

Research Article

Plant Prod., 2022, 44(4), 587-600
<http://plantproduction.scu.ac.ir/>

ISSN (P): 2588-543X
ISSN (E): 2588-5979

Investigation of Phosphorus Use Efficiency and Drought and Salinity Stress Resistance Index in Pistachio Rootstocks Coexisted with Mycorrhiza Arbuscular

Masoud Fattahi¹, Abdolrahman Mohammadkhani^{2*}, Behroz Shiran³, Bahram Baninasab⁴, Rudابه Ravash⁵

- 1- Ph.D. Student of Horticulture Science, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
- 2- ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran (mkhani7@yahoo.com)
- 3- Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
- 4- Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
- 5- Assistant Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Citation: Fattahi, M., Mohammadkhani, A., Shiran, B., Baninasab, B., & Ravash, R. (2022). Investigation of phosphorus use efficiency and drought and salinity stress resistance index in pistachio rootstocks coexisted with mycorrhiza arbuscular. *Plant Productions*, 44(4), 587-600.

 10.22055/PPD.2020.33219.1894

Received: 16 April 2020

Accepted: 20 July 2020

Abstract

Introduction

Environmental stresses are serious threats to agricultural production. Abiotic stress too is a serious threat to agricultural products. Pistachio is one of the most important agricultural products in Iran and United States and is grown in other countries as well. Pistachio has good yields in rain fed condition and increases the flush and quality of yield by irrigation. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are among the most useful microorganisms in soil, and most plants can become symbiotic with mycorrhiza, that help improve nutritional conditions and other functions such as photosynthesis and osmotic regulation under stress conditions.

Materials and Methods

AMF, (*Funneliformis mosseae*) were grown using corn (*Zea mays*). Four pistachio rootstocks in symbiosis with mycorrhiza were subjected to drought and salinity stress in two separate experiments. Plants were divided randomly into three treatments (three replications and 6 plants



per treatment), Treatments included drought, salinity, mycorrhiza and rootstock (In Shahrekord University 32° 21 N 50° 49 E, 2017-18). At the end of the experiment, the plants were harvested. Then all parts of the plant, including roots, shoots and leaves, were separated and weighted. The amount of phosphorus was measured using a spectrophotometer (*UV-Vis Spectrometer*) at a wavelength of 470 nm (Olsen *et al.*, 1954). Data were evaluated by Three-way analysis of variance (ANOVA) with SPSS 25.0.0.

Results and Discussion

The rootstock biomass in this experiment were influenced by different treatments (mycorrhiza, rootstock type and stress). P content of both leaves and root tissues of pistachio rootstocks was affected by both drought and salinity stress (Not shown in the data). Mycorrhiza increased root, stem and leaf fresh weight under drought and salinity stress and leaf area ratio and specific leaf area under salinity stress. Mycorrhiza-inoculated plants had lower phosphorus use efficiency and more tolerance to drought and salinity stresses. Growth indices and phosphorus use efficiency of root, leaf and total, decreased under both drought and salinity stresses. The Sarakhs rootstock was more salinity-sensitive than other rootstocks. In this research, pistachio rootstocks showed differences in biomass and biomass reduced under salinity and drought stress. Biomass reductions under abiotic stress (drought and salinity stress) conditions in previous studies on almond, peaches, olives, apple and pistachio fruit trees are also reported here. Biomass was higher in +M rootstocks, which could have been due to effects of mycorrhizal symbiosis on P absorption. The difference between rootstocks is related to rootstock absorption capacity which has to do with root condition. Therefore, rootstocks with better roots growth may develop root survival under stress condition. They can also be better in mineral uptake and more tolerant to stress status, because the ability of plants to withstand stresses depends to a large extent on roots.

Conclusion

The use of beneficial soil microorganisms is one of the best strategies contributing to sustainable agriculture and the environment. Among the most beneficial soil microorganisms with which plants may establish a symbiotic relationship are arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). AMF can improve soil physicochemical properties that generate plant growth and elevate the status of plants in terms of water and mineral nutrition, leading to improved plant growth maintenance. Based on these findings, AMF in symbiosis with pistachio rootstocks helped increase drought and salinity stress tolerance.

Keywords: Growth response, Phosphorus, Stress tolerance, Symbiosis

بررسی کارآیی فسفر و شاخص مقاومت به تنش خشکی و شوری در پایه‌های پسته همزیست شده با قارچ میکوریزا آربسکولار

مسعود فتحی^۱، عبدالرحمان محمدخانی^{۲*}، بهروز شیران^۳، بهرام بانی‌نسب^۴، رودابه راوش^۵

۱- دانشجوی دکتری علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- *نویسنده مسئول: دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران (mkhani7@yahoo.com)

۳- استاد، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۵- استادیار، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۸

چکیده

تنش‌های خشکی و شوری از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و کارآیی گیاهان هستند. از این‌رو پژوهشی جهت بررسی اثر تلقیح پایه‌های پسته با یک ایزوله از قارچ میکوریزا آربسکولار بر ویژگی‌های رشدی، کارآیی استفاده از فسفر و مقاومت به تنش پایه‌ها در دانشگاه شهرکرد در سال ۹۶-۱۳۹۵ اجرا گردید. دو آزمایش جداگانه به صورت فاکتوریل با سه فاکتور بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول در هر دو آزمایش پایه‌های پسته در چهار سطح، شامل بادامی‌ریز زرد، قزوینی، سرخس و هیبرید UCBI، فاکتور دوم در هر دو آزمایش میکوریزا در دو سطح شامل عدم تلقیح و تلقیح پایه‌ها و فاکتور سوم در آزمایش اول تنش خشکی (آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی به عنوان شاهد، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت گلدانی) و در آزمایش دوم تنش شوری (۰/۹۱ به عنوان شاهد، ۷/۵۷، ۱۶/۱۲ و ۲۴/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر) بود. دانه‌های پسته به مدت ۶۰ روز تحت تنش قرار داشتند. میکوریزا باعث افزایش وزن تر ریشه، ساقه و برگ در هر دو تنش و نسبت سطح برگ و سطح مخصوص برگ در تنش شوری گردید. گیاهان تلقیح شده با میکوریزا کارآیی استفاده از فسفر کمتر و تحمل بیشتری در برابر تنش‌های خشکی و شوری داشتند. شاخص‌های رویشی و کارآیی استفاده از فسفر ریشه، برگ و کل گیاه در اثر هر دو تنش خشکی و شوری کاهش یافت. واکنش چهار پایه استفاده شده در این آزمایش به میکوریزا و تنش‌های خشکی و شوری متفاوت بود. نتایج این تحقیق نشان داد پایه‌های سرخس و UCBI به ترتیب از نظر تحمل به تنش خشکی و شوری بهتر از دو پایه دیگر بودند.

کلیدواژه‌ها: پاسخ رویشی، تحمل به تنش، فسفر، همزیستی

2019). تنش‌های خشکی و شوری با کاهش پتانسیل آب خاک سبب کاهش جذب آب توسط گیاه و کاهش زیست‌توده می‌شوند. کاهش جذب آب باعث کاهش تقسیم و رشد سلول، کوچک شدن اندازه برگ، بسته شدن

مقدمه

پسته به عنوان یک گیاه نیمه گرمسیری اقتصادی‌ترین محصول کشاورزی ایران است که کم‌آبی و شوری خاک تهدیدی جدی برای گسترش آن می‌باشد (Mirfattahi et al.,

در گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان تلقیح نشده کمتر بود (Abbaspour et al., 2012). مطالعات زیادی نشان داده‌اند که مایکوریزا باعث افزایش میزان تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (Fattahi et al., 2014; Shamsiri and Fatahi, 2016; Evelin et al., 2019). درک سازوکارهایی که مایکوریزا بواسطه آن‌ها باعث القای تحمل به گیاهان می‌شود ضروری است. یکی از مکانیسم‌هایی که به مایکوریزا نسبت داده شده بهبود جذب مواد معدنی به‌ویژه فسفر است (Bagheri et al., 2012). از این رو در این آزمایش به بررسی کارایی استفاده از فسفر پایه‌های پسته تلقیح شده با مایکوریزا در شرایط تنش خشکی و شوری به‌عنوان مهم‌ترین تنش‌های مناطق پسته کاری پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه و آزمایشگاه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد (۲۱° ۳۲' عرض شمالی و ۴۹° ۵۰' طول شرقی) در سال ۹۶-۱۳۹۵ به اجرا درآمد. به‌منظور بررسی تأثیر همزیستی مایکوریزا بر تحمل به خشکی و شوری چهار پایه پسته بادامی ریز زرنده، قزوینی، سرخس و هیبرید UCB1 (*Pistacia atlantica* and *P. integerrima*) دو آزمایش جداگانه گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و هر تکرار شامل یک گلدان (هر گلدان محتوی دو گیاه پسته) اجرا شد. آزمایش اول شامل تنش خشکی در چهار سطح شامل آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی به‌عنوان شاهد، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت گلدانی (به ترتیب شاهد تا تنش شدید) اعمال گردید. آزمایش دوم شامل تنش شوری بود که از نمک کلرید سدیم در چهار سطح ۰/۹۱ (شاهد)، ۷/۵۷ (تنش خفیف)، ۱۶/۱۲ (تنش متوسط) و ۲۴/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر (تنش شدید) استفاده شد. تیمار مایکوریزا در هر دو آزمایش شامل گیاهان تلقیح شده و تلقیح نشده با مایکوریزا بود. خاک مورد استفاده در این آزمایش مخلوطی از دوسوم خاک مزرعه و یک‌سوم ماسه بود (جدول ۱) که قبل از استفاده به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ اتمسفر اتوکلاو شد.

روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز می‌شود (Li et al., 2009; Mirfattahi et al., 2019; Bagheri et al., 2019). تأثیر تنش خشکی و شوری بر کاهش رشد و کارایی استفاده از مواد غذایی در گیاهان را می‌توان به جذب آب در شرایط تنش نسبت داد. زیرا آب حلال بسیاری از مواد از جمله نمک‌های معدنی، قندها و یون‌های آلی است و کمبود آن جذب و انتقال مواد غذایی از جمله فسفر را کاهش می‌دهد (Goicoechea et al., 2004). مایکوریزا آریسکولار قابلیت همزیستی با طیف گسترده‌ای از گیاهان از جمله پسته را دارند و می‌توانند به‌عنوان بهبوددهنده شرایط نامناسب خاک استفاده شوند (Esna-Ashari and Bahrami, 2018). مایکوریزا به‌عنوان یک ریشه ثانویه در جذب آب و مواد معدنی خاک اطراف ریشه گیاه میزبان عمل می‌کنند (Naghizade, 2007; Sheng et al., 2009). استفاده از قارچ‌های مایکوریزا یک راهبرد مؤثر در کاهش زیان‌های خشکی و شوری می‌باشد. در بررسی تأثیر همزیستی قارچ مایکوریزا بر ویژگی‌های فیزیولوژی و ریخت‌شناسی پسته در شرایط تنش شوری نتایج نشان داد در مواجهه با شوری شاخص‌های رشدی برگ (سطح برگ و تعداد برگ) کاهش و درصد ریزش برگ افزایش یافت. همزیستی باعث بهبود شاخص‌های وزن تر و خشک برگ، تعداد برگ، سطح برگ نسبت به گیاهان تلقیح نشده گردید (Fattahi et al., 2014). تأثیر همزیستی مایکوریزا (*Glomus mosseae* و *G. Verciform*) بر مقاومت به شوری دانه‌های مرکبات و ویژگی‌های رویشی در اثر شوری کاهش یافت و این کاهش در گیاهان تلقیح نشده به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (Wu et al., 2010). در گیاه انگور وزن تر و خشک ریشه، برگ و ساقه، سطح برگ در اثر تنش خشکی کاهش یافت و همزیستی مایکوریزا باعث بهبود شاخص‌های رشدی نسبت به گیاهان غیرهمزیست شد (Fattahi and Mohammadkhani, 2019). هم‌چنین در پژوهشی که روی دانه‌های پسته انجام شد در اثر تنش خشکی وزن تر شاخساره و ریشه، سطح برگ و محتوای فسفر ریشه و شاخساره در گیاهان همزیست و غیرهمزیست با مایکوریزا کاهش یافت که میزان کاهش

Table 1. Results of physical and chemical analysis of used soil in the experiment

EC ds.m ⁻¹	pH	N%	Kmg.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹	Mn mg.kg ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹
0.9	7.54	0.10	273	10.3	0.49	8.91	4.21
B mg.kg ⁻¹	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	F.C. (%)	P.W.P	CEC	Texture
2.39	28.62	32.6	37.5	27.7	9.2	20.9	CL

شاخص مقاومت به تنش = وزن تازه گیاه در تیمار شوری / وزن تازه گیاه در تیمار شاهد × ۱۰۰

نسبت سطح برگ ((Leaf Area Ration (LAR))،
سطح ویژه برگ ((Specific Leaf Area (SLA)) و وزن
مخصوص برگ ((Specific Leaf Weight (SLW)) نیز
با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (Vile, 2005).

$$LAR = LA/W$$

$$SLW = LW/LA$$

$$SLA = LA/LW$$

که در این رابطه‌ها:

LA: سطح برگ بر حسب سانتی مترمربع، W: وزن خشک
کل بر حسب گرم، LW: وزن برگ بر حسب گرم می‌باشد.
میزان فسفر با استفاده از روش (Olsen (1954)
اندازه‌گیری شد و میزان کارآیی استفاده از فسفر از رابطه
زیر به دست آمد (Beryla and Koide, 1990).

کارآیی استفاده از فسفر (gr.mg⁻¹) = وزن خشک کل

گیاه / میزان فسفر کل گیاه

این پژوهش در قالب دو آزمایش جداگانه فاکتوریل بر
پایه طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور و سه تکرار اجرا شد.
تجزیه آماری داده‌ها (تنش خشکی و شوری به صورت
جداگانه) با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۵) و مقایسه
میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح
احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) صورت گرفت.

نتایج و بحث

آزمایش اول: صفات رویشی تحت تنش خشکی

همزیستی مایکوریزا به طور معنی داری (در سطح
احتمال پنج درصد) باعث افزایش وزن تر ریشه، ساقه و
برگ شد و تأثیر معنی داری بر نسبت سطح برگ و سطح
مخصوص برگ نداشت. وزن مخصوص برگ گیاهان
تلقیح‌نشده با مایکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح‌شده بیشتر
بود (جدول ۲). بیشترین وزن تر ساقه (۱۱/۸ و ۱۱/۲

در این آزمایش از گونه قارچ *Funneliformis mosseae* استفاده شد. قارچ مورد نظر به مدت ۴ ماه در
گلخانه روی گیاه ذرت جهت تولید مایه قارچ پرورش یافت.
بذرها از مؤسسه تحقیقات پسته رفسنجان تهیه و پس از
ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد در اتاقک رشد با
دمای ۲۵ درجه سانتی گراد جهت جوانه‌زنی قرار گرفتند.
پس از جوانه‌زدن، بذرها در گلدان‌های ۵ لیتری کاشته
شدند. همزمان با کشت بذرهای پسته، مایه کوبی در
تیمارهای تلقیح‌شده با مایکوریزا با اضافه کردن ۲۰۰ گرم
مایه قارچ در عمق دو سانتی متری خاک بصورت نواری
انجام شد و در تیمار تلقیح‌نشده مایه قارچ به گلدان‌ها اضافه
نشد. دانه‌های پسته به مدت ۴ ماه در گلخانه، با دمای ۵
±۲۸ درجه سانتی گراد، میانگین رطوبت نسبی ۲۸/۷ درصد،
شدت نور میانه روز 10 ± 42 کیلولوکس و آبیاری ۳ روز
یکبار رشد کردند. تیمار شوری در چهار سطح بر اساس
هدایت الکتریکی آب آبیاری (۰/۹۱، ۷/۵۷، ۱۶/۱۲ و
۲۴/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر) و با استفاده از نمک کلرید
سدیم اعمال شد. جهت اعمال تنش شوری ابتدا با غلظت
پایین شوری (۷/۵۷) سپس غلظت متوسط (۱۶/۱۲) و در
آبیاری سوم از غلظت شدید تنش شوری (۲۴/۶۳) استفاده
گردید و به منظور جلوگیری از تجمع نمک آبیاری تا ۳۰
درصد بیشتر از ظرفیت زراعی انجام شد. تنش خشکی
(۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی به صورت وزنی به عنوان شاهد،
۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت گلدانی) به مدت ۶۰ روز اعمال
گردید. بعد از پایان آزمایش، ابتدا گیاه به سه قسمت برگ،
ساقه و ریشه تقسیم و وزن تر دانه‌ها اندازه‌گیری شد. برای
تعیین وزن خشک نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با
دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته و سپس وزن شدند.
مقاومت به خشکی و شوری در گیاهان با مقایسه وزن تر
گیاهان شاهد با گیاهان رشد کرده در شرایط تنش به دست
آمد. میزان مقاومت به تنش خشکی و شوری با استفاده از
رابطه زیر محاسبه شد (Rajeendran et al., 2009).

پایه با تنش شوری تنها بر شاخص سطح مخصوص برگ معنی‌دار نبود (جدول ۳). تنش خشکی و شوری باعث تأثیر بر رشد گیاهان شد زیرا گیاهان برای مقابله با تنش روزنه‌های خود را می‌بندند تا از تعرق بیش از حد جلوگیری کنند. در این شرایط، از یک طرف ورود CO₂ و فتوسنتز کاهش می‌یابد و از طرف دیگر با کاهش تعرق میزان جذب و انتقال آب از طریق ریشه‌های گیاه کمتر شده و منجر به کاهش رشد می‌شود (Karimi et al., 2013; Grassi and Magnani, 2005). کاهش سطح مخصوص برگ در اثر تنش ممکن است به دلیل کاهش مواد فتوسنتزی و صرف شدن انرژی جهت مکانیسم‌های مختلف تحمل به تنش از جمله تنظیم اسمزی باشد (Fattahi et al., 2014). از طرف دیگر افزایش وزن مخصوص برگ ممکن است ناشی از تجمع کربوهیدرات‌های غیرساختاری، ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی و تجمع یونهای سازگار و یا سدیم و کلر در شرایط تنش شوری باشد (Bayulo et al., 2003). همانطور که در مطالعات قبلی روی انگور (Fattahi and Shamschiri, 2019) و پسته (mohammadkhani, 2019) و پسته (Fatahi, 2016; Fahimi et al., 2016) گزارش شده نتایج این پژوهش نیز نشان داد نقش قارچ‌های مایکوریزا بر رشد رویشی غیرقابل انکار است. دلیل بهتر بودن رشد گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا این است که هیف‌های قارچ سطح تماس ریشه با خاک و محوطه تحت تصرف ریشه را گسترش داده و جذب آب و مواد معدنی را افزایش می‌دهند. به همین دلیل استفاده از این قارچ‌ها در شرایط تنش خشکی و شوری جهت بهبود جذب آب و مواد غذایی مفید است (Evelin et al., 2019; Bagheri et al., 2012; Ortiz et al., 2015; Fattahi et al., 2017).

کارآیی استفاده از فسفر

تحت تنش خشکی کارآیی استفاده از فسفر در ریشه و تحت تنش شوری کارآیی استفاده از فسفر در ریشه (۰/۵۰) و برگ (۰/۴۴) گیاهان تلقیح‌نشده با مایکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح‌شده بیشتر بود (جدول ۴). کارآیی استفاده از فسفر در پایه‌های پسته متفاوت بود.

گرم) و برگ (۱۰/۷ و ۱۰/۳) در پایه UCB1 و بادامی‌ریزرنند وجود داشت و تفاوت معنی‌داری بین این دو پایه وجود نداشت و کمترین وزن مخصوص برگ (۰/۱۶) گرم در سانتی‌متر مربع) در پایه سرخس مشاهده شد (جدول ۲). افزایش شدت تنش خشکی (سطح شدید تنش) باعث کاهش وزن تر ریشه، ساقه و برگ، نسبت سطح برگ و سطح مخصوص برگ (به ترتیب ۳۹/۸، ۴۴/۵، ۵۴/۹، ۴۹/۱ و ۲۹/۳ درصد) شد و باعث افزایش وزن مخصوص برگ در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۲). اثرات دوجانبه تیمارها بر وزن تر ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و وزن تر ساقه و برگ به ترتیب تحت تأثیر اثرات دوجانبه مایکوریزا با تنش و پایه با تنش خشکی قرار گرفتند (جدول ۲).

آزمایش دوم: صفات رویشی تحت تنش شوری

در شرایط تنش شوری وزن تر ریشه و برگ، نسبت سطح برگ و سطح مخصوص برگ در گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا نسبت به گیاهان غیرهمزیست بیشتر بود. میانگین وزن مخصوص برگ گیاهان همزیست با مایکوریزا به‌طور معنی‌داری کمتر از گیاهان غیرهمزیست بود (جدول ۳). بیشترین وزن تر ریشه (۲۳/۴ گرم) و ساقه (۱۱/۳ گرم) در پایه UCB1 و بیشترین نسبت سطح برگ و سطح مخصوص برگ به ترتیب با میانگین‌های ۳/۵۱ و ۸/۸۵ سانتی‌متر مربع در گرم در پایه سرخس وجود داشت. همچنین بیشترین وزن تر برگ (۱۰/۷ گرم) در پایه قزوینی مشاهده شد که با پایه بادامی‌ریزرنند تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). افزایش شدت تنش شوری (تنش شدید نسبت به شاهد) باعث کاهش وزن تر ریشه، ساقه و برگ، نسبت سطح برگ و سطح مخصوص برگ (به ترتیب ۴۷/۱، ۶۲/۷، ۶۰/۲، ۳۵/۵ و ۲۲/۱ درصد) شد و تأثیری بر وزن مخصوص برگ در مقایسه با شاهد نداشت (جدول ۳). نتایج نشان داد تنها وزن تر ساقه تحت تأثیر برهمکنش مایکوریزا با تنش شوری قرار گرفت و بیشترین وزن تر ساقه مربوط به گیاهان شاهد و همزیست با مایکوریزا با میانگین ۱۱/۵ گرم بود. از طرف دیگر تأثیر برهمکنش

Table 2. Mean comparison of simple and two factor effects of treatments on some growth traits of pistachio rootstocks [Badami riz (B), Sarakhs (S), Qazvini (Q) and UCB1 (U)] symbiosis with mycorrhiza (M and NM) under drought stress conditions [Control (C), Low (L), Mild (M) and High (H)]

Treatments	Root fresh weight (g)	Stem fresh weight (g)	Leaf fresh weight (g)	LAR (cm ² g ⁻¹)	SLA (cm ² g ⁻¹)	SLW (g cm ²)
NM	19.0 ^b	6.7 ^b	7.1 ^b	2.39	5.06	0.25 ^a
M	26.3 ^a	8.9 ^a	9.8 ^a	2.51	5.01	0.24 ^b
Badami Riz (B)	25.7 ^b	11.2 ^a	10.7 ^a	1.95 ^c	3.90 ^b	0.29 ^a
Sarakhs (S)	16.2 ^d	2.1 ^c	4.5 ^c	3.62 ^a	4.17 ^b	0.16 ^b
Qazvini (Q)	18.9 ^c	5.8 ^b	8.1 ^b	2.54 ^b	5.11 ^b	0.27 ^a
UCB1 (U)	29.6 ^a	11.8 ^a	10.3 ^a	1.90 ^c	6.97 ^a	0.25 ^a
Control (C)	26.6 ^a	10.1 ^a	11.1 ^a	3.46 ^a	6.22 ^a	0.21 ^b
Low Stress (L)	23.6 ^b	8.2 ^b	9.5 ^{ab}	2.82 ^b	5.53 ^{ab}	0.22 ^b
Mild Stress (M)	24.1 ^{ab}	7.1 ^{bc}	8.1 ^b	1.97 ^c	4.35 ^{bc}	0.26 ^{ab}
High Stress (H)	16.0 ^c	5.6 ^c	5.0 ^c	1.76 ^c	4.04 ^c	0.28 ^a
M × R						
BNM	23.2 ^{bc}	10.3	9.7	1.94	4.11	0.29
SNM	13.2 ^e	1.5	3.7	3.82	6.43	0.16
QNM	15.8 ^{de}	4.0	6.6	2.30	3.73	0.29
UNM	23.5 ^{bc}	10.5	8.2	1.97	5.88	0.24
BM	28.1 ^b	12.2	11.7	1.97	3.68	0.28
SM	19.3 ^{c-e}	2.8	5.3	3.42	7.51	0.16
QM	22.0 ^{bd}	7.7	9.6	2.79	4.61	0.24
UM	36.8 ^a	13.4	12.7	1.81	4.19	0.26
M × S						
CNM	24.7 ^{ab}	10.6 ^a	10.5	3.21	5.63	0.23
LNМ	18.1 ^{bc}	6.1 ^{ab}	7.2	3.11	6.39	0.21
MNM	19.2 ^{bc}	5.9 ^{ab}	6.8	1.89	4.13	0.27
HNM	14.4 ^c	4.2 ^b	4.1	1.83	4.14	0.27
CM	28.6 ^a	9.6 ^a	11.8	3.72	6.82	0.19
LM	29.2 ^a	10.3 ^a	11.7	2.52	4.67	0.23
MM	29.1 ^a	8.3 ^{ab}	9.3	2.04	4.56	0.25
HM	17.8 ^{bc}	7.3 ^{ab}	5.9	1.69	3.92	0.29
R × S						
BC	36.1 ^{ab}	15.0	16.4 ^a	2.28	3.64	0.28
BL	28.1 ^{cd}	12.1	12.0 ^{bc}	2.46	5.20	0.25
BM	23.1 ^{cf}	10.4	8.6 ^{ce}	1.69	3.73	0.27
BH	15.4 ^{fh}	7.4	5.7 ^{df}	1.38	3.02	0.34
SC	15.7 ^{fh}	2.4	4.6 ^{df}	5.46	10.10	0.11
SL	21.1 ^{cg}	2.8	6.1 ^{df}	3.63	6.22	0.17
SM	17.8 ^{eh}	2.1	4.3 ^{ef}	2.76	6.18	0.17
SH	10.4 ^h	1.3	3.0 ^f	2.61	5.38	0.20
QC	25.8 ^{ce}	7.1	10.0 ^{bd}	3.17	4.55	0.24
QL	19.7 ^{dg}	6.1	8.6 ^{ce}	2.95	4.68	0.24
QM	17.2 ^{eh}	5.3	8.0 ^{ce}	2.18	4.18	0.27
QH	12.7 ^{gh}	4.9	5.9 ^{df}	1.86	3.26	0.33
UC	29.0 ^{bc}	15.9	13.5 ^{ab}	2.93	6.60	0.22
UL	25.7 ^{ce}	11.8	11.1 ^{bc}	2.22	6.03	0.21
UM	38.4 ^a	10.8	11.4 ^{bc}	1.23	3.29	0.33
UH	25.3 ^{ce}	8.9	5.1 ^{ef}	1.21	4.51	0.25

Means having the same letter in traits are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5%.

هر دو شرایط تنش خشکی و شوری با افزایش شدت تنش کارآیی استفاده از فسفر افزایش یافت (زیرا به ازای فسفر کمتر وزن خشک بیشتری وجود داشت که ناشی از کمبود

به طوری که این شاخص در پایه UCB1 و سرخس در هر دو شرایط تنش نسبت به پایه های دیگر بیشتر بود زیرا به ازای فسفر کمتر ماده خشک بیشتری تولید شده بود. در

فسفر در سطوح بالای تنش است) و در مقایسه با شاهد در کمترین وزن تر گیاه در آن ثبت شده بود (جدول ۴). اثرات سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین میزان کارآیی استفاده از فسفر در بالاترین سطح تنش خشکی (با میانگین ۰/۵۱) و شوری (با میانگین ۰/۵۷) وجود داشت که دوجانبه تیمارها بر کارآیی استفاده از فسفر در جدول ۴ گزارش شده است. در بررسی اثرات سه‌جانبه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نگردید.

Table 3. Mean comparison of simple and two factor effects of treatments on some growth traits of pistachio rootstocks [Badami riz (B), Sarakhs (S), Qazvini (Q) and UCB1 (U)] symbiosis with mycorrhiza (M and NM) under salinity stress conditions [Control (C), Low (L), Mild (M) and High (H)]

Treatments	Root fresh weight (g)	Stem fresh weight (g)	Leaf fresh weight (g)	LAR (cm ² g ⁻¹)	SLA (cm ² g ⁻¹)	SLW (g cm ²)
NM	20.7 ^b	7.3	7.5 ^b	2.09 ^b	4.83 ^b	0.29 ^a
M	27.5 ^a	8.4	9.1 ^a	2.77 ^a	6.74 ^a	0.20 ^b
Badami Riz (B)	26.1 ^b	9.3 ^b	10.0 ^{ab}	2.28 ^b	4.64 ^c	0.23 ^b
Sarakhs (S)	15.6 ^d	2.6 ^d	4.2 ^c	3.51 ^a	8.85 ^a	0.16 ^c
Qazvini (Q)	21.1 ^c	8.1 ^c	10.7 ^a	1.80 ^b	2.97 ^c	0.43 ^a
UCB1 (U)	33.4 ^a	11.3 ^a	8.5 ^b	2.09 ^b	6.60 ^b	0.17 ^c
Control (C)	30.2 ^a	11.0 ^a	11.8 ^a	2.99 ^a	6.06 ^a	0.23 ^{ab}
Low Stress (L)	26.4 ^b	8.9 ^b	9.5 ^b	2.66 ^a	6.25 ^a	0.21 ^b
Mild Stress (M)	23.6 ^b	7.4 ^c	7.3 ^c	2.10 ^b	6.03 ^a	0.27 ^a
High Stress (H)	16.0 ^c	4.1 ^d	4.7 ^d	1.93 ^b	4.72 ^b	0.28 ^a
M × R						
BNM	23.9	8.3	9.2	2.27 ^b	4.50 ^{bc}	0.24 ^{bc}
SNM	12.5	2.2	4.0	2.67 ^b	5.95 ^b	0.20 ^c
QNM	18.6	6.4	9.1	1.34 ^c	2.05 ^c	0.57 ^a
UNM	27.3	12.0	7.7	2.07 ^{bc}	6.65 ^b	0.17 ^{cd}
BM	28.4	10.4	10.7	2.30 ^b	4.77 ^{bc}	0.23 ^{bc}
SM	18.7	3.0	4.4	4.34 ^a	11.75 ^a	0.11 ^d
QM	23.6	9.7	12.2	2.27 ^b	3.89 ^{bc}	0.29 ^b
UM	40.5	10.6	9.4	2.11 ^{bc}	6.55 ^b	0.17 ^{cd}
M × S						
CNM	26.4	10.5 ^{ab}	11.5	2.60	4.68	0.27
LNm	23.1	8.4 ^{ac}	8.2	2.39	5.89	0.24
MNM	21.4	7.4 ^{bc}	6.9	1.65	4.53	0.34
HNM	12.7	3.4 ^d	3.8	1.72	4.26	0.32
CM	34.0	11.5 ^a	12.1	3.38	7.44	0.19
LM	29.8	9.3 ^{ab}	10.7	2.93	6.60	0.18
MM	25.8	7.4 ^{bc}	7.7	2.54	7.53	0.20
HM	19.9	5.0 ^{cd}	5.8	2.18	5.27	0.23
R × S						
BC	31.4 ^{bc}	12.4 ^b	13.8 ^{ab}	2.62 ^{bd}	4.33	0.24 ^{cf}
BL	30.2 ^{bd}	10.1 ^{bc}	10.5 ^{bc}	2.84 ^{bc}	6.24	0.17 ^{ef}
BM	24.9 ^{ce}	9.0 ^{bd}	9.2 ^{cd}	1.98 ^{cd}	4.28	0.24 ^{cf}
BH	18.0 ^{eg}	5.9 ^{df}	6.3 ^{df}	1.69 ^{cd}	3.70	0.28 ^{ce}
SC	16.7 ^{eg}	3.1 ^{fh}	4.9 ^{eg}	5.14 ^a	11.33	0.12 ^f
SL	16.7 ^{eg}	3.4 ^{fh}	5.4 ^{eg}	3.32 ^b	7.64	0.14 ^{ef}
SM	17.2 ^{eg}	2.5 ^{gh}	3.8 ^{fg}	2.85 ^{bc}	10.10	0.17 ^{ef}
SH	11.7 ^g	1.5 ^{gh}	2.7 ^g	2.71 ^{bd}	6.34	0.19 ^{df}
QC	26.0 ^{bc}	10.4 ^{bc}	13.3 ^{ab}	2.22 ^{bd}	3.59	0.34 ^{bd}
QL	24.1 ^{ce}	10.4 ^{bc}	13.7 ^{ab}	2.01 ^{bd}	2.95	0.38 ^{bc}
QM	21.8 ^{cf}	7.9 ^{ce}	10.6 ^{bc}	1.42 ^d	2.34	0.52 ^a
QH	12.7 ^{fg}	3.6 ^{fh}	5.1 ^{eg}	1.57 ^{cd}	2.99	0.47 ^{ab}
UC	46.6 ^a	18.2 ^a	15.2 ^a	2.00 ^{cd}	4.99	0.22 ^{df}
UL	34.8 ^b	11.5 ^b	8.3 ^{ce}	2.47 ^{bd}	8.16	0.13 ^{ef}
UM	30.5 ^{bd}	10.3 ^{bc}	5.6 ^{eg}	2.12 ^{bd}	7.40	0.14 ^{ef}
UH	21.6 ^{df}	5.3 ^{eg}	4.8 ^{eg}	1.76 ^{cd}	5.86	0.18 ^{ef}

Means having the same letter in traits are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5%.

Table 4. Mean comparison of simple and tow factor effects of treatments on P use efficiency (PUE) under drought and salinity stress condition

Treatments	Drought			Salinity			
	Root PUE	Leaf PUE	Total PUE	Root PUE	Leaf PUE	Total PUE	
NM	0.45 ^a	0.40	0.41	0.50 ^a	0.44 ^a	0.47 ^a	
M	0.43 ^b	0.40	0.42	0.47 ^b	0.41 ^b	0.43 ^b	
Main effects	Badami Riz (B)	0.42 ^b	0.36 ^d	0.39 ^b	0.46 ^b	0.40 ^b	0.42 ^b
	Sarakhs (S)	0.45 ^a	0.42 ^b	0.43 ^a	0.51 ^a	0.46 ^a	0.48 ^a
	Qazvini (Q)	0.44 ^{ab}	0.38 ^c	0.40 ^b	0.46 ^b	0.40 ^b	0.42 ^b
	UCB1 (U)	0.46 ^a	0.44 ^a	0.44 ^a	0.50 ^a	0.44 ^a	0.47 ^a
	Control (C)	0.35 ^d	0.29 ^d	0.31 ^d	0.39 ^d	0.29 ^d	0.33 ^d
	Low Stress (L)	0.42 ^c	0.39 ^c	0.40 ^c	0.43 ^c	0.39 ^c	0.41 ^c
	Mild Stress (M)	0.46 ^b	0.42 ^b	0.44 ^b	0.51 ^b	0.47 ^b	0.48 ^b
	High Stress (H)	0.53 ^a	0.49 ^a	0.51 ^a	0.60 ^a	0.55 ^a	0.57 ^a
M × R	BNM	0.42	0.36	0.39	0.49 ^a	0.44 ^{ab}	0.47 ^{ab}
	SNM	0.44	0.40	0.42	0.54 ^a	0.49 ^a	0.51 ^a
	QNM	0.43	0.38	0.40	0.45 ^b	0.38 ^b	0.41 ^b
	UNM	0.45	0.44	0.43	0.50 ^a	0.45 ^{ab}	0.47 ^{ab}
	BM	0.42	0.36	0.39	0.42 ^b	0.35 ^b	0.38 ^b
	SM	0.46	0.44	0.45	0.48 ^{ab}	0.43 ^{ab}	0.45 ^{ab}
	QM	0.44	0.38	0.41	0.47 ^{ab}	0.41 ^{ab}	0.44 ^{ab}
	UM	0.47	0.43	0.45	0.49 ^a	0.44 ^{ab}	0.46 ^{ab}
M × S	CNM	0.33 ^e	0.30 ^d	0.29 ^d	0.39 ^f	0.28 ^e	0.33 ^e
	LNM	0.42 ^{cd}	0.39 ^c	0.40 ^c	0.44 ^d	0.40 ^d	0.42 ^d
	MNM	0.47 ^{bc}	0.41 ^{bc}	0.44 ^{bc}	0.52 ^c	0.49 ^b	0.50 ^c
	HNM	0.51 ^{ab}	0.49 ^a	0.50 ^a	0.62 ^a	0.58 ^a	0.60 ^a
	CM	0.38 ^d	0.29 ^d	0.33 ^d	0.38 ^f	0.30 ^e	0.33 ^e
	LM	0.42 ^{cd}	0.39 ^c	0.40 ^c	0.42 ^{de}	0.38 ^d	0.40 ^d
	MM	0.46 ^c	0.43 ^b	0.45 ^b	0.49 ^c	0.44 ^c	0.47 ^c
	HM	0.54 ^a	0.50 ^a	0.52 ^a	0.57 ^b	0.51 ^b	0.54 ^b
	BC	0.36 ^h	0.26 ^h	0.31 ⁱ	0.35 ⁱ	0.25 ⁱ	0.29 ^k
	BL	0.40 ^{fh}	0.34 ^g	0.37 ^{gh}	0.41 ^{gh}	0.35 ^{gh}	0.38 ^{hi}
	BM	0.43 ^{dg}	0.40 ^{ef}	0.42 ^{eg}	0.48 ^{df}	0.45 ^e	0.47 ^{ef}
	BH	0.48 ^{be}	0.44 ^{cd}	0.46 ^{ce}	0.58 ^b	0.54 ^{ac}	0.56 ^{bc}
R × S	SC	0.39 ^{fh}	0.32 ^g	0.35 ^h	0.40 ^{gi}	0.31 ^{hi}	0.35 ^{ig}
	SL	0.41 ^{fh}	0.41 ^{df}	0.41 ^{eg}	0.44 ^{eg}	0.41 ^{ef}	0.42 ^{fg}
	SM	0.46 ^{cf}	0.43 ^{de}	0.44 ^{cf}	0.53 ^{cd}	0.52 ^{bd}	0.52 ^{cd}
	SH	0.54 ^{ab}	0.51 ^b	0.52 ^{ab}	0.68 ^a	0.59 ^a	0.63 ^a
	QC	0.37 ^{gh}	0.25 ^h	0.30 ⁱ	0.38 ^{hi}	0.27 ⁱ	0.31 ^{jk}
	QL	0.43 ^{eh}	0.39 ^f	0.40 ^{fg}	0.43 ^{fg}	0.38 ^{fg}	0.41 ^{gh}
	QM	0.45 ^{cf}	0.42 ^{df}	0.43 ^{cf}	0.49 ^{de}	0.43 ^{ef}	0.45 ^{eg}
	QH	0.50 ^{bd}	0.47 ^c	0.48 ^{bc}	0.54 ^{bc}	0.51 ^{cd}	0.52 ^{cd}
	UC	0.29 ⁱ	0.34 ^g	0.29 ⁱ	0.42 ^{gh}	0.33 ^{gh}	0.37 ^{hi}
	UL	0.44 ^{dg}	0.41 ^{df}	0.43 ^{df}	0.45 ^{eg}	0.41 ^{ef}	0.43 ^{fg}
	UM	0.52 ^{bc}	0.44 ^{cd}	0.48 ^{cd}	0.53 ^{cd}	0.47 ^{de}	0.50 ^{de}
	UH	0.59 ^a	0.55 ^a	0.57 ^a	0.59 ^b	0.57 ^{ab}	0.58 ^b

Means having the same letter in traits are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5%.

ترکیبات کم محلول مانند فسفات‌های کلسیم در خاک غیرقابل استفاده می‌شود. پایه‌های استفاده شده در این آزمایش از نظر رویشی و کارایی استفاده از فسفر متفاوت بودند زیرا در شرایط تنش خشکی و شوری دسترسی به آب و عناصر غذایی از جمله فسفر به‌طور چشمگیری کاهش یافته و منجر به تفاوت در رشد و نمو پایه‌ها می‌شود

آنچه به خوبی مشخص است افزایش کارایی استفاده از فسفر با افزایش سطوح تنش خشکی و شوری است (جدول ۴). در شرایط طبیعی میزان تحرک فسفر در خاک کم و جذب آن توسط گیاهان سخت است اما در شرایط تنش این سختی دوچندان می‌شود زیرا فسفر به دلیل واکنش‌هایی نظیر جذب سطحی، تشکیل رسوب و

(Marschner, 1995). قارچ‌های مایکوزیما آنزیم‌های فسفاتاز ترشح می‌کنند که باعث هیدرولیز ترکیبات فسفر آلی شده و منتج به بهره‌وری بهتر گیاهان در شرایط کمبود فسفر می‌گردد (Fattahi et al., 2017). تأثیر مایکوزیما در جذب فسفر در دانه‌های پسته گزارش شده است (Bagheri et al., 2012; Fattahi et al., 2017) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. جذب بیشتر فسفر باعث بهبود فرایندهای متابولیکی گیاه، انتقال انرژی، رشد ریشه‌های فرعی و موین و تشکیل و انتقال قندها و نشاسته می‌گردد که منجر به القای مقاومت گیاهان در برابر شرایط نامناسب محیطی می‌گردد (Marschner, 1995; Galatro et al., 2020). گزارشات نشان داده ژنوتیپ‌های با کارایی مصرف فسفر بالاتر (غلظت فسفر پایین‌تر) نسبت به گونه‌های با کارایی مصرف فسفر پایین‌تر، بیشتر به همزیستی مایکوزیما واکنش نشان داده و مایکوزیما باعث کاهش کارایی استفاده از فسفر می‌گردد که ناشی از افزایش فسفر درون اندام‌های گیاه و تأثیر مثبت همزیستی مایکوزیما در جذب فسفر می‌باشد (Beryla and Koide, 1990).

تحمل به تنش

بین پایه‌های مورد آزمایش بیشترین میزان تحمل به تنش خفیف خشکی مربوط به پایه سرخس و بیشترین تحمل در سطح تنش متوسط مربوط به پایه سرخس و UCB1 بود. به‌طور کلی با افزایش شدت تنش از میزان تحمل پایه بادامی‌ریز زرد و سرخس کاسته شد اما در پایه قزوینی و UCB1 چنین کاهشی دیده نشد (شکل ۱، A). بیشترین و کمترین درصد تحمل به شوری به ترتیب در پایه UCB1 و سرخس وجود داشت و اختلاف معنی‌داری بین پایه بادامی‌ریز زرد و قزوینی وجود نداشت (شکل ۱، B). با افزایش شدت تنش شوری از تحمل گیاهان به شوری کاسته شد و کمترین درصد تحمل به شوری در بالاترین سطح تنش دیده شد (شکل ۱، C). نتایج نشان داد شاخص تحمل به تنش خشکی و شوری در گیاهان تلقیح‌شده نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده با مایکوزیما بیشتر بود (شکل ۱، D و E). عکس‌العمل گیاهان مختلف بر اساس سطح تنش و نوع رقم از نظر میزان تحمل به تنش متفاوت است (Yildirim

(Wang et al, 2005). از طرف دیگر پایه‌ها در حالت طبیعی نیز تا حدودی از نظر رشد رویشی متفاوتند که ممکن است بر توانایی آن‌ها در جذب فسفر تأثیرگذار باشد زیرا کارایی استفاده از فسفر به دو عامل بستگی دارد: ۱- کارایی مصرف، که همان توانایی گیاه در تبدیل مقادیر کم عنصر غذایی جذب شده به عملکرد نسبتاً زیاد است. ۲- کارایی جذب، که درحقیقت توانایی گیاه در استخراج عناصر از خاک در شرایط کمبود عنصر در خاک می‌باشد (Khorassani, 2010). گزارش شده کارایی استفاده از فسفر در گونه‌های گیاهی و حتی در بین ژنوتیپ‌های یک گونه، متفاوت است (Wang et al., 2005). به‌علاوه تنوع پاسخ گونه‌های مختلف گیاهی به همزیستی با قارچ مایکوزیما آریسکولار و کارایی استفاده از فسفر در آن‌ها بخوبی ثابت شده است (Beryla and Koide, 1990). تفاوت بین پایه‌ها از نظر کارایی استفاده از فسفر ممکن است به دلیل تفاوت آن‌ها از نظر میزان جذب فسفر و رشد رویشی آن‌ها مانند طول ریشه باشد (Khorassani, 2010).

یکی از راهکارهای بهبود جذب فسفر بویره در شرایط تنش استفاده از قارچ‌های مایکوزیما است و از طرفی یکی از مکانیسم‌های مایکوزیما در جهت بهبود تحمل گیاهان در برابر تنش‌های غیرزنده تأثیر مثبت آن بر جذب فسفر می‌باشد (Khorassani, 2010). انتشار فسفات در خاک بسیار کند بوده و در مقابل، سرعت جذب آن توسط ریشه گیاهان بسیار بالا می‌باشد، در نتیجه محیط اطراف ریشه به سرعت از فسفر تخلیه می‌گردد و پیوسته بر وسعت این ناحیه از خاک افزوده می‌شود. استقرار مایکوزیما روی ریشه گیاه میزبان باعث می‌شود هیف‌های قارچ به سمت ورای ناحیه تخلیه فسفر گسترش یافته و به حجم بیشتری از خاک دسترسی پیدا کنند (Jakobsen, 1986). ریشه‌های مایکوزیزی می‌توانند بر پایه واحد ریشه، فسفر را چندین برابر بیشتر از ریشه‌های بدون مایکوزیزی جذب کنند. این امر، به‌طور عمده به علت افزایش سطح جذب در نتیجه‌ی رشد ریشه‌های قارچ می‌باشد، که ممکن است تا فاصله چند سانتی‌متر (هشت سانتی‌متر) از سطح ریشه گسترش یابد

هدایت روزنه‌ای و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان میزبان شده و منجر به القاء تحمل به گیاهان مذکور می‌گردد (Kumar et al., 2015; Duc et al., 2018; Chang et al., 2018). میکوریزا با تأثیر بر جذب مواد معدنی از جمله فسفر و کاهش جذب یون‌های سمی (سدیم و کلر) در شرایط تنش شوری و بهبود جذب آب و القاء مکانیسم‌های دفاعی در برابر تنش‌های خشکی و شوری باعث افزایش تحمل در برابر این تنش‌ها می‌گردد (Fattahi et al., 2017; Evelin et al., 2019).

پاسخ رویشی به مایکوریزا

اثر پایه و سطوح تنش خشکی و شوری بر پاسخ رویشی به مایکوریزا در هردو شرایط تنش معنی‌دار بود اما اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نشد (شکل ۲). کمترین

تفاوت در واکنش به تنش در گونه‌های دیگر گیاهی از جمله بادام و غلات گزارش شده (Anagholi, 2008; Rajeendran et al., 2009) و میزان تحمل به تنش در گیاهان به خصوصیات ژنتیکی و شرایط محیطی وابسته است (Karimi et al., 2011; Anagholi, 2008). به‌طور کلی هر قدر شاخص تحمل به تنش بالاتر باشد حاکی از تحمل بیشتر پایه‌ها در برابر تنش است (Fernandez, 1992) بنابراین مقادیر بالای آن در پایه سرخس در تنش خشکی و پایه UCB1 در تنش شوری حاکی از تحمل بیشتر آن‌ها است. از طرفی تفاوت معنی‌داری از نظر میزان تحمل به خشکی و شوری در پایه بادامی ریزرند و قزوینی وجود نداشت. همزیستی با مایکوریزا باعث بهبود وضعیت آبی، جذب مواد معدنی،

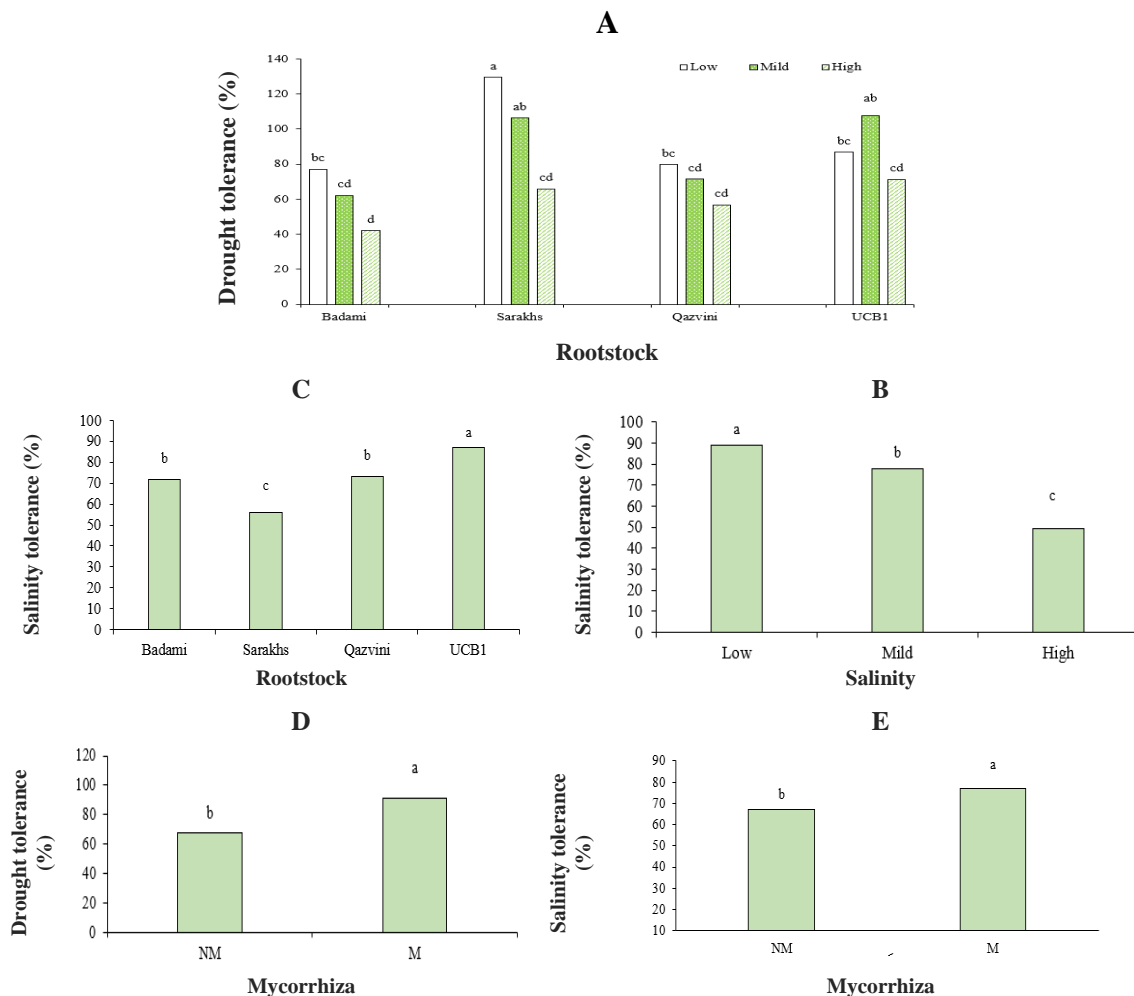


Figure 1. Mean comparison of the effects of treatments on percentage of drought (A) and salinity (B, C) tolerance

دیواره سلول کم شده و باعث کاهش توسعه سلولی و رشد می‌شود. هم‌چنین در اثر بسته شدن روزنه‌ها فتوسنتز کاهش می‌یابد و متعاقباً انرژی لازم برای رشد گیاه کاهش یافته و باعث کاهش خصوصیات رویشی گیاه می‌شود (Kaiser et al., 2015; Fathi et al., 2017). پاسخ رویشی به مایکوریزا تحت تأثیر گونه گیاهی قرار می‌گیرد زیرا گیاهان از نظر ژنتیکی و خصوصیات رویشی با یکدیگر متفاوتند.

نتیجه‌گیری

قارچ مایکوریزا موجب افزایش معنی‌دار برخی شاخص‌های رشدی در هر چهار پایه پسته گردید. تلقیح با مایکوریزا باعث افزایش میزان فسفر به ازای وزن خشک گیاه و درصد تحمل در هر دو شرایط تنش گردید. زیرا بیشتر بودن غلظت فسفر یکی از مکانیسم‌های قارچ جهت حاصل از این تحقیق می‌توان گرم برای هر نهال) در بهبود تحمل پایه‌های پسته به تنش توصیه بهبود تحمل به شرایط تنش می‌باشد. بنابراین

پاسخ رویشی به مایکوریزا تحت تنش خشکی در پایه بادامی ریززند وجود داشت و پایه‌های دیگر در یک گروه قرار داشتند (شکل ۲، A). پاسخ رویشی به مایکوریزا در سطح تنش خشکی خفیف در مقایسه با شاهد افزایش یافت اما در سایر سطوح تنش خشکی اختلاف معنی‌داری در مقایسه با شاهد وجود نداشت (شکل ۲، B). بیشترین پاسخ رویشی در شرایط تنش شوری در پایه قزوینی وجود داشت و بین پایه‌های بادامی ریززند، سرخس و UCB1 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲، C). در شرایط تنش شوری بیشترین پاسخ رویشی به مایکوریزا در بالاترین سطح تنش شوری وجود داشت و بین سطوح خفیف و متوسط تنش شوری در مقایسه با شاهد تفاوتی وجود نداشت (شکل ۲، D).

به‌طور کلی رشد گیاهان ناشی از تقسیم و توسعه سلول است که تحت تأثیر تنش‌های خشکی و شوری قرار می‌گیرد. در چنین شرایطی به علت کاهش جذب آب به دلیل تنش اسمزی و بسته شدن روزنه‌ها انعطاف‌پذیری

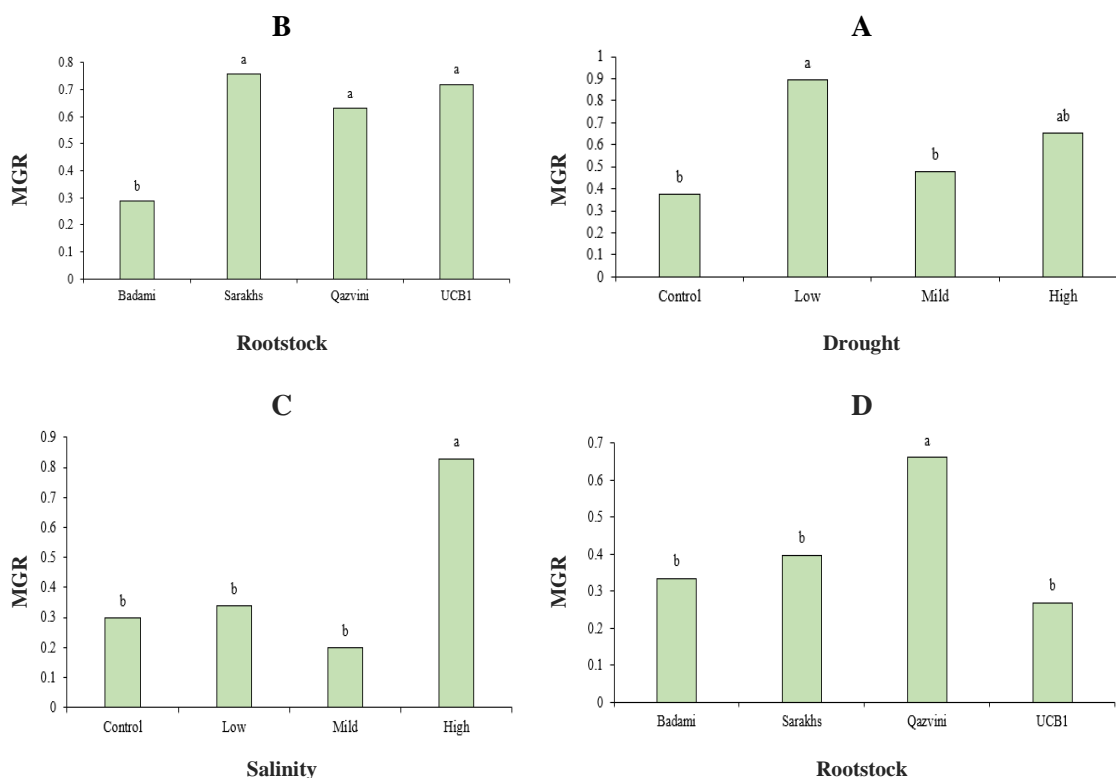


Figure 2. Mean comparison of the simple effects of rootstock and stress on Mycorrhizal growth response (MGR) under drought (A, B) and salinity (C, D) stress

۱۶/۱۲ دسیزیمنس بر متر) دارند.

سیاس گزاری

بدین وسیله از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوریان کشور (INSF) به دلیل حمایت‌های مالی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

براساس نتایج کرد که از همزیستی قارچ مایکوریزا (به میزان ۱۰۰ خشکی، شوری و بهبود جذب فسفر استفاده شود. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد پایه سرخس و UCB1 در مقایسه با دو پایه دیگر به ترتیب تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی (تا ظرفیت گلدانی ۶۰) و شوری (تا

References

- Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H., & Abdel-Wahhab, M. A. (2012). Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. *Journal of Plant Physiology*, 169(7), 704-709.
- Anagholi, A. (2008). Salinity tolerance indexes in three Cotton cultivars (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Agriculture Science Natural*, 15(3), 3-12.
- Bagheri, V., Shamshiri, M. H., Alaei H., & Salehi, H. (2019). Effect of three species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrients uptake in zinnia plant under drought stress conditions. *Plant Productions*, 41(4), 83-96. [In Farsi]
- Bayulo, J. S., Debouck, D. G., & Lynch, J. P. (2003). Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of *Phaseolus species* grown under salinity. *Field Crop Research*, 80(3), 207-222.
- Beryla, D. R., & Koide, R. T. (1990). Role of mycorrhizal infection in the growth and reproduction of wild vs. cultivated plants. *Plant Pathology University of California Davis*, 89, 82-92.
- Chang, W., Sui, X., Fan, X., Jia, T., & Song, F. (2018). Arbuscular mycorrhizal symbiosis modulates antioxidant response and ion distribution in salt-stressed *Elaeagnus angustifolia* seedlings. *Frontier Microbiology*, 9, 652. 1-14.
- Duc, N. H., Csintalan, Z., & Posta, K. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi mitigate negative effects of combined drought and heat stress on tomato plants. *Plant Physiology Biochemistry*, 132, 297-307.
- Eсна-Ashari, M., & Bahrami, S. (2018). Symbiosis effect of three micorrhizal fungi (*Glomos spp.*) on growth and the absorption of some nutrient elements in rooted cuttings of three olive cultivars. *Plant Productions*, 41(1), 1-14. [In Farsi]
- Evelin, H., Devi, T. S., Gupta, S., & Kapoor, R. (2019). Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: Current understanding and new challenges. *Frontier Plant Science*, 10, 1-21.
- Fahimi, F., Shamshiri, M. H., & Estaji, A. (2016). Changes in some physiological and osmotic parameters of pistachio genotypes under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 198, 44-51.
- Fathi, H., Imani, A., Amiri, M. E., Hajilou, J., & Nikbakht, J. (2017). Response of almond genotypes/cultivars grafted on GN15 'Garnem' rootstock in deficit-irrigation stress conditions. *Journal of Nuts*, 8(2), 123-135.
- Fattahi, M., Shamshiri, M. H., & Naslolahpourmoghadam, S. (2017). Effect of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae*) on the uptake and distribution of elements (P, K, Ca, Mg, Na, Cl, Cu and Zn) in Pistachio seedlings 'Saraks', 'Abareghi' and 'Bane Baqi' (*P. eurycarpa* × *P. mutica*) in salinity conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(1), 175-189. [In Farsi]
- Fattahi, M., & Mohammadkhani, A. (2019). Effects of deficit irrigation on some characteristics of grape (*Vitis vinifera* cv. 'Asgari') symbiosis with arbuscular mycorrhizal. *Journal of Horticultural Science*, 32(4), 581-592. [In Farsi]
- Fattahi, M., Shamshiri M. H., & Esmailizade, M. (2014). Evaluation of leaf physiomorphological responses of three pistachio rootstocks inoculated with arbuscular mycorrhizae to salt stress. *Iranian Horticulture*, 15(5), 469-482. [In Farsi]
- Fernandez, G.C.J. (1992) Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G.(Ed.), Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress (P. 257-270.). Tainan: AVRDC Publication.
- Galatro, A., Ramos-Artuso, F., Luquet, M., Buet, A., & Simontacchi, M. (2020). An Update on nitric

- oxideproduction and role underphosphorus scarcity in Plants. *Frontier Plant Science*, 11, 413.
- Goicoechea, N., Merino, S., & Sanchez-Diaz, M. (2004). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) to the adaptations exhibited by the deciduous shrub *Anthyllis cytisoides* under water deficit. *Plant Physiology*, 122(4), 453-464.
- Grassi, G., & Magnani, F. (2005). Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. *Plant Cell Environment*, 28(7), 834-849.
- Jakobsen, I. (1986). Vesicular arbuscular mycorrhiza in field-grown crops. Mycorrhiza infection and rates of phosphorus in flow in pea plants. *New Phytology*, 104(1), 573- 581.
- Kaiser, C., Kilburn, M. R., Clode, P. L., Fuchslueger, L., Koranda, M., Cliff, J. B., & Murphy D. V. (2015). Exploring the transfer of recent plant photosynthates to soil microbes: Mycorrhizal pathway vs direct root exudation. *New Phytology*, 205(4), 1537-1551.
- Karimi, A., Roshanfekr, H., & Meskarbashee, M. (2013). Effect of irrigation regimes on content oil, proline content and some physiological characteristics of two safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) under climatic conditions in Ahvaz. *Plant Productions*, 36(3), 105-117. [In Farsi]
- Karimi, H. R., Ebadi, A., Zamani, Z., & Fatahi, R. (2011). Effect of water salinity on growth and physiological parameters in some pistachio rootstocks. *Journal of Plant Nutrition*, 34(3), 935-944.
- Khorassani, R. (2010). Phosphorus uptake efficiency in corn, sugar beet and groundnut. *Journal of Water and Soil*, 24 (1), 180-188.
- Kumar, A., Sharma, S., Mishra, S., & Dames, J. F. (2015). Arbuscular mycorrhizal inoculation improves growth and antioxidative response of *Jatropha curcas* (L.) under Na₂SO₄ salt stress. *Plant Biosystem*, 149(2), 260-269.
- Li, Y. Z., Sun, C. B., Huang, Z. B., Pan, J. L., Wang, L., & Fan, X. W. (2009). Mechanisms of progressive water deficit tolerance and growth recovery of *Chinese maize* foundation genotypes Huangzao 4 and Chang 7-2, which are proposed on the basis of comparison of physiological and transcriptomic responses. *Plant and Cell Physiology*, 50(12), 2092-2111.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants (2nd Ed.). New York, NY: Academic Press.
- Mirfattahi, Z., Roozban, M. R., Karimi, S., Tavallali, V., & Aliniaiefard, S. (2018). Screening salt tolerance in pistachio seedlings by evaluating growth, oxidative damages and mineral composition. *Plant Productions*, 41(2), 13-28. [In Farsi]
- Naghizade, M. (2007). Mycorrhiza. *Journal of Biology*, 21(2), 26-30. [In Farsi]
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanable F. S., & Dean. L. A. (1954). Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939, U. S. Govern. Prin Office Washington.
- Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Rold, 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.
- Rajeendran, K., Tester, M., & Roy S. J. (2009). Quantifying the three main components of salinity tolerance in cereals. *Plant Cell Environ*, 32(3), 237-249.
- Shamshiri, M. H., & Fattahi, M. (2016). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosystem II activity of three pistachio rootstocks under salt stress as probed by the OJIP_test. *Russian Journal of Plant Physiology*, 63(1), 101-110.
- Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F., and Huang, Y. (2009). Influence of arbuscular mycorrhizae on the root system of maize plants under salt stress. *Canadian Journal of Microbiology*, 55(7), 879-886.
- Wang, Q. R., Li, J. Y., Li, Z. S., & Christie, P. (2005). Screening Chinese wheat germplasm for phosphorus efficiency in calcareous soils. *Journal Plant Nutrient*, 28(3), 489-505.
- Wu, Q. S., Zou, Y. N., Liu, W., Ye, X. F., Zai, H. F., & Zhao, L. J. (2010). Alleviation of salt stress in citrus seedlings inoculated with mycorrhiza: Changes in leaf antioxidant defense systems. *Plant Soil Environment*, 56(10), 470-475.
- Yildirim, E., Karlidag, H., & Turan. M. (2009). Mitigation of salt stress in strawberry by foliar K, Ca and Mg nutrient supply. *Journal of Plant Soil Environment*, 55(5), 213-221.