

Original Article



The Symbiosis of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Some Wild Poaceous Species in Golestan Province and the Morphological Identification of the Dominant Fungal Species

Received: 2024.10.28

Accepted: 2025.10.09

Marzieh Yazdanpanah¹, Seyed Esmaeil Razavi^{1*}, Ebrahim Sedaghati²

¹ Department of Plant Protection, College of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

² Department of Plant Protection, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Wild species of the Poaceae family cover a significant portion of the rangelands in Golestan Province, Iran. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are one of the most beneficial soil microorganisms that form a mutualistic symbiotic relationship with the roots of most vascular plants. These fungi enhance water and nutrient uptake (particularly phosphorus) and increase host plant tolerance to various biotic (e.g., pathogens) and abiotic stresses (salinity, drought, heavy metal contamination and nutrient deficiencies), thereby providing considerable ecological and economic benefits. This study aimed to determine the spore population, mycorrhizal colonization percentage and identity of the dominant arbuscular mycorrhizal species associated with wild Poaceae in selected rangelands of Golestan Province.

Material and methods: The sampling was conducted at a depth of 5 to 30 cm from the rhizosphere of perennial rye-grass (*Lolium perenne* L.), blue barley (*Hordeum glaucum* S.), common wild oats (*Avena fatua* L.), Bermuda grass (*Cynodon dactylon* P.), poa or winter grass (*Poa annua* L.), lesser canary grass (*Phalaris minor* R.) and woolly brome (*Bromus tomentellus* B.) in the northern (April 2022) and southern (July 2022) rangelands of Golestan Province. Roots were stained using lactoglycerol blue solution and the mycorrhizal colonization percentage was assessed using 20 root segments per sample. Spores of arbuscular mycorrhizal fungi were extracted by wet sieving and sucrose centrifugation methods, and spores were counted per three grams of soil with three replicates. Dominant spore identification for each plant species was done based on morphological characteristics (shape, color, size, spore wall structure, hyphal attachment, etc.) using identification keys and reliable websites.

Results and discussion: The microscopic observations confirmed mycorrhizal symbiosis in all root samples. The percentage of mycorrhizal colonization varied between different plant species (17% to 95%) and the highest and lowest colonization percentages were observed in *A. fatua* (95.30%) and *P. annua* (17.25%), respectively. The average spore population (per three grams) of *Ph. minor*, *A. fatua*, *H. glaucum* (Agh Abad), *H. glaucum* (Chapar Quymeh), *C. dactylon*, *B. tomentellus*, *L. perenne* and *P. annua* were respectively estimated at 206.67, 374.33, 278, 256, 344, 242.67, 46.33, and 324.66. *A. fatua* and *L. perenne* exhibited the highest and lowest spore population, respectively. Statistical analysis revealed a positive correlation between the number of spores and the percentage of mycorrhizal colonization in all plants, except *P. annua*. Based on morphological criteria, *Funneliformis mosseae* was the dominant species of *C. dactylon*, *A. fatua* and *H. glaucum* (Chapar Quymeh), and *F. geosporus*, *Septoglomus constrictum*, *Claroideoglomus etunicatum*, *C. lamellosum* and *Scutellospora calospora* were identified as the dominant species in *H. glaucum* (Agh Abad), *Ph. minor*, *B. tomentellus*, *P. annua* and *L. perenne*, respectively. These identified arbuscular mycorrhizal fungi have been previously reported in various crops and regions across Iran.

Conclusion: These findings highlight the widespread and diverse symbiotic associations between arbuscular mycorrhizal fungi and wild Poaceae species in Golestan rangelands. Variation in colonization and spore population reflects the significant influence of ecological and edaphic factors on arbuscular mycorrhizal fungi community structure. The identification of native isolates of arbuscular mycorrhizal fungi provides a critical first step towards mass production and their future utilization in restoration programs, particularly in arid and semi-arid rangeland ecosystems.

Keywords: Ecosystem, *Hordeum glaucum*, Mutualism, Rangeland, Rhizosphere

How to cite this article: Yazdanpanah, M., Razavi, S.E., and Sedaghati, E. 2026. The Symbiosis of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Some Wild Poaceous Species in Golestan Province and the Morphological Identification of the Dominant Fungal Species. Adv. Environ. Sci. 24 (2): 305-320.

* Corresponding Author Email Address: razavi@gau.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2025.237367.1451



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

همزیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار برخی گندمیان وحشی استان گلستان و شناسایی ریخت‌شناختی گونه‌های چیره این قارچ‌ها

مرضیه یزدان‌پناه^۱، سید اسماعیل رضوی^{۱*}، ابراهیم صداقتی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۷

^۱ گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
^۲ گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: گیاهان وحشی تیره گندمیان (Poaceae)، بخشی درخور نگرش از مراتع استان گلستان را پوشش می‌دهند. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار یکی از ارزنده‌ترین ریزجانداران خاکری سودمند هستند که می‌توانند با ریشه بیشتر گیاهان آوندی همزیستی همیاری داشته باشند. این گروه قارچی با بهسازی جذب آب و عناصر مغذی (به‌ویژه فسفر) و افزایش تاوستگی گیاه میزبان در برابر بسیاری از تنش‌های زیستی (مانند بیمارگرها) و غیرزیستی (شوری، خشکی، آلودگی فلزهای سنگین و کمبود و بیشبود عناصر غذایی)، اثرات زیست‌پیرامونی و اقتصادی فراوانی دارند. این پژوهش برای تعیین شمار هاگ‌ها، درصد تروپینش (کلونیزاسیون) میکوریزی و شناسایی گونه‌های میکوریز آربوسکولار چیره در ریشه گندمیان وحشی برخی مراتع استان گلستان انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای این کار، نمونه‌برداری از ژرفای پنج تا ۳۰ سانتی‌متری بخش ریشه‌سپهر گونه‌های گیاهی چچم (*Lolium perenne*)، جوموشی (*Hordeum glaucum*)، یولاف وحشی (*Avena fatua*)، پنجه مرغی (*Cynodon dactylon*)، چمن یک‌ساله (*Poa annua*)، خونی‌واش یا بذرك (*Phalaris minor*) و علف پشمکی (*Bromus tomentellus*) واقع در نوار شمالی (فروردین‌ماه ۱۴۰۱) و جنوبی (تیرماه ۱۴۰۱) استان گلستان صورت گرفت؛ سپس، رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با بهره‌گیری از محلول لاکتوگلیسرول بلو انجام و به دنبال آن، درصد تروپینش میکوریزی ۲۰ قطعه ریشه، اندازه‌گیری شد. جداسازی هاگ‌های قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با روش‌های سری الک خیس و سانتریفیوژ در محلول شکر و شمارش هاگ‌ها در سه گرم خاک با سه تکرار انجام شد. سرانجام، شناسایی هاگ چیره هر گونه گیاهی بر پایه ویژگی‌های ریخت‌شناختی مانند شکل، رنگ، اندازه، ساختار دیواره هاگ، ریشه پیوند و غیره و بر پایه کلیدهای شناسایی و تارنماهای ویزورد (معتبر) انجام گردید.

نتایج و بحث: بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد همه نمونه‌های بررسی‌شده ریشه دارای پیوند همزیستی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بودند. درصد تروپینش میکوریزی میان گونه‌های گیاهی گوناگون، متغیر بوده (از ۱۷ تا ۹۵ درصد) و بیشترین و کمترین آن به ترتیب در گیاهان یولاف وحشی (۹۵/۳۰ درصد) و چمن یک‌ساله (۱۷/۲۵ درصد) مشاهده شدند. همچنین، میانگین شمار هاگ‌ها در سه گرم خاک ریشه‌سپهر گیاهان خونی‌واش، یولاف وحشی، جوموشی (آق‌آباد)، جوموشی (چپرئومه)، پنجه‌مرغی، علف پشمکی، چچم و چمن یک‌ساله به ترتیب ۳۷۴/۳۳، ۲۰۶/۶۷، ۲۷۸، ۲۵۶، ۳۴۴، ۲۴۲/۶۷، ۴۶/۳۳ و ۳۲۴/۶۶ برآورد گردید و یولاف وحشی و چچم به ترتیب بیشترین و کمترین شمار هاگ‌ها را داشتند. واکاوی آماری داده‌ها نشان داد که در بیشتر گیاهان، مگر چمن یک‌ساله، همبستگی مثبتی میان شمار هاگ‌ها و درصد تروپینش میکوریزی بود. پس از بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناختی، *Funnelformis mosseae* گونه چیره مرغ، یولاف وحشی و جوموشی (چپرئومه) و *Geosporus* و *Septoglomus constrictum* F. گونه چیره چچم، *Scutellospora calospora* و *C. lamellosum*، *Claroideoglossum etunicatum* (آق‌آباد)، خونی‌واش، علف پشمکی، چمن یک‌ساله و چچم شناسایی شدند. یادآوری می‌شود که همه گونه‌های میکوریز آربوسکولار شناسایی‌شده پیش از این از کشت‌ها و مناطق گوناگون ایران گزارش شده‌اند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نمایانگر همزیستی گنشمند و گوناگون قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با گندمیان وحشی در مراتع استان گلستان بود. تغییرپذیری در الگوهای همزیستی میان مناطق گوناگون بیانگر کاروری مؤثر عوامل بوم‌شناختی و خاک‌شناختی در پیدایش این جوامع قارچی می‌باشد. با نگرش به ارزش قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، شناسایی جدایه‌های بومی سرده‌ها و گونه‌های گوناگون این گروه قارچی، گام نخست در انبوه‌سازی و کاربرد این قارچ‌ها در برنامه‌های احیای مناطق گوناگون به‌ویژه مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک است.

واژه‌های کلیدی: بوم‌سامانه، جوموشی، ریشه‌سپهر، مرتع، همیاری

استناد به این مقاله: یزدان‌پناه، م.، رضوی، س. ا.، الف، صداقتی. ۱۴۰۵. همزیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار برخی گندمیان وحشی استان گلستان و شناسایی ریخت‌شناختی گونه‌های چیره این قارچ‌ها. فصلنامه علوم محیطی نوین. ۳۲۰-۳۰۵: (۲)

* Corresponding Author Email Address: razavi@gau.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2025.237367.1451



مقدمه

تیره گندمیان (Gramineae یا Poaceae) یکی از ارزشمندترین تیره‌های گیاهان گل‌دار در رده تک‌لپه‌ای‌ها است که از دید پراکنش زمین‌نگاشتی (جغرافیایی)، بوم‌شناسی، اقتصادی و فراهم ساختن خوراک انسان و دام ارزشمند می‌باشد. برخی گونه‌های این تیره، بخشی درختان نگرش از مراتع را تشکیل می‌دهند (Austrheim *et al.*, 2005). مراتع ایران به علت گوناگونی شرایط اقلیمی و اوزنگاری (توپوگرافی) آن بسیار غنی هستند؛ از این‌روی، بررسی گونه‌ها و جوامع تشکیل‌دهنده پوشش‌های گیاهی و ریزجانداران همزیست آن‌ها در برنامه‌های مدیریت بهسازی و احیای مراتع کاری بایسته می‌باشد (Dinarvand *et al.*, 2015). مراتع استان گلستان به دلیل شرایط آب و هوایی سازگار و بارخیزی خاک، پوشش گیاهی گوناگونی دارند. مناطق شمالی استان دارای جوامع استپی و نیمه‌استپی و مناطق جنوبی دارای جوامع کوهستانی و سرد می‌باشند. در سال‌های گذشته به علت دگرگونی‌های اقلیمی و تخریب انجام‌شده از سوی مردم و دام‌ها، برخی گونه‌های گیاهی با گذشت زمان از منطقه زدوده شده‌اند و یا جمعیت آن‌ها سخت کاهش یافته است. احیا و بازسازی زمین‌های تخریب‌شده از آن میان مرغزارها (علفزارها) یکی از بزرگ‌ترین دشواری‌های بخش کشاورزی و مرتعداری می‌باشد. بررسی و مدیریت جوامع میکروبی خاک با تأکید بر برقراری پیوند همزیستی میکوریزی و کاربرد آن‌ها به‌سان کودهای زیستی، می‌تواند کاروری ارزنده‌ای در احیای بوم‌سامانه‌های آسیب‌دیده داشته باشد.

همزیستی میکوریز یکی از ارزشمندترین و گسترده‌ترین پیوندهای همزیستی میان قارچ‌ها با ریشه بسیاری از گیاهان می‌باشد که بخشی جدایی‌ناپذیر و تأثیرگذار در بوم‌سامانه‌های گوناگون هستند و نبود آن‌ها به کاهش توانایی جایگیری گیاهان در طبیعت می‌انجامد (Ganugi *et al.*, 2019; Willis *et al.*, 2013). در میان قارچ‌های میکوریز گوناگون، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (Arbuscular Mycorrhizal Fungi) ارزشمندترین

(AMF) ارزشمندترین همزی‌های اجباری ریشه گیاهان به شمار می‌آیند که با بیش از ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی پیوند همزیستی همیاری برقرار می‌کنند (Bitterlich *et al.*, 2018; Smith and Smith, 2011). در این همزیستی، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار کربن و چربی‌های بایا برای زنده‌مانی خود را از فرآورده‌های فتوسنتزی و کربوهیدرات‌های گیاه میزبان دریافت می‌کنند و در ازای آن، دسترسی گیاه به آب و عناصر مغذی ناپویا و کم‌پویا به‌ویژه فسفر را افزایش می‌دهند (Luginbuehl *et al.*, 2017). از سوی دیگر، ریشه‌های میکوریزی در هم‌سنجی با ریشه‌های نامیکوریزی دارای سطح جذب بیشتری بوده و به حجم بیشتری از خاک دسترسی دارند (Zou *et al.*, 2021). این کار به بهبود رویش و نمو گیاهان میزبان و افزایش پایداری و/یا تاوستگی آن‌ها در برابر انواع تنش‌های زیستی (مانند بیمارگران) و غیرزیستی (مانند شوری، خشکی، فلزهای سنگین و کمبود یا مسمومیت عناصر غذایی) می‌شود (Begum *et al.*, 2019; Keymer *et al.*, 2017). کودهای زیستی بر پایه ریزجانداران خاک، با فراهم کردن عناصر مغذی برای گیاه و پاسداری از سلامت محیط، کاروری ارزنده‌ای در بهبود سامانه‌های کشاورزی و احیای زیست‌بوم‌های طبیعی دارند (Khaledian *et al.*, 2021). با نگرش به تأثیر مثبت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر تجزیه مواد آلی خاک، بهبود بارخیزی خاک، تغذیه گیاه، افزایش جذب آب، پایداری خاکدانه‌ها و بهبود رشد و کارکرد کشت‌ها، به‌سان کود زیستی در کشاورزی پایدار و احیای بوم‌سامانه‌های کشاورزی به کار گرفته می‌شوند (Anand *et al.*, 2022; Basiru *et al.*, 2020; Makarov, 2019). پیش از تولید کود زیستی و مایه‌زنی به گیاه، گزینش گونه یا گونه‌های میکوریز آربوسکولار یک عامل کلیدی و ارزشمند می‌باشد، زیرا اندازه‌های گوناگونی از سازگاری میان گونه‌های قارچی و گیاهان میزبان یافته می‌شوند (Navarro and Morte, 2024). روش ریخت‌شناختی، گسترده‌ترین و فراوان‌ترین روش شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار است که بر پایه

می‌باشد؛ از این رو، این پژوهش در همین راستا انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

برای انجام این کار، نخست گندمیان وحشی چیره در مراتع استان گلستان شناسایی (Asri, 2011) و از میان آن‌ها، هفت گونه گیاهی شامل چچم (*Lolium perenne* L.)، جوموشی (*Hordeum glaucum* S.)، یولاف وحشی (*Avena fatua* L.)، پنجه مرغی (*Cynodon dactylon* P.)، چمن یک‌ساله (*Poa annua* L.)، خونی‌واش یا بذک (*Phalaris minor* R.) و علف پشمکی (*Bromus tomentellus* B. برگزیده شدند (شکل ۱)؛ سپس، نمونه‌برداری از مراتع نوار شمالی استان گلستان در فروردین ماه و مراتع بخش جنوبی این استان در تیرماه سال ۱۴۰۱ انجام پذیرفت (جدول ۱).

برای هر گونه گیاهی، به صورت تصادفی سه بوته سالم از جاهای گوناگون هر منطقه برگزیده شدند و از ژرفای ۵ تا ۳۰ سانتی متری ناحیه ریشه‌سپهر، خاک و ریشه‌های موبین و نازک گردآوری شدند؛ سپس، نمونه‌های خاک در پیوند با هر گونه گیاهی درهم آمیخته شدند تا یک نمونه با سنگینی نزدیک به یک کیلوگرم تهیه گردد. در پایان، نمونه‌های گردآوری شده به آزمایشگاه برده شدند و برای دو هفته در برابر گردش هوا نگه‌داشته شدند تا خشک شوند (Błaszowski, 1993).

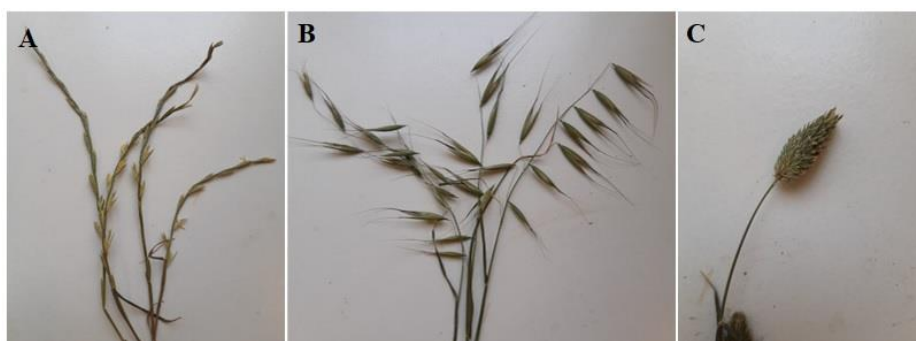
ساختارهای زادآوری غیرجنسی انجام می‌گیرد. تاکنون بیش از ۳۴۰ گونه از این گروه قارچی با بهره‌گیری از ویژگی‌های ریخت‌شناختی هاگ شناسایی شده‌اند (Tedersoo *et al.*, 2018). گونه‌های قارچی بر پایه ویژگی‌های گوناگون هاگ (مانند شکل، رنگ، اندازه، زیرساختارهای دیواره هاگ و ریشه پیوند، شکل و چگونگی پیوند ریشه به هاگ، باز یا بسته بودن ریشه و ویژگی‌های دیگر) بازشناخته می‌شوند (Błaszowski, 2012). در نبود هاگ، ویژگی‌های ساختمانی اندام‌های قارچی درون ریشه‌ای (مانند آربوسکول، وزیکل، ریشه و یاخسته‌های کمکی) شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در اندازه سرده و خانواده را انجام‌پذیر می‌سازند (Souza, 2015).

همزیستی گونه‌های گیاهی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار اثرات سودمند و فراوانی بر چندوچون میزبان به همراه دارد. در حقیقت، مایه‌زنی گیاهان با این گروه قارچی می‌تواند به گیاهان نیرومندتر با کارکرد بهتر بینجامد. از سوی دیگر، این همزیستی‌ها با بهسازی جذب مواد غذایی خاک و افزایش غنای پوشش گیاهی، کاروری ارزنده‌ای در احیای مراتع (به‌ویژه مراتع کم‌پشت با کمبود سخت مواد مغذی) خواهند داشت (Torrez *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2012). گام نخست در بهره‌گیری از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در تهیه کود زیستی برای بهره‌برداری در عملیات بهسازی و احیاء مراتع، تعیین میزان همزیستی هر گونه گیاهی با این قارچ‌ها و شناسایی گونه یا گونه‌های قارچی چیره در منطقه مورد نظر

جدول ۱- مراتع منتخب استان گلستان و گونه‌های گیاهی میزبان قارچ‌های میکوریز آربوسکولار

Table 1- Selected rangelands of Golestan province and host plant species of arbuscular mycorrhizal fungi

نام منطقه Region name	نوع مرتع Rangeland type	نام مرتع Rangeland name	موقعیت جغرافیایی و فاصله از گرگان Geographical location and distance from Gorgan	گیاهان هدف Target plant species	زمان نمونه‌برداری Sampling time
گنبد کاووس	شمالی (قشلاقی)	آق‌بند	۷۵ کیلومتر، ۷۰ درجه شرقی	پنجه‌مرغی، خونی‌واش	اوایل بهار
گنبد کاووس	شمالی (قشلاقی)	چپر قویمه	۹۲ کیلومتر، ۸۵ درجه شرقی	جوموشی، یولاف وحشی	اوایل بهار
آزادشهر	جنوبی (بیلاقی)	نوده‌خاندوز	۶۵ کیلومتر، ۱۱۰ درجه جنوب شرقی	چچم	اوایل تابستان
گنبد کاووس	جنوبی (بیلاقی)	آق‌آباد	۱۱۵ کیلومتر، ۱۰۵ درجه شمال شرقی	جوموشی	اوایل تابستان
رامیان	جنوبی (بیلاقی)	اولنگ	۶۰ کیلومتر، ۱۰۰ درجه جنوب شرقی	علف پشمکی	اوایل تابستان
علی‌آباد کتول	جنوبی (بیلاقی)	چینو	۲۵ کیلومتر، ۱۸۰ درجه جنوبی	چمن یک‌ساله	اوایل تابستان



شکل ۱- گونه‌های گیاهی چچم (A) (*Lolium perenne* L.)، یولاف وحشی (B) (*Avena fatua* L.) و خونی‌واش (C) (*Phalaris minor* R.)
 Fig. 1- Plant species of perennial rye grass (*Lolium perenne* L.) (A), common wild oat (*Avena fatua* L.) (B) and lesser canary grass (*Phalaris minor* R.) (C)

رنگ‌آمیزی ریشه‌ها و تعیین درصد تروینش

میکوریزی

برای نشان دادن پیوند همزیستی میکوریز آربوسکولار با گونه‌های گیاهی مورد بررسی، رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با بهره‌گیری از روش Philips و Hyman (۱۹۷۰) انجام گردید. بدین منظور، نخست ریشه‌ها به قطعات یک تا دو سانتی‌متری برش داده و با آب به‌خوبی شسته شدند. سپس، برای شفاف‌سازی به مدت ۹۰ دقیقه در محلول هیدروکسید پتاسیم (KOH) ۱۰ درصد قرار گرفتند. پس‌از آن، ریشه‌ها سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند تا محلول بالا به‌خوبی از ریشه‌ها شسته شود. سپس، ریشه‌ها یک دقیقه در محلول اسیدکلریدریک (HCl) ۲۰ درصد نگه‌داشته شدند و بدون شستشو، بی‌درنگ به مدت یک ساعت در محلول ۵ درصدی رنگ تریپان بلو جای‌داده شدند. در پایان، نمونه‌های ریشه برای رنگ‌بری یک شبانه‌روز درون محلول لاکتوگلیسرول (اسیدلاکتیک: گلیسرول: آب مقطر به نسبت ۱:۱:۱) در محیط آزمایشگاه نگه‌داشته شدند.

برای تعیین درصد تروینش میکوریزی، ۲۰ تکه یک سانتی‌متری از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده از هر نمونه، به‌صورت تصادفی برگزیده شدند و اسلایدهای میکروسکوپی از آن‌ها با بهره‌گیری از محلول لاکتوفنل تهیه شدند. نخست، درازای هر قطعه ریشه با یک عدسی چشمی مدرج اندازه‌گیری شد و سپس میزان تروینش

میکوریزی با برآورد طولی از ریشه که با ساختارهای قارچی (وزیکل، آربوسکول و ریشه) آلوده بودند، محاسبه گردید. در پایان، میانگین کل قطعات ریشه، به‌عنوان درصد تروینش میکوریزی به دست آمد (Biermann & Linderman, 1981).

شمارش هاگ‌ها و جداسازی هاگ‌های چیره از خاک

جمعیت هاگ‌های قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در هر نمونه خاک، با بهره‌گیری از روش‌های سری الک مرطوب (Gerdmann & Nicolson, 1963) و سانتریفیوژ در محلول ساکارز (Jenkins, 1964) ارزیابی گردید. برای این کار، میزان سه گرم خاک در ۳۰ میلی‌لیتر آب به‌صورت سوسپانسیون درآورده شد و از سری الک‌هایی که بر پایه کاهش قطر منافذ (۵۰، ۱۲۰ و ۴۰۰ مش) مرتب شده بودند، گذرانیده شدند. مواد جمع شده در پشت الک‌ها با آبفشان (پیست) شسته شدند. همچنین، ذرات خاک به همراه هاگ‌های ریز درون الک ۴۰۰ مش طی دو مرحله سانتریفیوژ شدند؛ بدین‌صورت که لایه زیرین از مرحله نخست (سانتریفیوژ سوسپانسیون خاک و آب برای ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه) با محلول ساکارز ۵۵ درصد (۵۵ گرم شکر در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) آمیخته شد و پس از یک دقیقه سانتریفیوژ با سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه، بخش زیرین، بررسی شد. پس‌از آن، شمارش هاگ‌های قارچی با استفاده از روش پتری‌دیش

مدرج و زیر استریومیکروسکوپ (Nikon SMZ 1000) با سه تکرار انجام گردید. طبق این روش، خطوط عمودی و افقی با فاصله یک سانتی‌متری توسط خط‌کش روی پتری‌دیش کشیده و هاگ‌های قارچی در کل پتری‌دیش شمارش می‌گردد. در نهایت، میانگین شمار هاگ‌ها برای هر نمونه خاک تعیین گردید (Klironomos et al., 1993). همچنین، هاگ یا هاگ‌های چیره در هر نمونه خاک برای شناسایی ریخت‌شناختی، جداسازی و گردآوری شدند.

تهیه اسلاید میکروسکوپی دائمی از هاگ‌ها

برای تهیه اسلاید میکروسکوپی از هاگ‌های قارچی جداسازی شده، مخلوطی با نسبت حجمی یک‌به‌یک از پلی‌وینیل الکل لاکتوگلیسرول (Polyvinyl-Lacto-Glycerol, PVLG) و معرف ملزر به کار گرفته شد (Hall, 1984). برای تهیه محلول PVLG میزان ۱/۷ گرم پلی‌وینیل الکل با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شده و به مدت سه تا شش ساعت در دمای ۷۰ تا ۸۰ درجه سلسیوس درون حمام آب گرم نگه داشته شد. سپس، ۱۰ میلی‌لیتر گلیسرول و ۱۰ میلی‌لیتر اسیدلاکتیک به این محلول اضافه گردید. برای تهیه شناسه ملزر میزان ۱/۵ گرم ید، ۱۰۰ گرم کلرال‌هیدرات، ۵ گرم یدیدپتاسیم با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شدند. پس از تهیه محلول‌های بالا، دو قطره از آن روی لام گذاشته و سپس هاگ‌های قارچی با سوزن درون قطره جای داده شدند. اسلایدها یک شبانه‌روز در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس نگه داشته شدند تا هاگ‌ها درون محلول رنگی تثبیت شوند و حباب‌های هوا بیرون بیایند.

شناسایی ریخت‌شناختی قارچ‌های میکوریز

آربوسکولار

شناسایی ریخت‌شناختی گونه‌های این گروه قارچی با کاربرد میکروسکوپ نوری فاز کنتراست (Nikon-ECLIPSE-80i) مجهز به سامانه نومارسکی کالیبره شده و با بررسی ویژگی‌هایی زیر انجام شد: ۱- هاگ: شکل،

رنگ، اندازه و تشکیل یا عدم تشکیل در ریشه، ۲- انفرادی یا خوشه‌ای بودن اسپورها، ۳- دیواره هاگ: شمار، نوع، رنگ و ستبری لایه‌های سازنده آن، ۴- ریشه پیوستگی: ریخت و چگونگی پیوستگی ریشه با هاگ، باز یا بسته بودن روزنه ریشه در جایگاه پیوستگی آن با هاگ و چگونگی بسته بودن آن در صورت بسته بودن، ۵- پیوستگی دیواره‌های ریشه و هاگ، ۶- بود یا نبود لایه‌های تندشی و شمار لایه‌ها، ۷- بود یا نبود هاگبار (اسپوروکارپ) و چگونگی آرایش هاگ‌ها در هاگبار. برای این کار، از کلیدهای شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، تارنماهای اینترنتی معتبر و بین‌المللی ویژه پژوهش‌های میکوریزی (مانند <http://www.invam.wvu.edu> و <http://www.zor.zut.edu.pl> و Karaarslan et al., 2015; Oehl et al., 2011; Schussler and Walker, 2010) بهره گرفته شد.

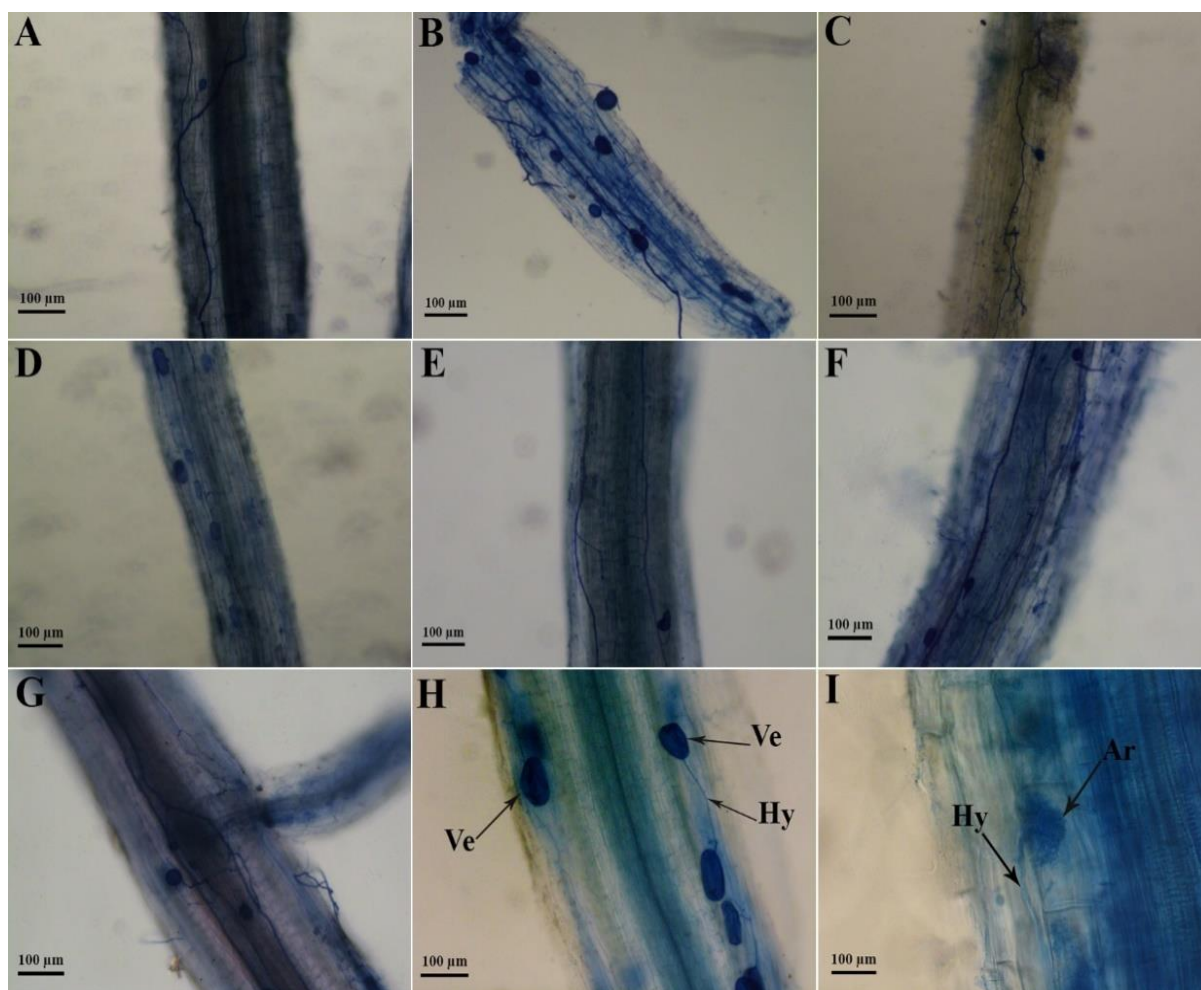
واکای آماری

واکای داده‌ها برای هم‌سنجی شمار هاگ‌ها و درصد تروینش میکوریزی میان گونه‌های گیاهی بررسی شده با به کار گرفتن نرم‌افزار SAS 9.1 و به روش One-way ANOVA با سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

درصد تروینش ریشه و شمار هاگ‌ها در خاک

پس از بررسی ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده گونه‌های وحشی تیره گندمیان، ساختارهای درون‌ریشه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار شامل ریشه، وزیکل و آربوسکول درون و میان یاخته‌های پوست ریشه دیده شدند (شکل ۲). همچنین، یافته‌های به‌دست‌آمده از خاک‌شویی نمونه‌های خاک گردآوری شده، گویای وجود انواع گوناگون هاگ‌های این گروه قارچی در بخش ریشه‌سپهر بود که نشان‌دهنده برقراری پیوند همزیستی میکوریز آربوسکولار با گونه‌های گیاهی گفته‌شده می‌باشد.



شکل ۲- اندام‌های قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در ریشه‌های رنگ آمیزی شده گیاهان: چمن یک‌ساله (A) (*Poa annua* L.)، یولاف وحشی (B و H) (*Avena fatua* L.)، چچم (C) (*Lolium perenne* L.)، جوموشی (D و I) (*Hordeum glaucum* S.)؛ خونی‌واش (E) (*Phalaris minor* R.)، علف پشمکی (F) (*Bromus tomentellus* B.) و پنجه مرغی (G) (*Cynodon dactylon* P.): Hy: هیف درون ریشه‌ای، Ve: وزیکل و Ar: آربوسکول

Fig. 2- Structures of arbuscular mycorrhizal fungi in the stained roots of plants: *Poa* or winter grass (*Poa annua* L.) (A), common wild oat (*Avena fatua* L.) (B), perennial rye grass (*Lolium perenne* L.) (C), blue barley (*Hordeum glaucum* S.) (D), lesser canary grass (*Phalaris minor* R.) (E), woolly brome (*Bromus tomentellus* B.) (F) and Bermuda grass (*Cynodon dactylon* P.) (G).

وحشی در پیوند بودند. میانگین شمار هاگ‌ها در سه گرم خاک در گیاهان نامبرده به ترتیب ۲۰۶/۶۷، ۳۷۴/۳۳، ۲۷۸، ۲۵۶، ۳۴۴، ۲۴۲/۶۷، ۴۶/۳۳ و ۳۲۴/۶۶ برآورد گردید. از این‌رو، بیشترین جمعیت هاگ‌ها در یولاف وحشی و کمترین آن در چچم یافته شد. همچنین، همبستگی میان درصد تروینش میکوریزی و شمار هاگ‌ها در هر گرم خاک جداگانه برای هر گونه گیاهی بررسی شد که همبستگی مثبتی میان درصد تروینش و فراوانی هاگ‌ها در همه گیاهان، مگر چمن یک‌ساله یافته شد (شکل ۳).

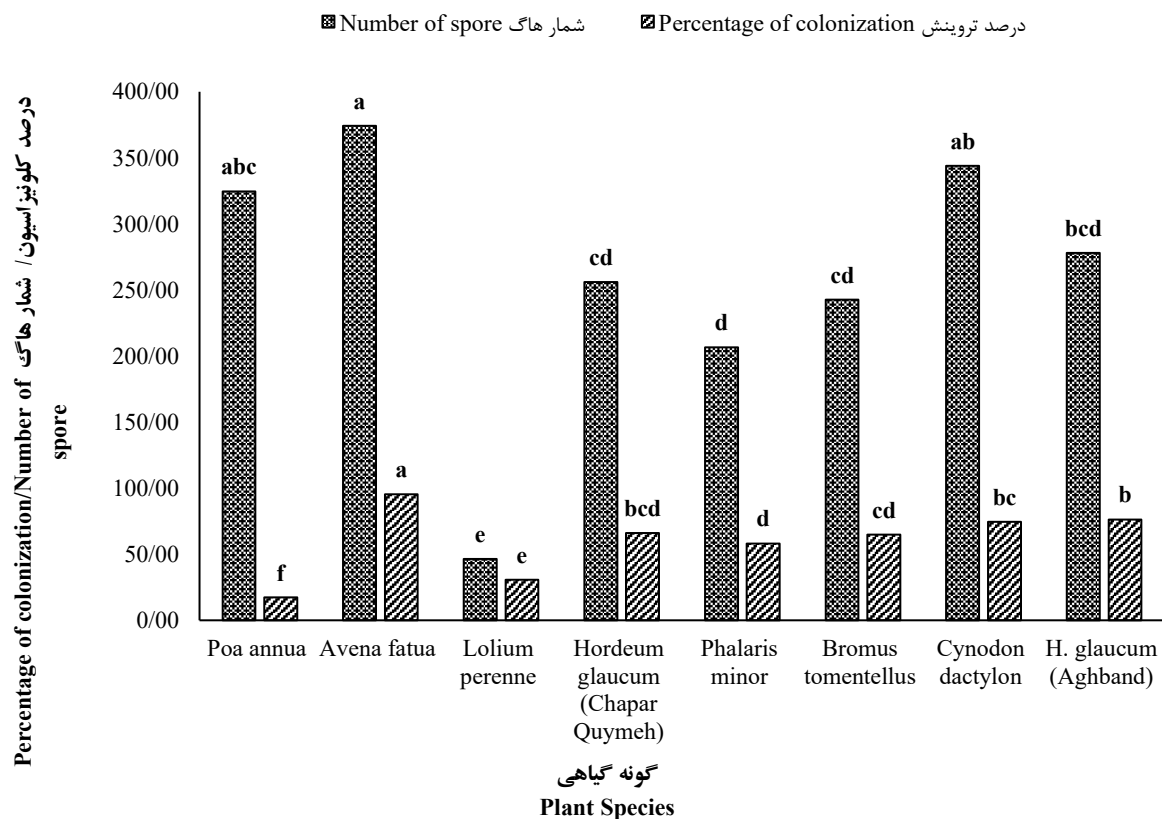
بر پایه دستاوردهای واکاوی واریانس در جدول ۲، تأثیر گونه‌های گیاهی گوناگون بر درصد تروینش میکوریزی و شمار هاگ‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بود. درصد تروینش ریشه در گیاهان خونی‌واش، یولاف وحشی، جوموشی (آق‌آباد)، جوموشی (چپر قویمه)، پنجه مرغی، علف پشمکی، چچم و چمن یک‌ساله به ترتیب ۵۸/۱۵، ۹۵/۳۰، ۷۶/۳۵، ۶۶/۰۵، ۷۴/۴۵، ۶۴/۹۰، ۳۰/۷۵ و ۱۷/۲۵ درصد به دست آمد. از این میان، کمترین و بیشترین درصد تروینش میکوریزی به ترتیب با چمن یک‌ساله و یولاف

جدول ۲- دستاوردهای تجزیه واریانس در پیوند با تأثیر گونه‌های گیاهی وحشی برگزیده تیره گندمیان بر درصد تروینش میکوریزی و شمار هاگ‌ها

Table 2- The effect of selected wild poaceous plant species on the percentage of mycorrhizal colonization and spore population based on ANOVA results

ویژگی Trait	منبع تغییرات Source of variation	جمع مربعات Sum of squares	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean of squares
درصد تروینش میکوریزی	گونه گیاهی-جایگاه جغرافیایی	۸۹۳۶۱/۹	۷	۸۹۳۶۱/۹**
	خطا	۳۸۶۱۰/۵	۱۵۲	۲۵۴/۰۱۶
	کل	۱۲۷۹۷۲/۴	۱۵۹	-
شمار هاگ‌ها	گونه گیاهی-جایگاه جغرافیایی	۲۲۰۳۲۴/۵	۷	۳۱۴۷۴/۹**
	خطا	۳۱۰۴۹/۳	۱۶	۱۹۴۰/۶
	کل	۲۵۱۳۷۳/۸	۲۳	-

** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۳- هم‌سنجی درصد تروینش میکوریزی و شمار هاگ‌ها در سه گرم خاک میان گونه‌های گیاهی برگزیده
Fig. 3- Comparison of mycorrhizal colonization percentage and number of spores per three grams of soil between selected plant species

جدول ۳- ویژگی‌های ریخت‌شناختی گونه‌های قارچی میکوریز آربوسکولار چیره شناسایی‌شده در ریشه‌سپهر گندمیان وحشی برگزیده در منطقه پژوهشی

Table 3- Morphological characteristics of identified dominant arbuscular mycorrhiza species from the rhizosphere of the selected wild poaceous plants in the research area

ویژگی‌های ریخت‌شناختی Morphological characteristics	گونه Species	سرده Genus
هاگ زرد آجری، گوی‌دیس، دیواره هاگ دولایه‌ای (لایه نخست موسیلاژی و لایه دوم ورقه‌ای)، ریشه پیوندی استوانه‌ای تا نیمه‌قیفی و دولایه‌ای با روزنه بسته	<i>C. etunicatum</i>	<i>Claroideoglossum</i>
هاگ زرد روشن، گوی‌دیس تا نیمه گوی‌دیس، دیواره هاگ سه لایه‌ای (لایه نخست ترنما (شفاف)، لایه دوم ورقه‌ای، لایه سوم کشش‌پذیر)، ریشه پیوندی استوانه‌ای با کمی باریک‌شدگی و دولایه‌ای با روزنه بسته	<i>C. lamellosum</i>	
هاگ زرد تیره، گوی‌دیس، دیواره هاگ سه لایه‌ای (لایه نخست موسیلاژی، لایه دوم ورقه‌ای و لایه سوم تیغه‌ای)، ریشه پیوندی قیفی و دولایه‌ای با روزنه بسته	<i>F. geosporum</i>	<i>Funneliformis</i>
هاگ زرد لیمویی، گوی‌دیس تا نیمه گوی‌دیس، دیواره هاگ سه لایه‌ای (لایه نخست موسیلاژی، لایه دوم ترنما و نیمه کشش‌پذیر، لایه سوم ورقه‌ای)، ریشه پیوندی قیفی و سه لایه‌ای با روزنه بسته	<i>F. mosseae</i>	
هاگ سرخ قهوه‌ای تیره، گوی‌دیس، دیواره هاگ دولایه‌ای (لایه نخست ناپایدار و لایه دوم ورقه‌ای)، ریشه پیوندی در پیوندگاه باریک شده و دولایه‌ای با روزنه بسته	<i>Se. constrictum</i>	<i>Septoglossum</i>
هاگ نارنجی قهوه‌ای، دیواره هاگ دولایه‌ای (لایه نخست پایدار و لایه دوم ورقه‌ای)، دارای دو دیواره تندشی (دیواره تندشی نخست با دو لایه کشش‌پذیر و دیواره تندشی دوم دارای لایه نخست کشش‌پذیر و لایه دوم ترنما)، صفحه تندش گرد تا خایه‌دیس (بیضی)، یاخته هاگ‌زا زرد و گریزی با دیواره دولایه‌ای	<i>S. calospora</i>	<i>Scutellospora</i>

بررسی‌شده یافته می‌شوند. این گوناگونی بالا شاید با غنای بالای گونه‌های گیاهی در مراتع در پیوند باشد (Hatami *et al.*, 2020; Hiiesalu *et al.*, 2014; Gai *et al.*, 2012). از این روی، این مراتع توانمندی بالایی در گوناگونی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار دارد. همه گونه‌های شناسایی‌شده در این پژوهش، پیش‌تر از این، از مناطق و گیاهان گوناگون ایران شناسایی شده‌اند (Moosavi *et al.*, 2023; Aminiannasab *et al.*, 2021; Hatami *et al.*, 2020; Yazdanpanah *et al.*, 2017; Aminizadeh *et al.*, 2016; Sadravi, 2012). در این پژوهش، انبوهی هاگ‌ها، درصد تروینش ریشه و ترکیب گونه‌ای این گروه قارچی در گیاهان گوناگون، ناهمگون بودند و پیوندی مستقیم میان شمار هاگ‌ها و درصد تروینش در همه گیاهان، مگر چمن یک‌ساله یافته شد، آن‌چنان‌که با افزایش شمار هاگ‌ها، درصد تروینش نیز افزایش یافت. شمار هاگ‌های قارچی و درصد تروینش میکوریزی که نشان‌دهنده زیست‌توده

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست‌های همه‌جازی هستند که به علت ماهیت غیراختصاصی به‌طورمعمول، شناسایی و رده‌بندی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر پایه بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناختی هاگ‌های آن‌ها می‌باشد (Chanada *et al.*, 2014; Blaszkowski, 2012) که روشی آسان، زود و تا اندازه‌ای ارزان است. شناسایی و بازشناسی سرده‌ها و خانواده‌های گوناگون این گروه قارچی بیشتر بر روش هاگزایی و شیوه پیوستگی ریشه به هاگ‌استوار است، حال آن‌که شناسایی گونه‌های این قارچ‌ها با بررسی زیرساختارهای دیواره هاگ، از آن میان، رنگ، شمار، نوع و ستبری لایه‌های دیواره و بود یا نبود لایه‌های تندشی، انجام‌پذیر می‌باشد (Souza, 2015). در برابر، بررسی میکروسکوپی ریشه‌های گونه گیاهی مورد نظر برای یافتن آثار قابل اطمینانی از همزیستی میکوریزی انجام می‌شود. یافته‌های این پژوهش نشان داد که گونه‌های میکوریز آربوسکولار فراوان و گوناگونی در ریشه‌سپهر گیاهان

گیاهان دارای سامانه ریشه‌ای کوچک و ناتوان، به سان یک پل پیوندی میان ریشه و جایگاه‌های تغذیه‌ای در خاک کار می‌کنند و جذب عناصر غذایی ناپویا و کم‌پویا به وسیله یاخته‌های میزبان را آسان می‌سازند (Zhu *et al.*, 2016). از سوی دیگر، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار گوناگونی می‌توانند گیاهان را بتروینند (کلونیزه بکنند). به سخی دیگر، آویژگی (اختصاصیت) در همزیستی میکوریزی پایین می‌باشد (Dhar *et al.*, 2015). باین‌همه، برخی گونه‌های میکوریز آربوسکولار ترجیح میزبانی نشان می‌دهند یا شاید یک گونه گیاهی را به میزان کمتری بتروینند و مواد مغذی کمتری را در دسترس آن بگذارند (Millar, 2014; Torrecillas *et al.*, 2012). ترشحات ریشه گیاهان گوناگون، ناهمگون می‌باشند و همچنین، ترکیب ترشحات ریشه یک گیاه در مراحل یا در شرایط محیطی گوناگون، دگرگونی می‌یابد. ازاین‌روی، می‌توان چنین پنداشت که ترکیبات درون ترشحات ریشه به گزینش گونه یا گونه‌های سازگار قارچ‌های میکوریز آربوسکولار از سوی گیاه میزبان می‌انجامد (Tahat *et al.*, 2010).

در برخی خانواده‌های قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، شمار هاگ‌ها و تروینش میکوریزی تحت تأثیر الگوی فصلی قرار می‌گیرد و در برخی دیگر هاگزایی در سراسر درازای فصل ثابت می‌باشد (Bouamri *et al.*, 2014). به سخی دیگر، میزان هاگزایی گونه‌های میکوریز آربوسکولار، یکسان نمی‌باشد. در درازای فصل‌های تابستان و بهار، دمای بالا و افزایش دسترسی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار به کربن گیاهی می‌تواند به چیرگی بیش‌ازاندازه یک گونه قارچی و تغییر گوناگونی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بینجامد (Wang *et al.*, 2021; Dumbrell *et al.*, 2010). از سویی، برخی گونه یا گونه‌های میکوریز آربوسکولار ممکن است تحت تأثیر شرایط ویژه، هاگ‌های بیشتری تولید کنند و ترویننده (کلونیزه کننده) چیره ریشه گیاه میزبان شوند (Kumar *et al.*, 2012). در برابر، برخی دیگر از گونه‌های این گروه قارچی شاید هیچ هاگی را در سراسر یک فصل یا

قارچی هستند، تحت تأثیر عوامل گوناگون مانند شرایط آب و هوایی منطقه، بارخیزی و بافت خاک، دما، رطوبت، ترشینی (Acidity) خاک، نور، در دسترس بودن مواد مغذی، جوامع ریززی خاک، کارهای خاک‌ورزی، مرحله رشدی و نیاز غذایی گیاه قرار می‌گیرند (Miao-Miao *et al.*, 2020; Silva-Flores *et al.*, 2019; de Oliveira Freitas *et al.*, 2014). تأثیر این عوامل بر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار شاید در زیستگاه‌های همگون نیز، ناهمگون باشد. از سوی دیگر، این قارچ‌ها در زیستگاه‌هایی با شرایط رویشی همگون، شاید رفتارهایی ناهمگونی نشان دهند (Kivlin *et al.*, 2013). تفاوت در ترکیب گونه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار میان گونه‌های گیاهی گوناگون و حتی درون یک گونه گیاهی در مناطق متفاوت، حاصل برهمکنش پیچیده‌ای از عوامل گیاه‌محور، خاک‌محور و بوم‌شناختی است (Enebe and Erasmus, 2023). در حقیقت، ویژگی‌های ریخت‌شناسی ریشه و توان رقابتی گیاه، شرایط فیزیکوشیمیایی خاک (به‌ویژه سطح فسفر) و برهم‌کنش‌های بین‌گونه‌ای گیاهی (مانند اثرات آللوپاتیک گیاهان غالب) ممکن است به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر موفقیت استقرار قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و به دنبال آن، تنوع و تراکم آن‌ها در یک منطقه تأثیر بگذارد (Han *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2023). بنابراین، الگوی مشاهده‌شده در این مطالعه را باید نتیجه هم‌افزایی این عوامل در کنار ویژگی‌های میزبان‌پسندی هر گیاه دانست.

فراوانی و گوناگونی گیاهان در یک منطقه شاید تعیین‌کننده نوع گونه‌های میکوریز آربوسکولار و شمار آن‌ها باشد (van der Heijden *et al.*, 2015). همچنین، سامانه ریشه‌ای و ژنتیک گیاهان بر پیوند میکوریزی تأثیر می‌گذارد (Wagg *et al.*, 2011) که به ناهمگونی درصد تروینش میکوریزی در گیاهان گوناگون می‌انجامد. درواقع، گیاهان دارای سامانه ریشه‌ای گسترده و افشان کمتر از گیاهان با سامانه ریشه‌ای کوچک‌تر به این گروه قارچی وابسته می‌باشند (Kahiluoto *et al.*, 2000). در مقابل، پیوندهای ریشه‌ای این قارچ‌ها در

در سرتاسر زمان اجرای آزمایش‌ها در کشتزار و گلخانه تولید نکنند (Brundrett et al., 1999).

در این بررسی، تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و گونه چیره همزیست گیاه جوموشی در دو منطقه آق‌آباد و چپر قویمه، ناهمگون بود. این یافته به روشنی نشان می‌دهد که علی‌رغم یکسان بودن میزبان، شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های خاک هر منطقه (مانند ترکیب فیزیکوشیمیایی خاک) کاروری تعیین‌کننده‌ای در گزینش و استقرار گونه‌های قارچی دارد. مراتع شمالی استان (همچون چپر قویمه) با خاک‌های شوره‌زار، نیمه‌خشک و قلیایی، میزبان گونه‌های مقاوم به شوری و کمبود فسفر از جمله *F. Mosseae* هستند، در حالی که مراتع جنوبی (مانند اولنگ) با خاک‌های اسیدی و سرشار از مواد آلی، شرایط بهینه را برای گونه‌های کارآمد در جذب فسفر فراهم می‌کنند. بررسی‌ها حاکی از آن است که اسیدیته خاک و میزان فسفر در دسترس، ۳۰ تا ۵۰ درصد از تغییرپذیری جوامع میکوریز آربوسکولار را تبیین می‌کنند (Yan et al., 2023; Xu et al., 2017). افزون بر این، عوامل اقلیمی شامل بارش، دما، رطوبت و ارتفاع نقش کلیدی در توزیع این گروه قارچی ایفا می‌کنند (Han et al., 2023). با توجه به شرایط اقلیمی مراتع شمالی و جنوبی استان گلستان، گندمیان وحشی این مراتع به ترتیب میزبان گونه‌های میکوریز آربوسکولار مقاوم به خشکی و گونه‌های سازگار با رطوبت بالا هستند. همچنین محدودیت‌های پراکندگی، هم‌آوردی میان گونه‌های گوناگون میکوریز آربوسکولار، برهمکنش با دیگر ریزجانداران خاکریزی و کنش‌های انسانی (مانند چرای بیش‌ازاندازه دام) نیز بر ترکیب جوامع قارچی تأثیرگذار هستند (Lu et al., 2022; Rincon et al., 2021; da Silva et al., 2014). در پایان، این ناهمگونی در گونه‌های چیره دو مرتع، پیامد برهمکنش پیچیده عوامل خاکی، اقلیمی و زیستی است که الگوهای سازگاری بوم‌شناختی جداگانه‌ای را پدید می‌آورد. از سوی دیگر، تغییرپذیری بسیار در درصد تروینش و شمار هاگ‌ها میان گونه‌های گیاهی و حتی درون

یک گونه در مناطق گوناگون، بر پویایی این همزیستی در پاسخ به فاکتورهای زمانی و محیطی تأکید می‌کند (Sivakumar, 2013).

یکی از شاخص‌های مهم کنشگری قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، ارزیابی درصد تروینش ریشه گیاه میزبان با این گروه قارچی است. عوامل گوناگونی مانند ویژگی‌های ریخت و ساختار ریشه، چندوچون ترشحات ریشه‌ای و میزان کاربرد کودهای شیمیایی فسفره و از ته بر تروینش میکوریزی تأثیر می‌گذارند (Miao-Miao et al., 2020). افزون بر هاگ‌های قارچی، وزیکل‌ها و شبکه میسلیمی نیز توانایی آلوده کردن ریشه‌های گیاه را دارند (Mafaziya & Madawala, 2015). از سوی دیگر، سرعت کنشگری قارچ‌های میکوریز آربوسکولار گوناگون، یکسان نمی‌باشد و برخی گونه‌ها، مانند *Rhizophagus irregularis*، ریشه گیاه میزبان را زود تروینده و در زمان کوتاهی، شمار بسیاری هاگ تولید می‌کنند. با افزایش شمار هاگ‌های خاک، احتمال تندش و تماس هاگ‌ها با ریشه‌های گیاه میزبان بیشتر می‌شود و به دنبال آن، درصد تروینش ریشه و برقراری پیوند همزیستی افزایش می‌یابد (Oliveira & Oliveira, 2005). باین‌حال، گاهی فراوانی هاگ‌ها، بازتاب‌کننده زیست‌توده قارچی در ریشه‌های گیاه میزبان و خاک نمی‌باشد و پیوندی مستقیم با درصد تروینش میکوریزی ندارد (Hempel et al., 2007) که این پدیده در این پژوهش در گیاه چمن یک‌ساله دیده شد. پژوهشگران بسیاری همبستگی مثبت میان شمار هاگ‌های قارچ‌های میکوریزی و میزان تروینش ریشه را پیش‌تر گزارش کرده‌اند (Moosavi et al., 2023; Hatami et al., 2020; Dhar et al., 2015; Al-Qarawi et al., 2012; Sturmer & Bellei, 1994).

با نگرش به این‌که بخشی بزرگی از زمین‌های کشور ما در نواحی خشک و نیمه‌خشک جای دارد و همواره با تنش‌های گوناگونی مانند خشکی، شوری، فلزهای سنگین و دیگر تنش‌ها روبرو هستند، احیاء و تجدید حیات بوم‌سامانه‌های گوناگون به‌ویژه مراتع، کاری بایسته می‌باشد. درواقع، بررسی

و اجرای عملیات بهسازی مانند جداسازی، شناسایی، خالص سازی و انبوه سازی گونه های قارچی میکوریز آربوسکولار بومی هر منطقه و بوته کاری همراه با این قارچ ها، در زنده ماننی و گسترش پوشش گیاهان مرتعی در بازه زمانی کوتاه کاروری بسیار ارزنده ای دارد و با جلوگیری از فرسایش خاک، به احیای مناطق خشک، به ویژه مراتع، کمک می کند. از طرف دیگر، برخی گونه های گیاهی مراتع مانند گندمیان وحشی منتخب در بررسی حاضر، از سازگاری بالا و توان تکثیر سریعی برخوردار هستند. از این رو، برخی گونه های میکوریز آربوسکولار همزیست این گیاهان ممکن است با گونه های گیاهی در حال زوال، رابطه همیاری ویژه ای برقرار کنند؛ بنابراین، حفاظت از گیاهان میزبان و قارچ های همزیست آن ها، به طور غیرمستقیم در حفظ تنوع زیستی مراتع مؤثر می باشد.

نتیجه گیری

یافته های این پژوهش به روشنی نشان دادند که گندمیان وحشی مراتع استان گلستان میزبان جامعه ای پویا و رنگارنگ از قارچ های میکوریز آربوسکولار هستند. قارچ های این گروه به گستردگی در خاک ریشه سپهر گندمیان وحشی برگزیده یافته شدند و توانمندی برقراری همزیستی کارآمد با میزبان های گوناگون را داشتند. در حقیقت، تنوع و تراکم قارچ های میکوریز آربوسکولار در ریشه سپهر گیاهان گوناگون، تابعی از ویژگی های ذاتی گیاه میزبان و

شرایط بوم شناختی حاکم بر هر منطقه می باشد. وجود تفاوت در گونه چیره، شمار هاگ ها و درصد تروینش میکوریزی گونه گیاهی جوموشی در مناطق ناهمگون، گواه روشنی بر این مدعا است که عوامل محیطی و مدیریتی می توانند بر شکل گیری این پیوند همزیستی بر روی یک گونه گیاهی خاص، اثرات گوناگونی بر جای بگذارند. از سوی دیگر، بالا بودن شمار هاگ ها و درصد تروینش میکوریزی در مناطق مورد بررسی نشان می دهد که مراتع، انباشگاه طبیعی ارزشمندی برای گیاهان گوناگون به ویژه گندمیان وحشی، گونه های جانوری و ریزجانداران می باشند. با نگرش به ارزش مراتع و پوشش گیاهی تشکیل دهنده آن، شناسایی و بررسی همزیستی میکوریزی در گونه های گیاهی بومی در معرض تهدید استان گلستان و کاربرد کودهای زیستی بر پایه قارچ های میکوریز آربوسکولار و منطقه محور می تواند در طراحی برنامه های حفاظتی و احیای این گونه ها و افزایش کاموری و پایداری برنامه های احیای مراتع، به ویژه در شرایط خشک و نیمه خشک، بسیار کارور باشد.

سپاسگزاری

پژوهش انجام شده بخشی از رساله دکتری بیماری شناسی گیاهی می باشد؛ بدین وسیله از همکاری گروه گیاه پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تقدیر و تشکر می شود.

References

- Al-Qarawi, A.A., Mridha, M.A.U. and Alghamdi, O.M. 2012. Diversity of structural colonization and spore population of arbuscular mycorrhizal fungi in some plats from Riyadh, Saudi Arabia. *Journal of Pure and Applied Microbiology*. 6(3), 1119-1125.
- Aminiannasab, P., Sedaghati, E., Hosseini, S. and Saberi, R. 2021. Identification of arbuscular mycorrhizal fungi associated with different plants in Rafsanjan based on morphological characteristics and β -tubulin gene sequence. *Journal of Microbial Biology*. 10(38), 27-40. (In Persian with English abstract).

منابع

- Aminizadeh, S., Alaei, H., Sedaghati, E. and Moradi, M. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with pistachio trees in Rafsanjan. *Pistachio Science and Technology*. 1(2), 1-21. (In Persian with English abstract).
- Anand, K., Pandey, G.K., Kaur, T., Pericak, O., Olson, C., Mohan, R., Akansha, K., Yadav, A., Devi, R., Kour, D. and Rai, A.K. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi as a potential biofertilizers for agricultural sustainability. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. 10, 90-107.
- Austrheim, G., Evju, M. and Myserud, A. 2005.

- Herb abundance and life-history traits in two contrasting alpine habitats in southern Norway. *Plant Ecology*. 179, 217-229.
- Asri, Y. 2011. Range plants of Iran, volume 1: Monocotyledones. Publisher: Research Institute of Forests and Rangelands Publications, Tehran.
- Basiru, S., Mwanza, H.P. and Hijri, M. 2020. Analysis of arbuscular mycorrhizal fungal inoculant benchmarks. *Microorganisms*. 9(1), 81.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ahmed, N., Ashraf, M., and Zhang, L. 2019. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*. 10, 1068-1085.
- Biermann, B. and Linderman, R.G. 1981. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: a proposed method towards standardization. *New Phytologist*. 87(1), 63-67.
- Bitterlich, M., Franken, P. and Graefe, J. 2018. Arbuscular mycorrhiza improves substrate hydraulic conductivity in the plant available moisture range under root growth exclusion. *Frontiers in Plant Science*. 9, 301-309.
- Blaszkowski, J. 1993. Comparative studies of the occurrence of arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) in cultivated and uncultivated soils of Poland. *Acta Mycologica*. 28, 93-140.
- Blaszkowski, J. 2012. Glomeromycota. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences.
- Bouamri, R., Dalpe, Y. and Serrhini, M.M. 2014. Effect of seasonal variation on arbuscular mycorrhizal fungi associated with date palm. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 26(11), 977-986.
- Brundrett, M.C., Abbott, L.K. and Jasper, D.A. 1999. Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia. 1. Comparison of the effectiveness and specificity of different isolation procedures. *Mycorrhiza*. 8, 305-314.
- Chanada, D., Sharma, G.D. and Jha, D.K. 2014. Isolation and identification of some Arbuscular Mycorrhiza (AM) fungi for phytoremediation in soil contaminated with paper mill effluent. *Intrenational Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 3(6), 527-539.
- de Oliveira Freitas, R., Buscardo, E., Nagy, L., dos Santos Maciel, A.B., Carrenho, R. and Luizao, R.C. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungal communities along a pedo-hydrological gradient in a Central Amazonian terra firme forest. *Mycorrhiza*. 24(1), 21-32.
- da Silva, I.R., de Mello, C.M.A., Neto, R.A.F., da Silva, D.K.A., de Melo, A.L., Oehl, F. and Maia, L.C. 2014. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along an environmental gradient in the Brazilian semiarid. *Applied Soil Ecology*. 84: 166-175.
- Dhar, P., AL-Qarwi, A. and Mridha, M. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungal association in Asteraceae plants growing in the arid lands of Saudi Arabia. *Journal of Arid Land*. 7(5), 676-686.
- Dinarvand, M., Ejtehad, H., Jankju, M. and Andarzian, B. 2015. Study of floristics, life form and chorology of plants in Shimbar protected area (Khuzestan province). *Journal of Plant Biological Sciences*. 7(23), 1-14. (In Persian with English abstract).
- Dumbrell, A.J., Nelson, M., Helgason, T., Dytham, C. and Fitter, A.H. 2010. Idiosyncrasy and overdominance in the structure of natural communities of arbuscular mycorrhizal fungi: is there a role for stochastic processes? *Journal of Ecology*. 98, 419-428.
- Enebe, M.C. and Erasmus, M. 2023. Symbiosis-a perspective on the effects of host traits and environmental parameters in arbuscular mycorrhizal fungal richness, colonization and ecological functions. *Agriculture*. 13(10), 899.
- Gai, J.P., Tian, H., Yang, F.Y., Christie, P., Li, X.L. and Klironomos, J.N. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity along a Tibetan elevation gradient. *Pedobiologia*. 55(3), 145-151.
- Ganugi, P., Masoni, A., Pietramellara, G. and Benedettelli, S. 2019. A review of studies from the last twenty years on plant-arbuscular mycorrhizal fungi associations and their uses for wheat crops. *Agronomy*. 9(12), 840-855.
- Gerdemann, J. and Nicolson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*. 46, 235-244.
- Hall, I.R. 1984. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 57-94.
- Han, S., Wang, X., Cheng, Y., Wu, G., Dong, X., He, X. and Zhao, G. 2023. Multidimensional analysis reveals environmental factors that affect community dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in poplar roots. *Frontiers in Plant Science*. 13, 1068527.
- Hatami, N., Bazgir, E., Sedaghati, E. and Darvishnia, M. 2020. The symbiosis study of arbuscular mycorrhizal fungi with some annual herbaceous plants and the morphological identification of dominant species of these fungi in Kerman province. *Biological Journal of Microorganism*. 33, 40-55. (In Persian with English abstract).
- Hempel, S., Renker, C. and Buscot, F. 2007. Differences in the species composition of arbuscular mycorrhizal fungi in spore, root and soil communities in a grassland ecosystem.

Environmental Microbiology. 9(8), 1930-1938.

Hiiesalu, I., Partel, M., Davison, J., Gerhold, P., Metsis, M., Moora, M., Opik, M., Vasar, M., Zobel, M. and Wilson, S.D. 2014. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi: associations with grassland plant richness and biomass. *New Phytologist*. 203(1), 233-244.

Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*. 48, 692.

Kahiluoto, H., Ketoja, E. and Vestberg, M. 2000. Promotion of utilization of arbuscular mycorrhiza through reduced P fertilization. 1. Bioassays in a growth chamber. *Plant and Soil*. 227, 191-206.

Karaarslan, E., Uyanoz, R. and Dogu, S. 2015. Morphological identification of vesicular arbuscular mycorrhiza on bulbous plants (Taurus Mountain in Turkey). *Archives of Biological Sciences*. 67(2), 411-426.

Keymer, A., Pimprikar, P., Wewer, V., Huber, C., Brands, M., Bucerius, S.L., Delaux, P.M., Klingl, V., von Ropenack-Lahaye, E., Wang, T.L., and Eisenreich, W. 2017. Lipid transfer from plants to arbuscular mycorrhiza fungi. *Elife*. 6, 1-33.

Khalediyan, N.; Weisany, W. and Schenk, P.M. 2021. Arbuscular mycorrhizae and rhizobacteria improve growth, nutritional status and essential oil production in *Ocimum basilicum* and *Satureja hortensis*. *Industrial Crops and Products*. 160, 113-163.

Kivlin, S.N., Emery, S.M. and Rudgers, J.A. 2013. Fungal symbionts alter plant responses to global change. *American Journal of Botany*. 100(7), 1445-1457.

Klironomos, J.N., Mouroglis, P., Kendrick, B. and Widden, P. 1993. A comparison of spatial heterogeneity of VAM fungi in two maple-forest soil. *Canadian Journal of Botany*. 71, 1472-1480.

Kumar, A., Bhatti, S.K. and Aggarwal, A. 2012. Biodiversity of endophytic mycorrhiza in some ornamental flowering plants of Solan, Himachal Pradesh. *Biological Forum—An International Journal*. 4 (2), 45-51

Lee, E.H., Eo, J.K., Ka, K.H. and Eom, A.H. 2013. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems. *Mycobiology*. 41(3), 121-125.

Lu, N., Zhang, P., Wang, P., Wang, X., Ji, B. and Mu, J. 2022. Environmental factors affect the arbuscular mycorrhizal fungal community through the status of host plants in three patterns of Chinese fir in southern China. *Global Ecology and Conservation*. 36, e02121.

Luginbuehl, L.H., Menard, G.N., Kurup, S., Van Erp, H., Radhakrishnan, G.V., Breakspear, A.,

Oldroyd, G.E. and Eastmond, P.J. 2017. Fatty acids in arbuscular mycorrhizal fungi are synthesized by the host plant. *Science*. 356, 1175-1178.

Mafaziya, F. and Madawala, S. 2015. Abundance, richness and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in natural and semi-natural land use types at upper Hantana. *Ceylon Journal of Science (Biological Sciences)*. 44(1), 25-34.

Makarov, M.I. 2019. The role of mycorrhiza in transformation of nitrogen compounds in soil and nitrogen nutrition of plants: a review. *Eurasian Soil Science*. 52(2), 193-205.

Miao-Miao, X.I.E., Yu, W.A.N.G., Qiu-Shuang, L.I., Kamil, K.U.C.A. and Qiang-Sheng, W.U. 2020. A friendly-environmental strategy: application of arbuscular mycorrhizal fungi to ornamental plants for plant growth and garden landscape. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 48(3), 1100-1115.

Millar, J.A. 2014. Effect of mycorrhizal colonization and light limitation on growth and reproduction of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.).

Moosavi, N.S., Sedaghati, E., Khodaygan, P., Alaei, H. and Hatami, N. 2023. Study of the diversity and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in Kolah'ghazy protected area, Isfahan Province. *Environmental Sciences*. 21(3), 31-48. (In Persian with English abstract).

Navarro, J.M. and Morte, A. 2024. Arbuscular mycorrhizal fungi as biofertilizers to increase the plant quality of Sour-Orange seedlings. *Agronomy*. 14(1). 230.

Oehl, F., Silva, G.A., Goto, B.T. and Sieverding, E. 2011. Glomeromycota: three new genera, and glomoid species reorganized. *Mycotaxon*. 116, 75-120.

Oliveira, A.N.D. and Oliveira, L.A.D. 2005. Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in plants of *Theobroma grandiflorum* Schum and *Paullinia cupana* Mart. of an agroforestry system in Central Amazonia, Amazonas state, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*. 36(3), 262-270.

Philips, J.M. and Hyman, D.S. 1970. Improved procedures clearing root and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Mycological Research*. 55, 158-161.

Rincon, C., Droh, G., Villard, L., Masclaux, F.G., N'guetta, A., Zeze, A. and Sanders, I.R. 2021. Hierarchical spatial sampling reveals factors influencing arbuscular mycorrhizal fungus diversity in Côte d'Ivoire cocoa plantations. *Mycorrhiza*. 31(3), 289-300.

Sadravi, M. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi of alfalfa root in the Kohgiluyeh and Boierahmad

- province (SW Iran). *Rostaniha*. 13(1), 101-104. (In Persian with English abstract).
- Schussler, A. and Walker, C. 2010. The Glomeromycota: a species list with new families and new genera.
- Silva-Flores, P., Bueno, C.G., Neira, J. and Palfner, G. 2019. Factors affecting arbuscular mycorrhizal fungi spore density in the Chilean Mediterranean-type ecosystem. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 19(1), 42-50.
- Sivakumar, N. 2013. Effect of edaphic factors and seasonal variation on spore density and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane fields. *Annals of Microbiology*. 63(1), 151-160.
- Smith, S.E. and Smith, F.A. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual Review of Plant Biology*. 62, 227-250.
- Souza, T. 2015. *Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi*. Cham: Springer, p. 135.
- Sturmer, S. and Bellei, M. 1994. Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the island of Santa Catarina, Brazil. *Canadian Journal of Botany*. 72(3), 359-363.
- Tahat, M.M., Sijam, K. and Othman, R. 2010. The role of tomato and corn root exudates on *Glomus mosseae* spores germination and *Ralstonia solanacearum* growth in vitro. *International Journal of Plant Pathology*. 1(1), 1-12.
- Tedersoo, L., Sanchez-Ramirez, S., Koljalg, U., Bahram, M., Doring, M., Schigel, D., May, T., Ryberg, M. and Abarenkov, K. 2018. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*. 90(1), 135-159.
- Torrecillas, E., Alguacil, M.M. and Roldan, A. 2012. Host preferences of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing annual herbaceous plant species in semiarid Mediterranean prairies. *Applied and Environmental Microbiology*. 78(17), 6180-6186.
- Torrez, V., Ceulemans, T., Mergeay, J., de Meester, L. and Honnay, O. 2016. Effects of adding an arbuscular mycorrhizal fungi inoculum and of distance to donor sites on plant species recolonization following topsoil removal. *Applied Vegetation Science*. 19, 7-19.
- Van der Heijden, M.G., Martin, F.M., Selosse, M.A. and Sanders, I.R. 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*. 205(4), 1406-1423.
- Wagg, C., Antunes, P.M. and Peterson, R.L. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungal phylogeny-related interactions with a non-host. *Symbiosis*. 53(1), 41-46.
- Wang, J., Ma, S., Wang, G.G., Xu, L., Fu, Z., Song, J. and Zhang, J. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi communities associated with wild plants in a coastal ecosystem. *Journal of Forestry Research*. 32(2), 683-695.
- Willis, A., Rodrigues, B.F. and Harris, P.J. 2013. The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 32(1), 1-20.
- Xu, X., Chen, C., Zhang, Z., Sun, Z., Chen, Y., Jiang, J. and Shen, Z. 2017. The influence of environmental factors on communities of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Chenopodium ambrosioides* revealed by MiSeq sequencing investigation. *Scientific Reports*. 7(1), 45134.
- Yan, P., Hou, H., Lv, Y., Zhang, H., Li, J., Shao, L., Xie, Q., Liang, Y., Li, J. and Ni, X. 2023. Diversity characteristics of arbuscular mycorrhizal fungi communities in the soil along successional altitudes of Helan Mountain, arid, and semi-arid regions of China. *Frontiers in Microbiology*. 14, 1099131.
- Yazdanpanah, M., Sedaghati, E., Khodygan, P. and Alaei, H. 2017. Molecular and morphological identification of arbuscular mycorrhizal fungi associated with pistachio roots in Kerman province. *Pistachio Science and Technology*. 2(4), 11-29. (In Persian with English abstract).
- Zhang, T., Sun, Y., Shi, Z. and Feng, G. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi can accelerate the restoration of degraded spring grassland in Central Asia. *Rangeland Ecology and Management*. 65, 426-432.
- Zhu, X., Fengbin, S., Shengqun, L. and Fulai, L. 2016. Arbuscular mycorrhiza improves growth, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency in wheat grown under elevated CO₂. *Mycorrhiza*. 26, 133-140.
- Zou, Y.N., Wu, Q.S. and Kuca, K. 2021. Unravelling the role of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating the oxidative burst of plants under drought stress. *Plant Biology*. 23, 50-57.

