: ژنوتیپ گیاه، توانمندی گیاه در ترمیم و بازیابی و تنظیم عملکرد است. به‌طور کلی گیاهان با تغییر عملکردهای زیستی خود به تنش خشکی پاسخ می‌دهند (Laxa et al. 2019). تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش رشد، زیست‌توده تر و خشک، تمایز ریشه، سطح برگ و طول ساقه شود. همچنین با تغییر حرکات روزنه‌ای باعث کاهش کارایی مصرف آب، جذب عناصر معدنی و عملکرد گیاه شود و با کاهش هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، فتوسنتز و به دنبال آن تقسیمات سلولی و رشد گیاه کاهش یابد. تحت شرایط تنش خشکی میزان سیالیت، پایداری غشاء سلولی و محتوای کلروفیلی گیاه کم می‌شود و نهایتاً با تاثیر بر روی سنتز پروتئین‌ها، اسمولیت‌هایی نظیر کربوهیدرات‌ها و هورمون‌های گیاهی باعث تغییراتی در آن‌ها می‌گردد (Zhou et al. 2017).

از آنجایی‌که کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی یکی از دغدغه‌های تولیدکنندگان محصولات کشاورزی می‌باشد، کاربرد کودهای‌زیستی می‌تواند راهکار مناسبی برای بهبود کشت گیاهان در تنش کم آبی باشد. یکی از انواع کودهای‌زیستی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌باشند. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌توانند از طریق تغییرات ریختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از جمله تاثیر روی ساختار ریشه، تنظیم اسمزی، تولید مولکول‌های حفاظتی، افزایش سنتز کلروفیل و فتوسنتز، افزایش سطوح فیتوهورمون‌ها، تثبیت فیزیکی و شیمیایی خاکدانه‌ها، بهبود روابط آبی و تغذیه‌ای گیاه به‌ویژه افزایش جذب عناصری مانند فسفر باعث افزایش تحمل گیاه به خشکی شوند و امکان تولید بهتر گیاهان را در شرایط آب و هوایی مناطق خشک و نیمه خشک فراهم می‌کنند (Song 2005; Boutasknit et al. 2020). ریسه‌های قارچ میکوریزا آربوسکولار پس از کلونیزه کردن ریشه گیاه میزبان، باعث افزایش سیتوکینین و کاهش اسیدآبسیزیک شده که این تغییرات موجب توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و افزایش دسترسی آن به آب و املاح معدنی مانند فسفر می‌گردد و از سوی دیگر با ترشح اسیدهای آلی محلول‌کننده فسفر مانند اسید مالیک و اسید فسفاتاز، موجب تسهیل جذب فسفر در گیاه می‌شوند (Etesami et al. 2021). گزارش‌های موفقی از تحقیق درباره استفاده از قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در دنیا بر روی گیاهان مختلف برای از بین بردن اثرات نامطلوب تنش کم آبی وجود دارد (Miransari 2010). از جمله گیاهانی که برای کاهش اثر تنش خشکی در آن‌ها از همزیستی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار مورد بررسی قرار گرفته است می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: ذرت، لیمو (*Poncirus trifoliata* L. Raf)، سویا (*Glycine max* L.)، مرکبات (*Poncirus trifoliata*)، آویشن، بادرنجویه (Alves et al. 2020; Arpanahi et al. 2020; Wu et al. 2008; Oliveira et al. 2022; Cheng et al. 2022; Hu et al. 2022). در ایران نیز تحقیقات مشابه‌ای بر روی گیاهان مختلف از جمله گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، زیره سبز (*Cuminum cyminum*)، گیاه همیشه بهار، خارمریم، شنبلیله، آویشن زراعی و پروانش

انجام شده است (Negahban et al. 2020; Goshasbi et al. 2021; Moghadasan et al. 2016; Anjam et al. 2023; Rahimi et al. 2020; Mazaraie et al. 2017; Aslani et al. 2011). نتایج تمامی تحقیقات فوق در دنیا و ایران نشان دهنده تاثیر مثبت همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در شرایط تنش خشکی بوده و شرایط رشد و افزایش عملکرد را برای گیاهان در تنش خشکی فراهم می‌آورد. در مورد گیاه ترخون نیز تحقیقات متعددی در ایران و دنیا صورت گرفته از جمله در یک تحقیق در شرایط تنش خشکی و تعیین آستانه تحمل تنش، صفات مورفولوژیک، پرولین، قندهای محلول و عملکرد ترخون بررسی شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، عملکرد اندام هوایی، پرولین و قندهای محلول اثر معنی‌داری داشت و بر اغلب صفات مورفولوژیک و عملکرد سرشاخه‌گلدار و برگ اثر منفی نشان داد اما موجب افزایش طول ریشه، میزان پرولین و قندهای محلول در اندام‌های هوایی گردید (Lotfi et al. 2014). تحقیق دیگری با هدف ارزیابی تأثیر تنش کم-آبی بر عملکرد دارویی، محتوای اسانس و ترکیب و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ترخون انجام شد. نتایج نشان داد که تأثیر تنش خشکی و اثرات تعاملی تنش خشکی و گونه‌ها بر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز، پرولین، عملکرد دارویی و عملکرد اسانس (تنها در سال دوم) معنادار بودند. یافته‌ها نشان داد که کمبود آب محتوای اسانس را در هر دو سال افزایش داد، در حالی که عملکرد اسانس و دارو را کاهش داد و تفاوت‌هایی بین گونه‌های مختلف از نظر اجزای اسانس مشاهده شد (Mumivand et al. 2021). همچنین در آزمایشی دیگر مقاومت به خشکی گیاه ترخون تحت تأثیر نانو ذرات تیتانیوم بررسی و نتایج نشان داد که اگرچه اعمال تنش خشکی منجر به کاهش صفات مورفولوژیک و رنگدانه‌های فتوسنتزی در ترخون شد ولی محلول‌پاشی با نانو دی‌اکسید تیتانیوم در بهبود این صفات مؤثر بود (Selahvarzi & Kamali 2022). این تحقیقات همه بیانگر تاثیر تنش خشکی بر گیاه ترخون بود و اینکه با روش‌های مختلف می‌توان این اثرات را کاهش داد. در تحقیقات مشابه، تاثیر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر گیاه ترخون در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که از جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: محققین با استفاده از قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار توانستند میزان عملکرد اسانس گیاه ترخون را در کشت ارگانیک بالا ببرند و تلقیح با این قارچ‌ها به‌طور متفاوتی بر ترکیبات معدنی گیاه تأثیر گذاشت، تجمع Se، I و Zn در گیاه افزایش یافت و همچنین باعث بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی گیاه در طی نگهداری در شرایط تنش شد (Golubkina et al. 2020). تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و میزان اسانس ترخون با تلقیح قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در شرایط تنش شوری مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل از اثرات متقابل تیمار تلقیح قارچ مایکوریزا و تنش شوری نشان داد که تیمار تلقیح قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و شاهد شوری باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی و میزان اسانس در گیاه شد (Lamian et al. 2015). همچنین مطالعه‌ای با هدف ارزیابی اثر تلقیح قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و شوری بر تغییرات کیفی و کمی عملکرد ترخون انجام شد و نتایج نشان داد که ارتفاع گیاه، تعداد برگ‌ها، وزن خشک برگ‌ها و ساقه تحت شرایط شوری کاهش یافت. سطوح مختلف شوری محتوای اسانس ترخون و برخی از اجزای آن مانند-α پینن، لیمونن، Z اوسیمین و E اوسیمین را کاهش داد، در حالی که محتوای بورنیل استات، اوژنول، متیل اوژنول، کاریوفیلن، ژرماکرن و -α فارنسن را افزایش داد. تلقیح قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بدون شوری بیشترین

تأثیر مثبت را بر ویژگی‌های ارزیابی شده ترخون داشت. همچنین تلقیح ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی را تحت شرایط شوری به‌دلیل کاهش اثرات مضر شوری بهبود داد (Lamian et al. 2017). با توجه به اهمیت گیاه ترخون و محدودیت منابع آبی، این پژوهش به‌منظور بررسی اثر کاربرد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار روی برخی ویژگی‌های رشدی گیاه ترخون تحت تنش کم‌آبی انجام شد به این امید که نتایج آن زمینه ساز تولید بیشتر و با کیفیت‌تر این محصول گردد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی و تیمارهای مورد استفاده: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتور اول شامل تلقیح مخلوط دو گونه قارچ میکوریزآربوسکولار[1] *Rhizophagus irregularis* و *Rhizophagus intraradices*[2] و تیمار بدون تلقیح قارچ میکوریزا (شاهد) بود. فاکتور دیگر، تیمارهای آبیاری شامل سه سطح (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان شاهد، و ۳۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار از آزمایشگاه بیماری شناسی دانشگاه ولی عصر رفسنجان تهیه و جهت اطمینان از صحت نمونه، شناسایی به دو صورت مورفولوژیکی و مولکولی انجام شد.

شناسایی مورفولوژیکی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار: جهت شناسایی مورفولوژیکی گونه‌های قارچ میکوریزآربوسکولار از ویژگی‌های ظاهری اسپور مانند: رنگ، شکل، تزئینات سطح، اندازه، ساختار دیواره، نحوه اتصال هیف به اسپور، باز و بسته بودن روزنه هیف در محل اتصال هیف به اسپور و نحوه انسداد در صورت بسته بودن استفاده شد. برای بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی و مورفومتریکی اسپورها از میکروسکوپ نوری کالیبره شده (Nikon-ECLIPSE-80i) استفاده گردید (Schenck & Perez 1990). شناسایی اسپورها با استفاده از کلیدهای شناسایی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و تارنماهای اینترنتی معتبر http://www.invam.wvu.edu و http://www.zor.zut.edu.pl و مقالات کلیدی انجام شد (Oehl et al. 2011).

شناسایی مولکولی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار: به‌منظور شناسایی مولکولی، قبل از استخراج DNA، ذرات خاک و سایر میکروارگانیسم‌های متصل به دیواره اسپور با استفاده از امواج مافوق صوت (37 KHz) در حمام اولتراسونیک حذف گردیدند و جهت استخراج DNA از بافر 5X GoTaq PCR (شرکت سیناکلون) استفاده شد. برای تکثیر DNA استخراج شده از روش PCR آشیانه‌ای استفاده گردید و آغازگرهای به‌کار رفته برای تکثیر در PCR اول، SSUmaf (TGCTGWHACTCAAWYCTATCRAW) و LSuMAR (TGGGTAATCTTDTGAAACTTYA) بودند که قادر به تکثیر قطعه‌ای به طول ۱۸۰۰ جفت باز از DNA ریبوزومی می‌باشند.

[1] NCBI code: HF968841-1
[2] NCBI code: EU232659-1

آغازگرهای اختصاصی مرحله‌ی دوم PCR، SSUmCf (TATYGYTCTTNAACGAGGAATC) و LSUmBr (DAACACTCGCAYAYATGYTAGA) بودند که قادر به تکثیر قطعه‌ی ۱۵۰۰ جفت بازی از DNA ریبوزومی بودند (Krüger et al. 2009). پس از انجام PCR، برای بررسی درستی کار، محصول PCR آشیانه‌ای روی ژل آگاروز ۱/۵ درصد با بافر TBE 1X با اختلاف پتانسیل 85 ولت الکتروفورز شد و مقدار ۳۰ میکرولیتر از هر نمونه به شرکت ژن فناوران جهت ارسال به شرکت Macrogen (کشور کره جنوبی) برای توالی‌یابی فرستاده شد. سپس نتایج با استفاده از نرم‌افزارهای BLAST، Gene Runner و Clustal Omega مورد بررسی، هم‌ردیفی و ویرایش قرار گرفت و بر این اساس، نزدیک‌ترین گونه‌ی ثبت شده در بانک ژن NCBI به هر یک از توالی‌های خوانش شده، مشخص شد.

تکثیر زادمایه قارچ‌های میکوریزا آربسکولار: در این پژوهش از گیاه ذرت و سورگوم به‌منظور تکثیر زادمایه‌ی دو گونه قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار استفاده شد. بذور این گیاهان پس از ضدعفونی در گلدان‌های استریل حاوی ماسه و پرلایت سترون با نسبت یک کشت شدند و بعد از رشد و جوانه‌زنی به‌مدت دو تا سه هفته در گلدان‌ها نگه‌داری شده تا ریشه‌زایی اولیه برای مایه‌زنی داشته باشند. بعد از این مدت گیاهچه‌های حاصل از محیط پایه خارج و یک اسپور از هرگونه قارچ را با سمپلر برداشته و به‌صورت جداگانه در مجاورت ریشه گیاهان قرار گرفتند. سپس این گیاهچه‌ها در گلدان‌های دیگری حاوی خاک و ماسه سترون به نسبت یک به یک کشت شدند و در گلخانه به‌مدت چهار تا پنج ماه با دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند (Walker 1999; Alsunuse et al. 2021). گلدان‌ها در اوایل کاشت به‌صورت یک روز در میان آبیاری شدند و بعد از مدتی دوره آبیاری کاهش و دو مرتبه در هفته انجام شد. در صورت بروز علائم کمبود مواد غذایی از محلول هوگلند استفاده شد. بعد از چهار تا پنج ماه یک تنش با قطع آبیاری و خشکی گلدان‌ها جهت تحریک اسپورزایی قارچ انجام شد و پس از خشک شدن گلدان‌ها در مدت دو هفته، گیاهان از سطح خاک بریده شدند. خاک گلدان‌ها به‌همراه ریشه‌ها جمع‌آوری و جهت بررسی جمعیت زادمایه قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار به آزمایشگاه منتقل شدند. رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با روش فیلیپس و هایمن انجام شد (Hatami et al. 2020). برای تعیین تراکم اسپورهای موجود در هر ده گرم خاک، پس از وزن کردن ده گرم خاک (در سه تکرار)، اسپورهای هر کدام از قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار از خاک گلدان‌هایشان به‌روش الک مرطوب و سانتریفیوژ در محلول شکر، جداسازی شدند و به یک کاغذ صافی مدرج منتقل و زیر استریومیکروسکوپ شمارش اسپورها انجام شد و در صورتی‌که در هر ۱۰۰ گرم خاک، ۹۰ تا ۱۱۰ پروپاگول[1] از گونه قارچی مورد نظر (شامل اسپور و ریشه کلونیزه شده) بود جهت انجام آزمایش‌های گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفت (Gerdemann & Nicolson 1963).

[1] infection unit

جداسازی اسپورها از خاک و ریشه

کشت گیاه ترخون: به‌منظور انجام آزمایش‌های گلخانه‌ای نشاءهای ریشه‌دار و یکسان گیاه ترخون از گلخانه‌های تولید محصولات کشاورزی استان کرمان که دارای کیفیت مناسب بود تهیه و جهت کشت به داخل گلخانه تحقیقاتی منتقل شد و در گلدان‌های دو کیلویی حاوی ماسه و خاک زراعی سترون با نسبت‌های حجمی ۲:۱ کشت شده و تیمارهای میکوریزا (به‌صورت مخلوط) در زمان کشت به‌میزان ۲۰۰ گرم به ازاء هر کیلوگرم خاک به گلدان‌ها اضافه شدند (Sedaghati et al. 2021). جهت اعمال تنش خشکی از روش وزن کردن گلدان‌ها استفاده شد و تنش در سه سطح، شاهد (آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش ملایم (آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (آبیاری به‌میزان ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) انجام شد (Jacob & Clarck 2002). پس از اعمال تنش، در مرحله گلدهی کامل، گیاهان جهت بررسی صفات از گلدان‌ها خارج و به آزمایشگاه منتقل شدند.

اندازه‌گیری پارامترهای رویشی: برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته‌ها و طول ریشه‌ها از خط‌کش مدرج استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن، پس از جداسازی گیاهان از ناحیه طوقه به دو قسمت شاخساره و ریشه تقسیم شدند و پس از شستشو به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرارگرفته تا خشک شوند و سپس به‌طور جداگانه ریشه، ساقه و برگ‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتـال وزن شدند. جهت تعیین سطح برگ، در پایان دوره رشد از هر تکرار تعداد ۳ برگ به‌صورت تصادفی انتخاب و از ساقه جدا شده و با دستگاه سنجش سطح برگ (Leaf area Measurement System Delta T, WD3, UK) اندازه‌گیری صورت گرفت.

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیکی: شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD- 502, Konica Minolta Sensing, INC., Japan) اندازه‌گیری شد.

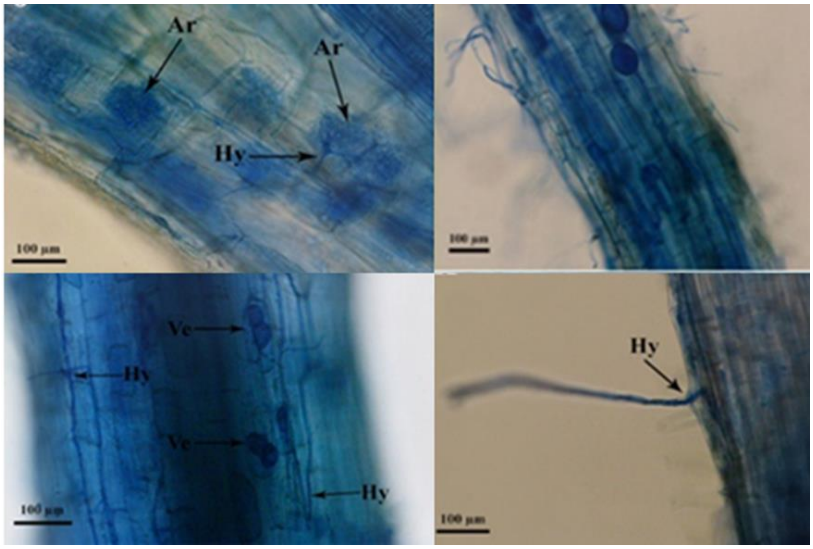
اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ: از هر گلدان پنج عدد دیسک برگی به قطر یک سانتی‌متر تهیه و پس از وزن کردن در لوله‌های آزمایش محتوی آب مقطر قرار داده شدند و محتوای نسبی آب به‌روش Ritchie & Nguyen (1990) محاسبه شد.

اندازه‌گیری مقادیر برخی عناصر غذایی: نمونه گیاهی از زیست‌توده گیاه به‌طور تصادفی از هر تکرار تهیه گردید و برای تعیین غلظت فسفر موجود در بخش هوایی از دستگاه اسپکتروفوتومتر و برای تعیین میزان پتاسیم موجود در اندام‌های هوایی از فلیم‌فتومتر استفاده شد (Chapman et al. 1983; Ghonjalipour Goshki et al. 2021).

تجزیه و تحلیل آماری: این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار در گلدان انجام شد. برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آزمون نرمال به‌روش کولموگروف اسمیرنوف انجام شد. سپس داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ تجزیه و میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

کلونیزاسیون ریشه : پس از رنگ‌آمیزی ریشه گیاهان، نتایج حاکی از کلونیزاسیون ریشه گیاهان در تیمارهای مایه زنی شده با قارچ‌های میکوریزا آربسکولار بودند (شکل ۲).



شکل ۲. تصویر میکروسکپی تعدادی از قطعات ریشه رنگ‌آمیزی شده به‌منظور تشخیص کلونیزاسیون گیاه Hy هیف، Ar آربوسکول، Ve وزیکول (بزرگنمایی 100X).

Figure 2. Microscopic image of some stained root pieces to detect plant colonization Hypha, Arbuscule, vesicle.

صفات مورفولوژیک: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر تنش خشکی و قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر صفات مورفولوژیکی مورد بررسی شامل ارتفاع گیاه، تعداد ساقه‌های فرعی، طول ریشه، سطح برگ و وزن خشک ریشه، ساقه و برگ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش تمام صفات مورفولوژیکی گیاه می‌گردد (جدول ۲) و با افزایش شدت تنش میزان کاهش این صفات نیز بیشتر می‌شود به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفات در زمان آبیاری کامل و کمترین مقدار مربوط به شدیدترین مرحله تنش آبی بود (جدول۲). نتایج حاصل با نتایج محققان دیگر که بر روی اثر تنش خشکی بر گیاهان مختلف انجام گرفته است مطابقت دارد. نتایج آن‌ها کاهش رشد و کاهش صفات مورفولوژیک در شرایط تنش خشکی نشان داد. در این خصوص می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط Lotfi et al. (2014)، Mumivand et al. (2021) و Selahvarzi & Kamali (2022) بر روی گیاه ترخون و آزمایشات Babaei et al. (2021) و Mahajan et al. (2020) بر روی گیاه همیشه بهار اشاره کرد.

خصوصیات ریشه‌ها و توانایی نفوذشان در لایه‌های عمیق خاک در هنگام مواجه با تنش خشکی از اهمیت بالایی برخوردار است. طول ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفته و برای انطباق با شرایط کم آبی علاوه بر کاهش طول ریشه،

رشد ریشه‌های جانبی نیز مهار شده و در مجموع طول و وزن ریشه‌ها کاهش می‌یابد (Franco 2018). کم رشدی گیاه در شرایط کم آبی یکی از راهکارهای گیاهان است تا با این شرایط سازگاری یابند و به‌جای استفاده از مواد غذایی برای رشد و تولید شاخه، از آن‌ها برای زنده ماندن استفاده کرده و یکی از این سازوکارهای مقابله با اثرات مخرب تنش، تولید آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و ترکیباتی همچون فنل، کاروتنوئید، توکوفرول و آسکوربات می‌باشد. در نتیجه به‌علت کاهش استفاده موا غذایی برای رشد، گیاهان دچار کاهش رشد و عملکرد در شرایط تنش کم آبی می‌شوند (Babaei et al. 2021; Khalid 2006). همچنین به‌علت کاهش جذب و انتقال آب، ذخیره کربن و ماده خشک در گیاهان کاهش می‌یابد (Hu & Schmidhalter 2005) و تعدیل میزان هورمون‌های رشد گیاهی نظیر اکسین و سیتوکنین از یک سو و افزایش مواد بازدارنده رشد، همراه با کاهش فتوسنتز طی تنش خشکی از سوی دیگر موجب کاهش رشد اندام‌های گیاهی می‌شود (Salehi –Lisar & Bakhshayeshan -Agdam 2016).

جدول۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مورفولوژیک ترخون تلقیح شده با میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance (mean square) of some morphological traits of tarragon inoculated with mycorrhiza under drought stress conditions

		میانگین مربعات Mean squares						
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد ساقه‌های فرعی Lateral branches	طول ریشه Root length	سطح برگ Leaf area	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک ساقه stem dry weight	وزن خشک برگ leaf dry weight
تنش خشکی Drought	2	413.15**	113.99**	230.96**	39629.06**	0.46**	4.49**	1.05**
میکوریزا Mycorrhiza	1	92.93*	58.69**	35.23**	9364.10*	0.34**	1.16*	0.16*
تنش و قارچ Stress & Mycorrhiza	4	13.83^{ns}	8.24^{ns}	37.075^{ns}	1641.26^{ns}	0.19^{ns}	0.35^{ns}	0.87^{ns}
خطا Error	23	11.48	3.375	36.06	1366.53	0.0336	0.208	0.48
ضریب تغییرات CV (%)		7.7	11.29	9.40	13.2	25.05	22.94	21.49

^{ns}، *و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار بودن و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

در آزمایش حاضر، تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار موجب افزایش شاخص‌های رشدی در شرایط تنش خشکی گردید به‌طوری‌که بیشترین مقدار شاخص‌های رشدی مربوط به تلقیح با قارچ میکوریزا آربوسکولار بود و گروه شاهد (بدون قارچ میکوریزا آربوسکلار) کمترین مقدار رشد را داشت که این نتایج با نتایج محقیقن دیگر مطابقت داشت. طبق تحقیقات مشابهی که بر روی زیره، پونه، استویا، گوجه فرنگی، نارنج سه برگی و فلفل در شرایط تنش خشکی انجام گرفته تلقیح با قارچ میکوریزا آربوسکولار موجب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد ساقه‌های فرعی، طول ریشه، سطح برگ و وزن خشک ریشه، ساقه و برگ می‌گردد (Haghir Ebrahimabadi et al. 2018; Zare Hassanabadi et al. 2020; Nabizadeh et al. 2023). همزیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و گیاهان، تحت شرایط تنش کمبود آب، از طریق جذب بیشتر عناصر غذایی غیرمتحرک مانند فسفر، روی و مس باعث بهبود تولید در گیاه می‌گردد و همچنین از طریق بهبود جذب آب و توانایی آماس برگ، کنترل روزنه‌ها و تعرق، افزایش طول ریشه و توسعه هیف‌های انتهایی موجب افزایش تحمل گیاه به کم‌آبی می‌شود. علاوه بر این، قارچ‌های میکوریزآربوسکولار موجب افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش نسبت تعرق، تغییر در تعادل هورمون‌های گیاهی و در نتیجه کاهش مقاومت روزنه‌ای می‌گردد و در نهایت باعث بهبود جذب فسفر تحت تنش کمبود آب می‌شوند (Sonar et al. 2013; Jajoo & Mathur 2021; Begum et al. 2019). یکی دیگر از راه‌های تسهیل جذب فسفر در هنگام همزیستی قارچ‌های میکوریزآربوسکولار و گیاه، افزایش محتوای نسبی آب است که این افزایش فسفر منجر به تأمین انرژی مورد نیاز و افزایش فعالیت آنزیم‌های موثر فتوسنتز شده که در نهایت موجب افزایش رشد گیاه می‌شود.

محتوای نسبی آب: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۳) نشان می‌دهد که اثرات میکوریزا و خشکی بر محتوای نسبی آب معنی‌دار بود و با افزایش تنش خشکی محتوای نسبی آب کاهش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین مقدار محتوای نسبی آب مربوط به تیمار آبیاری کامل، به‌میزان ۷۷/۹۲ درصد و کمترین مقدار آن تحت تنش ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای به‌میزان ۶۶/۹ درصد به‌دست آمد (جدول۴). نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که تلقیح گیاه با دو گونه قارچ میکوریزا آربوسکولار موجب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب در گیاه ترخون نسبت به تیمار بدون قارچ شد. تیمار تلقیح با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار با محتوای نسبی ۷۸/۲ درصد نسبت به تیمار بدون تلقیح، محتوای نسبی آب بیشتری داشت (جدول۴). از اولین علائم کمبود آب در بافت‌های گیاهی، کاهش محتوای نسبی آب است که به‌عنوان شاخصی مفید در تعیین تحمل گیاه به خشکی در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری‌که گیاهان متحمل به خشکی با جذب آب از پروتوپلاست، آب بیشتری را در خود حفظ کرده و دارای محتوای نسبی آب بیشتری هستند (Dadashi et al. 2023). بهبود سیستم ریشه‌ای و جذب بیشتر آب با همزیستی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و گیاه موجب افزایش محتوای نسبی آب می‌شود. گزارش‌های مشابه نشان داده که تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب در کاهو، ماش و چای ترش گردید (Nadiu & Naraly 2001; Sanayei 2020; Begum et al. 2019; Haghir Ebrahimabadi et al. 2018). همچنین نتایج این آزمایش با تحقیق‌های مشابه که قارچ میکوریزا تلقیح شده است همسویی دارد (Haghir Ebrahimabadi et al. 2018; Begum et al. 2019). میسلیوم قارچ‌های میکوریز آربوسکولار باعث جذب

بیشتر آب از منافذ بسیار ریز خاک شده، در نتیجه نقش موثری بر رابطه آبی گیاه میزبان دارند و شرایط خوبی برای گیاه در برابر تنش کم‌آبی فراهم می‌کنند (Verma et al. 2016).

جدول۲. مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیک ترخون تلقیح شده با میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی

Table 2. Mean comparisons of some morphological traits of tarragon inoculated with mycorrhiza under drought stress condition

وزن خشک برگ leaf dry weight	وزن خشک ساقه stem dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	سطح برگ Leaf area	طول ریشه Root length	تعداد ساقه‌های فرعی Lateral branches	ارتفاع گیاه Plant height		تیمار Treatment
								تنش خشکی
1.27[a]	44.88[a]	0.88[a]	345.5[a]	24.94[a]	19.58[a]	2.81[a]	100	(%) Drought
1.18[b]	42.25[b]	0.64[b]	302.6[b]	22.20[b]	17[b]	2.49[b]	60	
0.71[c]	34.04[c]	0.41[c]	299.41[c]	16.40[c]	13.23[c]	1.57[b]	30	
0.88[b]	36.91[b]	0.55[b]	269[a]	17.68[b]	13.68[b]	1.5[b]	بدون تلقیح قارچ No Mycorrhiza	قارچ میکوریزا Mycorrhiza
1.28[a]	42.89[a]	0.63[a]	298.09[a]	20.72[a]	18.90[a]	2.42[a]	با تلقیح قارچ Mycorrhiza	

* در هرستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

محتوای کلروفیل: تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی بر میزان کلروفیل تاثیر دارد (جدول۳) و بیشترین میزان کلروفیل ۴۲/۸۸ میلی‌گرم در گرم است که مربوط به آبیاری کامل می‌باشد و کمترین میزان کلروفیل ۳۱/۰۲ میلی‌گرم بر گرم است که در آبیاری ۳۰ درصد مزرعه بدست می‌آید (جدول۴). دلیل اصلی کاهش کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS[1]) است که با پراکسیداسیون لیپیدی باعث تخریب کلروپلاست و کلروفیل می‌گردد (Chaves et al. 2011). همزیستی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار با گیاه با کاهش اثرات تنش خشکی، باعث افزایش میزان کلروفیل در زمان تنش خشکی می‌گردد. گزارش‌های محققین دیگر نیز نشان داده که تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل در گیاه ترخون، زیره، پونه، استویا، گوجه فرنگی نارنج سه برگی و فلفل در شرایط تنش خشکی می‌گردد و همزیستی با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌تواند موجب بهبود میزان کلروفیل در شرایط تنش کم آبی گردد (Haghir Ebrahimabadi et al. 2018; Zare Hassanabadi et al. 2020; Aghaei et al. 2017; Nabizadeh et al. 2023).

جدول۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات فیزیولوژیک ترخون تلقیح شده با میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی

Table 3. Analysis of variance (mean square) of some physiological traits of tarragon inoculated with mycorrhiza under drought stress conditions

میانگین مربعات Mean squares					
فسفر Phosphorous	پتاسیم Potassium	کلروفیل Chlorophyll	محتوای نسبی آب Relative water content	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
0.079**	322.01**	446.02**	0.044**	2	تنش خشکی Drought
0.029*	112.49*	91.70*	0.35**	1	قارچ میکوریزا Mycorrhiza
0.088ns	37.50ns	15.91ns	0.003ns	4	تنش و قارچ Stress & Mycorrhiza
0.0069	27.58	10.613	0.039	23	خطا Error
20.82	10.75	8.70	8.44		ضریب تغییرات CV (%)

ns، *و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار بودن و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

محتوای فسفر و پتاسیم: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر تنش خشکی و تلقیح با قارچ‌های میکوریزا بر محتوای فسفر و پتاسیم برگ‌ها معنی‌دار بود ولی اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح با قارچ‌های میکوریزا بر محتوای فسفر و پتاسیم برگ‌ها معنی‌دار نبود. تنش خشکی بر روی میزان فسفر و پتاسیم برگ‌ها اثر داشت به‌طوری‌که میزان پتاسیم در تنش خشکی افزایش و میزان فسفر کاهش یافت. همان‌طوری‌که در جدول۴ بیان شده است بیشترین مقدار پتاسیم مربوط به تنش خشکی شدید (۳۰ درصد ظرفیت آبیاری مزرعه) بود که به‌میزان ۵۲/۹۹ میلی‌گرم بر گرم می‌باشد و کمترین میزان پتاسیم مربوط به تیمار بدون تنش (آبیاری کامل) ۴۳/۳ میلی‌گرم بر گرم بود. میزان پتاسیم در تنش ۳۰ و ۶۰ درصد ظرفیت آبیاری مزرعه تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین و کم‌ترین میزان فسفر به‌ترتیب ۰/۱۴۱ و ۰/۱۲۵ میلی‌گرم بر گرم بود که مربوط به آبیاری کامل و تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت آبیاری مزرعه بود. یکی از کاتیون‌های مهم و مورد نیاز گیاه پتاسیم است که در تنظیم فشار اسمزی و کنترل روزنه‌ای گیاه نقش دارد و میزان این یون‌ها در زمان تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد. این یکی از سازوکارهای گیاه برای تحمل تنش خشکی می‌باشد تا بتواند فشار اسمزی و باز و بسته شدن روزنه‌ها را کنترل کند و قارچ های میکوریزا آربوسکولار نیز با افزایش پتاسیم

به گیاه برای تحمل تنش کم آبی کمک می‌کنند که این در مطالعات مشابه نیز تائید شده است (Haghir Ebrahimabadi et al. 2018; Zare Hassanabadi et al. 2020). علت کاهش فسفر در تنش کم آبی، کاهش رشد ریشه و کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی می‌باشد که همزیستی با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار موجب رفع این مشکل و افزایش جذب فسفر می‌گردد و نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات موجود تطابق دارد (Ortiz et al. 2015; Begum et al. 2019).

جدول٤. مقایسه میانگین برخی صفات فیزیولوژیک ترخون تلقیح شده با میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی

Table 4. Mean comparisons of some physiological traits of tarragon inoculated with mycorrhiza under drought stress condition

فسفر Phosphorous	پتاسیم Potassium	کلروفیل Chlorophyll	محتوای نسبی آب Relative water content		تیمار Treatment
0.141[a*]	43.30[b]	42.88[a]	77.92[a]	100	تنش خشکی (%) Drought
0.137[a]	43.93[a]	36.95[b]	76.89[a]	60	
0.125[a]	52.99[a]	31.02[c]	66.90[b]	30	
0.117[b]	45.83[b]	35.23[b]	67.98[b]	بدون قارچ	قارچ میکوریزا Mycorrhiza
0.145[a]	51.02[a]	38.20[a]	78.20[a]	با تلقیح قارچ	

* در هرستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

نتیجه‌گیری: اندازه‌گیری شاخص‌های مختلف در این تحقیق نشان داد که کمبود آب در دسترس گیاه، باعث تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاه می‌گردد و رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج حاصل با تحقیقات مشابه در گیاهان دیگر شباهت داشته که نشان دهنده تاثیر تنش خشکی بر کاهش رشد در گیاهان است. همچنین نتایج تحقیقات مشابه، بیانگر این است که استفاده از همزیستی گیاهان و قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌تواند در کاهش اثرات تنش کم‌آبی موثر باشد. در نتیجه استفاده از توانایی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در توسعه رشد و بهبود عملکرد گیاهان در مواجه با تنش کم‌آبی برای پرورش گیاهان‌دارویی در سطح وسیع راهگشا می‌باشد.

References

Aghaei, K., Barzali, M., Jafarian, V., & Shekari, F. (2017). Some physiological and biochemical responses of tarragon plant to drought stress. *Journal of Plant Process and Function Iranin Society of Plant Physiology*, *6*(19), 15-24. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1396.6.19.13.1

Alsunuse, B. T. B., Al-Ani, M. A. M., Faituri, M., Ashilenje, D. S., Alawami, A. A., & Stahl, P. D. (2021). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and phosphorus uptake of

maize (Zea mays L.) at different levels of soil phosphorus and soil moisture. *Journal of Dryland Agriculture*, *7*(3), 22-33. https://doi.org/10.5897/JODA2020.0063

Alves de Assis, R. M. A., Carneiro, J. J., Medeiros, A. P. R., de Carvalho, A. A., da Cunha Honorato, A., Carneiro, M. A. C., Bertolucci, S. K. V., & Pinto, J. E. B. P. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic manure enhance growth and accumulation of citral, total phenols, and flavonoids in Melissa officinalis L. *Industrial Crops and Products*, *158*, 10-16. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112981

Anjam, H. R., Hosseinifarahi, M., & Abdipour, M. (2023). The application of arbuscular mycorrhizal fungi and putrescine on the vegetative characteristics, seed yield and essential oil of the medicinal plant cumin (Cuminum cyminum) under drought stress. *Sustainable Agricultural Science Research*, *3*(3), 28-47. [In Persian]. https://doi.org/10.30495/sarj.2023.2001810.1166

Arpanahi, A. A., Feizian, M., Mehdipourian, G., & Khojasteh, D. N. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of Thymus daenensis Celak and Thymus vulgaris L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, *100*, 103217. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103217

Aslani, Z., Hasani, A., Rasouli Sadeghiani, M. H., Sefidkon, F., & Barin, M. (2011). Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomus mosseae and Glomus intraradices) on growth, chlorophyll levels and phosphorus absorption in basil plant (Ocimum basilicum L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27*(3), 471-486. [In Persian]. http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6388

Babaei, Kh., Moghaddam, M., Farhadi, N. & Ghasemi Pirbalouti, A. (2021). Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (Tagetes minuta L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, *284*(27),110-116. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110116

Bandurska, H. (2022). Drought stress responses: Coping strategy and resistance. *Plants (Basel)*, *11*(7), 922. https://doi.org/10.3390/plants11070922

Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 1-15. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068

Boutasknit, A., Baslam, M., Ait-El-Mokhtar, M., Anli, M., Ben-Laouane, R., Douira, A., El Modafar, C., Mitsui, T., Wahbi, S., & Meddich, A. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi mediate drought tolerance and recovery in two contrasting carob (Ceratonia siliqua L.)

ecotypes by regulating stomatal, water relations, and (in)organic adjustments. *Plants*, *9*(1), 80. https://doi.org/10.3390/plants9010080

Chapman, B., Jones, D., & Jung, R. F. (1983). Processes controlling metal ion attenuation in acid mine drainage streams. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *47*(11), 1957-1973. https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90213-2

Chaves, M. M., Costa, J. M., & Saibo, N. J. M. (2011). Recent advances in photosynthesis under drought and salinity. *Advances in Botanical Research*, *57*, 49-104. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387692-8.00003-5

Cheng, H. Q., Giri, B., Wu, Q. S., Ying-Ning, Z., & Kuca, K. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi mitigate drought stress in Citrus by modulating root microenvironment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *68*(9), 1217-1228. https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1878497

Dadashi, D., Norouzi, M., Sabokdast, M., & Sarikhani, M. R. (2023). The effect of inoculation of growth-promoting bacteria Enterobacter sp. S16-3 on the morpho-physiological traits of rapeseed under drought stress. *Journal of Crop Breeding*, *15*(46), 145-155. [In Persian]. https://doi.org/10.61186/jcb.15.46.145

Etesami, H., Jeong, B. R., & Glick, B. R. (2021). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing bacteria, and silicon to P uptake by plant. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 699618. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699618

Franco, J. A. (2018). Root development under drought stress. Technology and Knowl. *Transf. E-Bull*, *2*(6), 1-3. http://hdl.handle.net/10317/2075

Gerdemann, J., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the Br. *Mycological Society*, *46*(2), 235-244. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0

Ghonjalipour Goshki, M., Abdollahi, F., & Sadeghi Lari, A. (2021). Effect of mycorrhiza fertilizer on physiological traits and economical yield of lettuce (Lactuca sativa L.) under water stress conditions. *Journal of Vegetable Sciences*, *5*(9), 177-195. [In Persian] https://doi.org/10.22034/iuvs.2021.531386.1164

Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., & Zamana, S. (2020). Yield, essential oil and quality performances of Artemisia dracunculus, Hyssopus officinalis and Lavandula angustifolia as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. *Plants*, *9*(3), 375. https://doi.org/10.3390/plants9030375

Goshasbi, F., Heidari, M., Sabbagh, S. K., & Makarian, H. (2021). Effect of water deficit stress and bio and non-bio-fertilizers on flowering branches yield, photosynthetic pigments and concentration of macro elements in thyme (Thymus vulgaris L.). *Iranian Journal of Field*

Crop Science, *52*(2), 157-172. [In Persian] https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.293187.654660

Haghir Ebrahimabadi, A., Hatami, M., Karimzadeh Asl, K., & Ghorbanpour, M. (2018). Effect of mycorrhizal fungi and biophosphor fertilizer on growth features, yield and yield components, and essential oil constituents in Cuminum cyminum L. *Journal of Medicinal Plants*, *17*(66), 74-90. [In Persian] https://doi.org/20.1001.1.2717204.2018.17.66.3.1

Hatami, N., Bazgir, E., Sedaghati, E., & Darvishnia, M. (2020). The symbiosis study of arbuscular mycorrhizal fungi with some annual herbaceous plants and morphological identification of dominant species of these fungi in Kerman Province. *Biological Journal of Microorganism, 9*(33). https://doi.org/10.22108/bjm.2020.120148.1242

Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Plant Nutrition*, *168*(4), 541-549. https://doi.org/10.1002/jpln.200420516

Hu, Y., Xie, W., & Chen, B. (2020). Arbuscular mycorrhiza improved drought tolerance of maize seedlings by altering photosystem II efficiency and the levels of key metabolites. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *7*(20), 1-14. https://doi.org/10.1186/s40538-020-00186-4

Jacob, H., & Clark, G. (2002). Methods of Soil Analysis. Part IV Physical Method. Soil Science Inc., Madison, Wisconsin, USA. pp 1692.

Jajoo, A., & Mathur, S. (2021). Role of arbuscular mycorrhizal fungi as an underground savior for protecting plants from abiotic stresses. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *27*, 2589-2603. https://doi.org/10.1007/s12298-021-01091-2

Khalid, K. A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (Ocimum sp.). *International Agrophysics*, *20*, 289-296.

Krüger, M., Stockinger, H., Krüger, C. & Schüßler, A. (2009). DNA-based species level detection of Glomeromycota: one PCR primer set for all arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, *183*, 212-223. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02835.x

Lamian, A., Ladan Moghadam, A., & Mehrafarin, A. (2015). Changes of morpho-physiological traits, essential oil and methyl chavicol content of tarragon (Artemisia dracunculus) to mycorrhiza (Glomus intraradices) inoculation and salinity stress. *Journal of Medicinal Plants*, *14*(56), 64-77. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2015.14.56.12.9

Lamian, A., Naghdibadi, H., Mehrafarin, A., & Seifsahandi, M. (2017). Changes in essential oil and morpho-physiological traits of tarragon (Artemisia dracunculus L.) in responses to arbuscular mycorrhizal fungus, AMF (Glomus intraradices N.C. Schenck & G.S. Sm.) inoculation under salinity. *Acta Agriculturae Slovenica*, *109*(2), 215-227. https://doi.org/10.14720/aas.2017.109.2.06

Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K., & Dietz, K. J. (2019). The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants*, *8*(4), 94. https://doi.org/10.3390%2Fantiox8040094

Lotfi, M., Abbaszadeh, B., & Mirza, M. (2014). The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (Artemisia dracunculus L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *30*(1), 19-29. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.5266

Mahajan, M., Kuiry, R., & Pal, P. (2020). Understanding the consequence of environmental stress for accumulation of secondary metabolites in medicinal and aromatic plants. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *18*(6), 100255. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2020.100255

Mazaraie, A., Sirousmehr, A. R., & Babaei, Z. (2017). Effect of mycorrhizal fungi on some morphological and physiological characteristics of milk thistle (Silybum marianum (L.) Gaertn.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *33*(4), 620-635. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.107860.1877

Mehdikhani Moghadam, E. (2010). Important diseases of medicinal plants. Mashhad University, P: 292. [In Persian]

Miransari, M. (2010). Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stresses. *Plant Biology*, *12*(4), 563-569. https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00308.x

Moghadasan, S., Safipour Afshar, A., & Saeid Nematpour, F. (2016). The role of mycorrhiza in drought tolerance of marigold (Calendula officinalis L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, *9*(4), 521-532. [In Persian] https://journals.iau.ir/article_518790_61526306f92517aecdfb9c8b5770411f.pdf

Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M. R., & Shayganfar, A. (2021). Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of tarragon (Artemisia dracunculus L.). *Industrial Crops & Products*, *164*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.11338

Nabizadeh, E., Haghshenas, M., & Ahmadi, K. (2023). The effect of mycorrhizal fungus (Piriformospora indica) on the morphological, physiological, and biochemical traits of the medicinal plant Stevia (Stevia rebaudiana) under drought stress. *Journal of Horticultural Science*, *37*(2), 453-465. [In Persian] https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75337.1173

Nadiu, T., & Naraly, A. (2001). Screening of drought tolerance in green gram (Vigna radiate L. Wilczeek) genotypes under reducing soil moisture. *Indian Journal of Plant Physiology*, *6*(2), 197-201.

https://indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijpp&volume=6&issue=2&article=017&type=pdf

Negahban, V., Karimian, A. K., & Fayaz, F. (2020). The coexistence of mycorrhizal fungus on the Catharanthus roseus medicinal plant under the influence of drought stress. *Journal of Medicinal Plants Biotechnology*, *6*(1), 14-26. [In Persian] https://jmpb.znu.ac.ir/article_241910.html

Oehl, F., Jansa, J., de Souza, F. A., & da Silva, G. A. (2011). Cetraspora helvetica, a new ornamented species in the Glomeromycetes from Swiss agricultural fields. *Mycotaxon, 114*(1), 71-84. https://doi.org/10.5248/114.71

Oliveira, T. C., Cabral, J. S. R., Santana, L. R., Tavares, G. G., Santos, L. D. S., Paim, T. P., Muller, C., Guimaraes Silva, F., Costa, A. C., Souchie, E. L., & Mendes, G. C. (2022). The arbuscular mycorrhizal fungus Rhizophagus clarus improves physiological tolerance to drought stress in soybean plants. *Scientific Reports*, *12*, 9044. https://doi.org/10.1038/s41598-022-13059-7

Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldan, A., & Azcon, R. (2015). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal of Plant Physiology*, *174*, 87-96. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.019

Philips, J. M., & Hyman, D. S. (1970). Improved procedures clearing root and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Mycological Research*, *55*(1), 158-161. https://doi.org/10.1016/s0007-1536(70)80110-3

Rahimi, A., Dovlati, B., & Amirnia, R. (2020). Saied Heydarzade. Effect of application of mycorrhizal fungus and Azotobacter on physiological characteristics of Trigonella foenum-graecum L. under water stress conditions. *Iranian Journal of Plant Biology*, *11*(4), 1-18. https://doi.org/10.22108/ijpb.2019.116384.1149

Ritchie, S. W., & Nguyen, H. T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*, 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183x003000010025x

Salehi-Lisar, S. Y., & Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought stress in plants: Causes, consequences, and tolerance. In Drought Stress Tolerance in Plants (pp. 1-16). https://doi.org/10.1007/978-3-319-28899-4_1

Sanayei, S., Barmaki, M., Ebadi Khazine Gadim, A., & Torabi Giglou, M. (2020). Effect of drought stress and inoculation of mycorrhizal fungi and Pseudomonas spp. on some morpho-physiological characteristics of Roselle (Hibiscus sabdariffa L.). *Agricultural Science and*

Sustainable Production, 30(2), 71-*89*. [In Persian]. *https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.2.5.8*

Sanayei, S., Barmaki, M., Ebadi Khazine Gadim, A., & Torabi Giglou, M. (2020). Effect of drought stress and inoculation of mycorrhizal fungi and Pseudomonas spp. on some morpho-physiological characteristics of Roselle (Hibiscus sabdariffa L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30*(2), 71-89. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.2.5.8

Schenck, N. C., & Perez, Y. (1990). Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. Synergistic Publications Gainesville, Florida, USA.

Sedaghati, E., Ahmadzadeh, M., Sabri-Rise, R., Rahimi, A., Hatami, N., & Mohammadi Mirik, A. A. (2021). The effect of application of arbuscular mycorrhizal fungi with some microorganisms and chemical compounds on the antioxidant enzymes activity and phenolic compounds of corn under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, *13*(48), 53-76. [In Persian] https://ijpb.ui.ac.ir/article_26392.html

Selahvarzi, Y., & Kamali, M. (2022). Investigation of drought resistance of tarragon (Artemisia dracunculus L.) under different levels of titanium nanoparticles. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 15*(1), 173-184. [In Persian] https://doi.org/10.22077/escs.2020.3571.1876

Sonar, B. A., Kamble, V. R., & Chavan, P. D. (2013). Native AM fungal colonization in three Hibiscus species under NaCl induced salinity. *Journal of Pharmaceutical and Biological Sciences, 5*(6), 7-13.

Song, H. (2005). Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology*, *1*(3), 44-48.

Verma, P., Saxena, R., & Tomar, R. S. (2016). Rhizobacteria: A promising tool for drought tolerance in crop plants. In Proceedings of International Conference on Recent Advances in Biotechnology (pp. 116-125). https://www.researchgate.net/publication/301683349_Rhizobacteria_A_Promising_Tool_for_Drought_Tolerance_in_Crop_Plants

Walker, C. (1999). Methods for culturing and isolating arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza News*, *11*(2), 2-4.

Wu, Q. S., Xia, R. X., & Zou, Y. N. (2008). Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. European Journal of Soil Biology, *44*(1), 122-128. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.10.001

Zare Hassanabadi, M., Dashti, M., & Akhondi, M. (2020). The effect of two species of arbuscular mycorrhiza fungi on the activity of antioxidant enzymes and morphophysiological characteristics of Mentha pulegium L. in drought stress. *Technology of Medicinal and*

Aromatic Plants of Iran, *2*(2), 83-99. [In Persian] https://doi.org/10.22092/MPT.2020.127803.1049

Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C. O., Rosenqvist, E., Zhao, L., Wang, Y., & Wu, Z. (2017). Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC Plant Biology*, *17*(24), 1-13. https://doi.org/10.1186/s12870-017-0974-x