Effect of Three Species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Some Physiological and growth Characteristics of Peach Seedlings under Drought Stress Conditions

Introduction

Since Iran is one of the arid and semi-arid regions of the world and due to the great importance of water in agriculture, it is very important to conduct research to improve drought stress in order to produce more quality products. In this regard, this study was conducted to investigate the effect of mycorrhiza species on some morphological and physiological characteristics of peach seedlings under drought stress. Arbuscular mycorrhizal fungi coexist with the roots of various plants and have a broad effect on their growth. These fungus are effective in the initial establishment of the plant in drought conditions. Arbuscular mycorrhizal fungi increase plant resistance to dehydration by increasing growth and uptake of nutrients, especially phosphorus.

Matherials and methods

In order to investigate the effect of three species of Arbuscular mycorrhizal fungi on some vegetative characteristics and phosphorus absorption of peach seedlings under drought stress conditions, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications. The experimental factors included: first factor: drought stress in four levels (100, 80, 60 and 40 percent of field capacity) and the second factor in the use of mycorrhizal fungus in four levels: application of three species of mycorrhiza fungi and three species of fungi, each in three concentration (75, 100, 125 g in a pot) with chemical fertilizer (100 g triple super phosphate for each pot) and fertilizer (without mycorrhiza) and control (without fertilizer and mycorrhiza). The measurments traits were comprised root traits, stem diameter, vegetative growth of branches, leaf area index, vegetation index, relative leaf water content, chlorophyll fluorescence, leaf electrolyte leakage, leaf phosphorus and colonization root percent.

Results and discussion

Result showed that the use of mycorrhizal fungi seems to be effective in reducing the effects of dehydration stress. The use of these fungi had a positive effect on reducing leaf electrolyte leakage under severe dehydration. According to the results obtained in this experiment, the highest efficiency in drought stress conditions was observed in *G. mosseae* and *G. intraradices*. Under drought stress conditions, the lowest values of root volume, greenness index, chlorophyll fluorescence, leaf electrolyte leakage, root colonization and leaf phosphorus content were observed. With increasing of drought stress, all of the mentioned traits reduced and mycorrhiza fungi had a positive significant effect on all studied traits. In

this study, it was found that with increasing stress intensity, the traits were negatively affected and led to irreparable damage to the product. Therefore, it is expected that by preventing or minimizing the effects of stress, an effective step was taken to increase performance. The significant decrease in root colonization with increasing stress is probably due to the decrease in the growth of hyphae. The most important step after spore germination is the growth of hyphae resulting from germination, which plays an essential role in root colonization. Apparently, hyphae growth is more affected by osmotic potential than spore growth. The results obtained from this research showed that the roots of peach seedlings have significant symbiosis potential with arbuscular mycorrhizal fungi (Peymaneh and Zarei, 2013). According to Miyashita et al. (2005) Leaf photosynthesis activity can be used as a useful tool for classification of drought tolerant plants. Sajjadinia et al. (2010) regarding the relative water content and photosynthesis of several pistachio cultivars reported high correlation and high diversity in different stages and cultivars and stated that the decrease in relative water content strongly reduces transpiration, stomatal conductance and photosynthesis, which our results are consistent. Ith the escalation of tension, the greenness index also decreased; so that in the conditions of severe stress (40% of crop capacity), the amount of greenness index reached the lowest value. In the conditions of severe stress due to interruption of continuous irrigation, the plants entered from the stage of mild stress to the stage of severe dry stress, which seems that under these conditions, the decrease in the concentration of chlorophyll, in addition to the decrease in the amount of synthesis, is caused by the decomposition of chlorophyll due to the increase in the amount Chlorophyllase, peroxidase and phenolic compounds. According to Schutz and Fangmier (2001), the decrease in the amount of chlorophyll in stress conditions is related to the increase in the production of oxygen radicals in the cell. These free radicals cause peroxidation and as a result the decomposition of this pigment. The greenness index is considered one of the most important growth parameters, which is reduced by drought stress conditions, and the results indicate that the treatment of mycorrhizal fungi in all three types of inoculated mushrooms has improved the greenness index and the adverse effects It has removed the drought stress to a great extent (Figure 6), which can be attributed to the improvement of water and food absorption by mycorrhizal roots (Larsson et al., 2008).

Conclusion

In general, this study showed that the best treatment related to the mycorrizha fungi was mosseae, which had the most effect on reducing the negative effects of stress

Keywords: Chlorophyll fluorescence, Cholorophyll index, Electrolyte leakage, Root colonization, Root volume.

بررسی اثر سه گونه قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و رشدی دانهال‌های هلو تحت شرایط تنش خشکی

سعیده خدایی، ابراهیم گنجی مقدم، محبوبه زمانی پور

چکیده

از آنجایی که ایران یکی از مناطق خشک و نیمه خشک جهان است و با توجه به اهمیت فراوان آب در کشاورزی، انجام تحقیقاتی برای مقابله با تنش خشکی به منظور تولید محصولات باکیفیت‌تر بسیار حائز اهمیت است. در این راستا، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سه گونه قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های هلو در شرایط تنش خشکی انجام شد. قارچ های مایکوریزا آربوسکولار با ریشه گیاهان مختلف همزیستی دارند و تأثیر گسترده‌ای بر رشد آن‌ها دارند. این قارچ‌ها در استقرار اولیه گیاه در شرایط خشکی موثر هستند. قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار با افزایش رشد و جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر، مقاومت گیاه را در برابر کم آبی افزایش می‌دهند. به‌منظور بررسی اثر سه گونه قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر برخی خصوصیات دانهال‌های هلو تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل دو عامله در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل: تنش خشکی در چهار سطح (۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) به‌عنوان فاکتور اول و کاربرد قارچ مایکوریزا در ۱۴ سطح (سه گونه قارچ مایکوریزا شامل *Glomus mosseae*، *Glomus intraradices* و *Glomus hoi* در غلظت‌های مختلف، مخلوط این سه گونه هر کدام در سه غلظت (۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ گرم در گلدان) به همراه کود شیمیایی (۱۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل به ازای هر گلدان) و تیمار کود شیمیایی (بدون قارچ مایکوریزا) و شاهد (بدون کود شیمیایی و قارچ مایکوریزا) به‌عنوان فاکتور دوم بودند. نتایج نشان دادند که در شرایط تنش خشکی، مقادیر حجم ریشه، شاخص سبزینگی، فلورسانس کلروفیل، نشت یونی برگ، کلونیزاسیون ریشه و فسفر برگ کاهش یافتند. بعلاوه، با افزایش شدت تنش (۴۰ درصد ظرفیت مزرعه)، صفات مورد مطالعه تحت تاثیر منفی بیشتری قرار گرفتند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش، استفاده از قارچ‌های مایکوریزا (*G. mosseae* و *G. intraradices*) در

کاهش اثرات تنش خشکی موثر بودند. هم‌چنین، استفاده از این قارچ‌ها اثر مثبتی بر کاهش نشت یونی برگ در شرایط کم آبی شدید داشتند. در نتیجه گیری کلی، بهترین تیمار مربوط به قارچ مایکوریزا گونه *G. mosseae* بود و بیشترین تاثیر را در کاهش اثرات منفی تنش به جای گذاشت.

کلمات کلیدی: حجم ریشه، درجه سبزینگی، فلورسانس کلروفیل، کلونیزاسیون ریشه، نشت یونی.

نسخه پیش انتشار

مقدمه

سازگاری محصولات کشاورزی با محیط‌های جدید، به‌ویژه در سناریوی تغییرات آب و هوایی از اهمیت حیاتی برخوردار است. به‌منظور تضمین تولید غذا در آینده، باید اقداماتی برای درک مکانیسم‌های سازگاری گیاه و تحمل به تنش‌های غیرزیستی مانند کمبود آب انجام شود، زیرا انتظار می‌رود این رویدادها در سال‌های آینده تشدید شوند (Elliott *et al*., 2014). ایران با قرار گرفتن در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ درجه جزء مناطق خشک و نیمه خشک به‌حساب می‌آید. محققین، ایران را در سال‌های آتی جزء گروه‌های دچار تنش آبی معرفی می‌نمایند (Alcamo *et al*., 2000). با توجه به این موضوع و هم‌چنین وقوع خشک‌سالی‌های اخیر، توجه به مسأله کم آبی نیز بیشتر شده است (Smith and Read, 2008).

گیاهان با استفاده از مکانیسم‌های اجتناب از خشکی و یا تحمل به خشکی، که شامل تنظیم اسمزی، تنظیم هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز، تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و یا تنظیم جذب و جریان آب در بافت‌هایشان است، با تنش خشکی مقابله می‌کنند (Candar-Cakir *et al*., 2016).

به‌کارگیری صحیح کود بیولوژیک مایکوریزا، سبب کاهش مصرف کود و سم گردیده، آلودگی‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد و نیل به کشاورزی پایدار را در پی دارد. بعلاوه، استفاده از کودهای بیولوژیک، کاهش مصرف آب، استفاده بهینه از آن و مقابله با سایر تنش‌های غیر زنده را نیز در بر خواهد داشت (Smith and Read, 2008).

قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار با ریشه تقریباً ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی زمین ارتباط همزیستی برقرار می‌کنند تا در ازای ۲۰ درصد کربوهیدرات های فتوسنتزی گیاه میزبان، آب و مواد مغذی خاک را جذب کنند (Parniske, 2008). این قارچ‌ها در استقرار اولیه گیاه در شرایط خشک‌سالی مؤثر می‌باشند. قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار از طریق افزایش رشد و جذب بیشتر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر در شرایط تنش کم آبی، مقاومت گیاه به این شرایط را افزایش می‌دهند (Auge *et al*., 2001). علاوه بر این، مشخص شده است که این قارچ‌ها سبب افزایش حفظ مواد مغذی در گیاه میزبان شده و روابط آبی را در شرایط خشکی در گیاهان مرکبات بهبود می‌بخشد (Ortas, 2012). کاربرد ۱۰ میلی لیتر از سوسپانسیون اسپورهای مایکوریزا مخلوط با خاک نیز پارامترهای رشد زیتون را بهبود بخشید (Hafez *et al*., 2013).

از مکانیسم‌های احتمالی افزایش تحمل به خشکی در گیاهان مایکوریزایی می‌توان به افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه‌ها (Tian *et al*., 2013)، افزایش جذب آب در شرایط رطوبتی کم به‌دلیل گسترش ریسه‌های قارچی، ایجاد تعادل اسمزی و حفظ فشار تورگر، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع کربوهیدرات‌ها و پرولین و افزایش جذب عناصر غذایی اشاره کرد (Deepika and Kothamasi, 2015).

تنش کم آبی شدید، تعداد تارهای کشنده ریشه را کاهش و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌نماید که در نتیجه آن جذب عناصر غذایی به‌وسیله سیستم ریشه‌ای کاهش می‌یابد. در این زمان، هیف‌های قارچ‌های مایکوریزا می-تواند جانشین سیستم ریشه‌ای شود و عناصر غذایی را جذب نماید. نقش همزیستی مایکوریزی در شرایط تنش کم آبی در جذب عناصر غذایی مهم‌تر از نقش همزیستی مایکوریزی در شرایط بدون تنش می‌باشد (Ducic *et al*., 2009).

همزیستی ژنوتیپ‌های مختلف گیاه بادام با قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار موجب افزایش غلظت و جذب عناصر غیر متحرک مانند فسفر و روی گردید؛ اما غلظت عناصر نیتروژن، آهن و منگنز در اندام هوایی کاهش یافت. هم‌چنین، تلقیح مایکوریزایی موجب افزایش غلظت برخی از عناصر مانند فسفر و روی در ریشه بادام شد؛ اما بر جذب مس و پتاسیم اثر مثبتی نشان نداد (Aghababaei *et al*., 2011). استفاده از قارچ مایکوریزا به‌طور معنی‌داری سبب افزایش و بهبود رشد و افزایش جذب فسفر در درختان سیب همزیست نسبت به شاهد گردید (Rich, 1998)

طبق بررسی انجام شده بر روی پایه مکزین لاین[1] تحت شرایط تنش خشکی، بیشترین حجم ریشه مربوط به تلقیح با قارچ *G.mossaea* بوده است که همین امر سبب بهبود مقاومت به خشکی در پایه مکزین لاین شد (Haghighatnia Nadian *et al*. 2012).

وقوع خشکسالی‌های مداوم در سال‌های اخیر که پهنه عظیمی از کشور را تحت تاثیر قرار می دهد، زنگ خطر مکرری را برای تولیدات کشاورزی و ثبات تولید به صدا درآورده است. بنابراین، انجام پژوهش‌هایی جهت بهبود تنش خشکی در راستای تولید محصول بیشتر و با کیفیت از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. در همین راستا، این تحقیق به‌منظور بررسی تاثیر گونه-های قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های هلو در شرایط تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز جهاد کشاورزی عشق آباد به مدت یک سال اجرا گردید. عامل اول- تنش خشکی در چهار سطح (۴۰ درصد ظرفیت زراعی – تنش شدید، ۶۰ درصد ظرفیت زراعی–تنش متوسط، ۸۰ درصد ظرفیت زراعی–تنش ملایم و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه–بدون تنش) و عامل دوم- کاربرد قارچ مایکوریزا در ۱۴ سطح شامل: کاربرد گونه قارچ مایکوریزا *Glomus hoi*؛ در سه غلظت

[1] Mexican line

(H75، H100، H125 گرم در گلدان)، کاربرد گونه قارچ مایکوریزا *Glomus mosseae*؛ در سه غلظت (M75, M100, M125 گرم در گلدان)، کاربرد گونه قارچ مایکوریزا *Glomus intraradices* در سه غلظت (I75, I100, I125 گرم در گلدان) و مخلوط سه گونه قارچ مایکوریزا، در سه غلظت (Mi75, Mi100, Mi125 گرم در گلدان) به همراه کود شیمیایی (۱۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل به ازای هر گلدان) و تیمار کود شیمیایی (بدون قارچ مایکوریزا) و شاهد (بدون کود شیمیایی و قارچ مایکوریزا) بودند.

قارچ مایکوریزا از مراکز تجاری معتبر و شرکت‌های خصوصی تولید کننده قارچ خاکزی تهیه گردید. هر گرم آن حاوی ۱۲۰ اسپور قارچ بود. هم‌چنین، کود شیمیایی فسفر مورد استفاده از منبع کود سوپر فسفات تریپل بود که این کود حاوی ۴۶ درصد فسفر خالص می‌باشد. میزان مصرف کود شیمیایی فسفر بر اساس توصیه کودی آزمایش خاک تعیین گردید (جدول ۱).

اعمال تیمارهای تنش خشکی به روش وزنی صورت گرفت. برای به‌دست آوردن ظرفیت مزرعه‌ای ابتدا تعداد سه گلدان مشابه گلدان‌های کشت شده از خاک پر گردید و تا حد خروج آب از گلدان آبیاری شد و بعد از آن روی گلدان‌ها را با پلاستیک پوشیده تا تبخیر و تعرق صورت نگیرد. هرروز گلدان‌ها را وزن نموده تا زمانی که به حد ثبات وزنی برسد. سپس خاک هر گلدان را مخلوط کرده تا یکنواخت شود و بعد از آن مقداری از خاک برداشته و وزن اولیه آن را یاداشت کرده؛ سپس ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده و وزن ثانویه را یاداشت نموده و سپس ظرفیت مزرعه‌ای از رابطه ریز محاسبه گردید.

ظرفیت مزرعه = (وزن اولیه – وزن ثانویه) / (وزن اولیه) ×۱۰۰

جهت اعمال تیمارهای تنش خشکی ابتدا مقادیر رطوبت در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به روش وزنی اندازه گیری شدند و سپس میزان آب قابل استفاده از تفاضل ظرفیت مزرعه– نقطه پژمردگی به‌دست آمد و آب قابل استفاده در حالت ظرفیت مزرعه بر مبنای ۱۰۰ درصد فرض شد و سایر تیمارها بر مبنای آن سنجیده شد (Jalili Marandi, 2008). در این آزمایش، ظرفیت مزرعه برابر با ۱۸۸۰ سی سی و نقطه پژمردگی برابر با ۱۰۰۲ سی سی بود. آبیاری گلدان‌ها در ابتدا بدون تنش بود تا نهال‌های جوان هلو کاملا مستقر شدند و پس از گذشت ۲۰ روز تیمار خشکی اعمال گردید.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مکان مورد مطالعه

Table 1. Physical and chemical charactristics of soil in the study location

اجرای آزمایش

نهال‌های دوساله هلو (رقم آلبرتا) از نهالستان مورد تایید مرکز تحقیقات ثبت گواهی بذر و نهال شهرستان مانه و

نوع بافت خاک Soil texture type	غلظت فسفر (پی پی ام) Phosphore concentration (ppm)	نیتروژن (درصد) N (%)	درصد کربن آلی (درصد) OC (%)	شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) EC (ds/m)	پی اچ pH	عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)
بافت لومی شنی Sandy loam type	۱۰,۱	۰,۰۷۶	۰,۵۲۱۲	۲,۵۶	۷,۷۲	۳۰-۰

سملقان خریداری و در گلدان‌های پلاستیکی ۸ کیلوگرمی به شرح ذیل کشت گردید. قبل از عملیات کاشت نهال‌ها، گلدان‌ها بر اساس طرح آزمایشی اتیکت‌گذاری شدند. جهت زهکشی بهتر، ابتدا کف هر گلدان مقداری شن درشت (گراویه) ریخته شد. سپس به گلدان‌ها، یک سوم خاک اضافه و تیمار کودی اعمال گردید. نهال‌های هلو به گلدان‌ها منتقل و بقیه حجم گلدان با خاک آغشته به مقدار مشخص شده از قارچ مایکوریزا پر گردید. با توجه به شرایط منطقه آبیاری در بهار هر هفته یک بار و در تابستان هر ۴ روز یک بار صورت گرفت.

صفات مورد مطالعه

صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل رشد سالانه شاخه‌ها، شاخص سطح برگ، شاخص سبزینگی، فلورسانس کلروفیل، نشت یونی برگ، حجم ریشه و میزان کلونیزاسیون ریشه‌ها بودند که در پایان فصل رشد اندازه‌گیری شدند.

رشد سالانه شاخه‌ها: میزان رشد سالانه شاخه‌ها (رشد طولی) در شهریورماه توسط متر اندازه‌گیری شد و تعداد آن‌ها شمارش و ثبت گردید.

شاخص سطح برگ: توسط دستگاه (Leaf Area Meter مدل Cl 203) سطح برگ اندازه‌گیری شد. برای این منظور اوایل تیر ماه در هر تیمار میانگین سطح ۵ عدد برگ کاملا توسعه یافته اندازه‌گیری شد و ثبت گردید.

شاخص سبزینگی: توسط دستگاه کلروفیل متر (دستگاه SPAD 502) براساس واحد اسپد محاسبه گردید. برای این منظور اوایل تیرماه، از هر گلدان به‌طور میانگین، سه برگ توسعه یافته و از برگ‌های انتهایی که بیشتر در معرض نور خورشید بودند، انتخاب گردید و میانگین اندازه آن‌ها ثبت شد (Turner, 1998).

نسخه پیش انتشار

فلورسانس کلروفیل: در اوایل تیرماه که برگ نهال‌ها در مرحله حداکثر فعالیت فتوسنتزی بودند، اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل Opti-sciences) انجام گرفت. برای این منظور، تعدادی گیره مخصوص تهیه شد. گیره‌ها بر روی برگ‌های کاملا توسعه یافته، نصب و از بسته‌شدن دریچه آن‌ها اطمینان حاصل گردید. پس از گذشت ۳۰ دقیقه، فیبر نوری دستگاه به گیره‌ها متصل شد و دریچه آن‌ها باز و با استارت زدن دستگاه، میزان کلروفیل برای هر تیمار قرائت و یادداشت‌برداری صورت گرفت. تمامی اندازه‌گیری‌ها در فاصله زمانی ساعت ۱۰ الی ۱۴ انجام شد (Turner, 1998).

نشت یونی برگ: برای اندازه‌گیری نشت یون‌ها، برگ‌های توسعه یافته، انتخاب و با آب مقطر شستشو شدند. سپس از برگ‌ها، ۰/۵ گرم نمونه جدا و داخل فالکن (با حجم ۱۵ میلی لیتر) قرار داده شدند و ۱۰ میلی لیتر آب دوبار تقطیر بر روی آن‌ها اضافه شد. فالکن‌ها به مدت دو ساعت با دور ۱۲۰ دور در دقیقه تکانده شدند. هدایت الکتریکی اولیه[2] (EC) هر محلول با استفاده از دستگاه EC متر (مدل Hanna Hl 98192) اندازه‌گیری شد تا مقدار یون آزاد شده آن برای هر تیمار یادداشت‌برداری شود. در ادامه، فالکن‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر اتوکلاو شدند. پس از خروج نمونه‌ها و سرد شدن آن‌ها مجددا به مدت ۲ ساعت با دور ۲۰۰ دور در دقیقه تکانده، و اندازه‌گیری توسط دستگاه EC متر صورت پذیرفت. درصد نشت یونی از رابطه زیر محاسبه شد (Barranco *et al*., 2005).

درصد نشت یونی =(هدایت الکتریکی اولیه/ هدایت الکتریکی نهایی)×۱۰۰

حجم ریشه: ابتدا ریشه‌ها کاملا شستشو شده تا ناخالصی‌ها آن برطرف شود. به‌منظور اندازه‌گیری حجم ریشه از ظرف مدرج استفاده شد. ابتدا مقدار مشخصی از آب داخل ظرف ریخته شد و سپس ریشه‌ها به‌طور کامل داخل آن قرار گرفت. اختلاف ارتفاع آب از ارتفاع قبلی آن کسر و به‌عنوان حجم ریشه در نظر گرفته شد.

میزان کلونیزاسیون ریشه: به این منظور، ۲۴ هفته پس از زمان کاشت نهال‌ها، از قسمت‌های مویین ریشه به‌طور تصادفی به مقدار مورد نیاز جهت رنگ‌آمیزی برداشت و جداسازی صورت گرفت. سپس این نمونه‌ها بعد از شستشو با آب مقطر، به ظروف تیمار محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت منتقل شدند. در ادامه، نمونه‌ها با آب مقطر شسته شده و در محلول اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال قرار گرفتند. سپس شستشوی نمونه‌ها انجام شده و توسط محلول ۰/۰۵ درصد تریبان بلو در لاکتوگلیسرول (۸۷/۶ میلی لیتر اسید لاکتیک + ۶/۴ میلی لیتر گلیسیرین + 6 میلی لیتر آب مقطر + ۰/۰۵ گرم تریبان بلو) رنگ‌آمیزی شدند. سپس نمونه‌ها توسط محلول لاکتوگلیسرول رنگ‌بری شده و به قطعات یک سانتی-

[2] Electrical conductivity

متری تقسیم شدند. در هنگام رنگ‌آمیزی ریشه‌ها، مدت قرار گرفتن بر حسب قطر آن‌ها متغیر بود. پس از آن، میزان آغشتگی ریشه‌ها به قارچ مایکوریزا با استفاده از صفحه مدرج شطرنجی در زیر میکروسکوپ تشریحی محاسبه شد و درصد کلونیزاسیون از طریق شمارش ریشه‌های آلوده و غیر آلوده به‌دست آمد. از تقسیم مجموع ریشه‌های آلوده به‌دست آمده به کل ریشه‌ها ضرب در ۱۰۰ درصد کلونیزاسیون تعیین و ثبت گردید (Tennant, 1975).

تجزیه و تحلیل آماری:

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده از نرم افزار آماری SAS [3] نسخه (۹/۱) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام گرفت. نمودارهای مربوط به‌وسیله نرم افزار اکسل [4] ترسیم گردید.

نتایج و بحث

رشد طولی سالانه شاخه‌ها

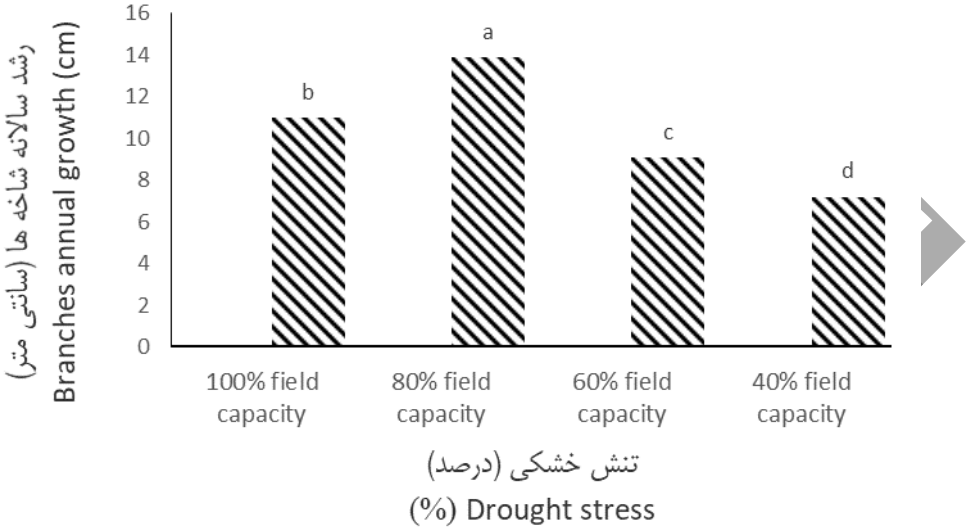
نتایج بررسی مقایسه داده‌های رشد سالانه شاخه‌ها نشان داد که بیشترین رشد سالانه شاخه‌ها در تیمار تنش ملایم یا ۸۰ درصد تنش مشاهده شد (شکل ۱) و با افزایش تنش این مقدار نیز کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در تیمار تنش شدید، ۷۸ درصد کاهش در رشد سالانه شاخه مشاهده شد. به نظر می‌رسد تنش خشکی با کاهش میزان آب، کاهش پتانسیل کل آب، پژمردگی، بسته شدن روزنه و کاهش اندازه یاخته و رشد همراه است. مقدار و کیفیت رشد گیاه وابسته به تقسیم، بزرگ شدن و تمایز یابی یاخته و افزایش پیری برگ‌ها است که تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد (Hung *et al*., 2005, Ypadhyaya *et al*., 2007).

بررسی نتایج داده‌های مقایسه میانگین رشد سالانه شاخه‌ها نشان داد که بیشترین رشد سالانه مربوط به تیمار قارچ مایکوریزا *G.mosseae*، ۱۲۵ گرم مشاهده شده است که به‌ترتیب ۸۱ و ۷۲ درصد نسبت به تیمارهای شاهد و تیمار کاربرد فسفر افزایش رشد داشته است (شکل ۲).

به نظر می‌رسد این افزایش رشد به‌دلیل افزایش موثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف و افزایش جذب، آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان باشد (Auge *et al*., 2001). بنابراین اثرات قارچ مایکوریزا بر بهبود روابط آبی گیاه می‌تواند مستقل از

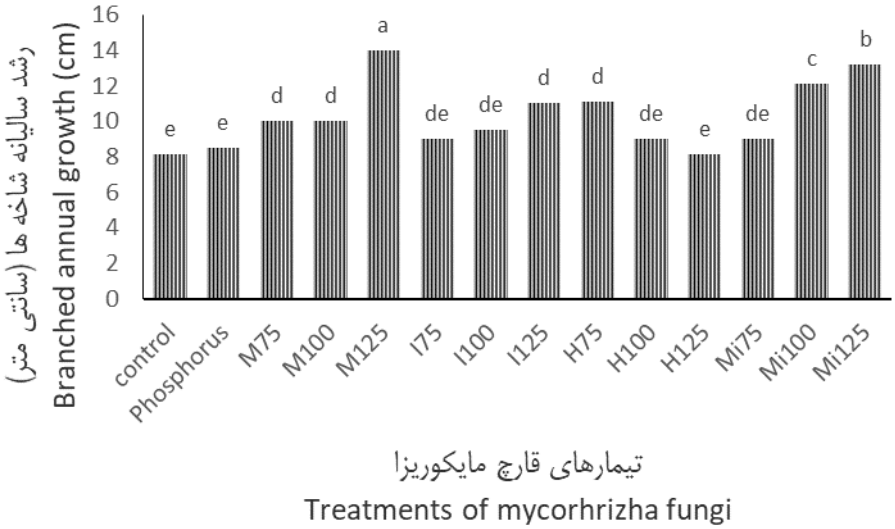
[3] Statistical Analysis System
[4] Excel

وضعیت تغذیه گیاه باشد. در نتیجه با افزایش شدت تنش خشکی کارایی اثر قارچ مایکوریزا کمتر و باعث کم شدن رشد اندام-های هوایی گیاه می‌شود (جدول ۳).



شکل ۱. اثر سطوح تنش خشکی بر رشد سالانه شاخه های نهال جوان هلو رقم آلبرتا

Fig 1. Effect of drought stress levels on the branches annual growth of young peach seedlings of ‘Elberta’ cultivar



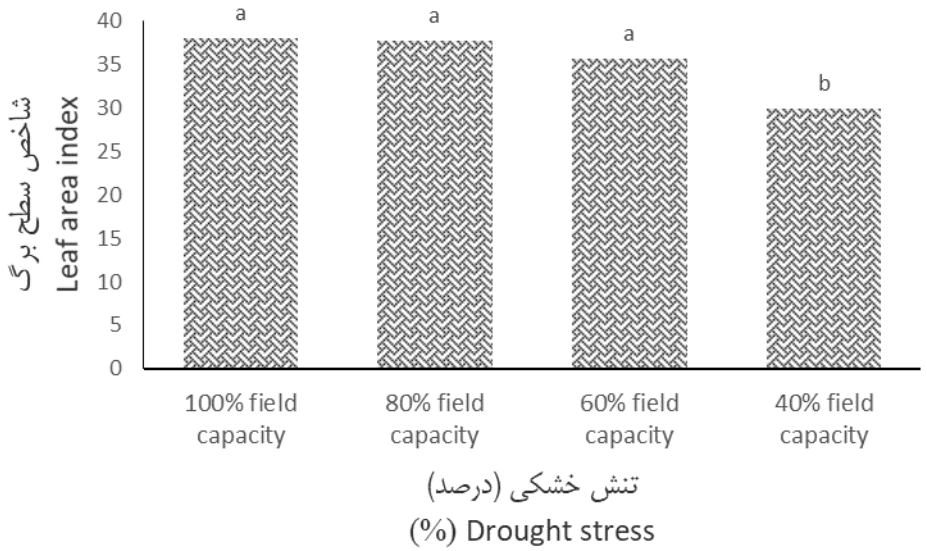
شکل ۲. اثر تیمارهای قارچ مایکوریزا بر رشد سالانه شاخه‌های نهال جوان هلو رقم آلبرتا

Figure 2. The effect of mycorrhiza fungal treatments on the branches annual growth of young peach seedlings of ‘Elberta’ cultivar

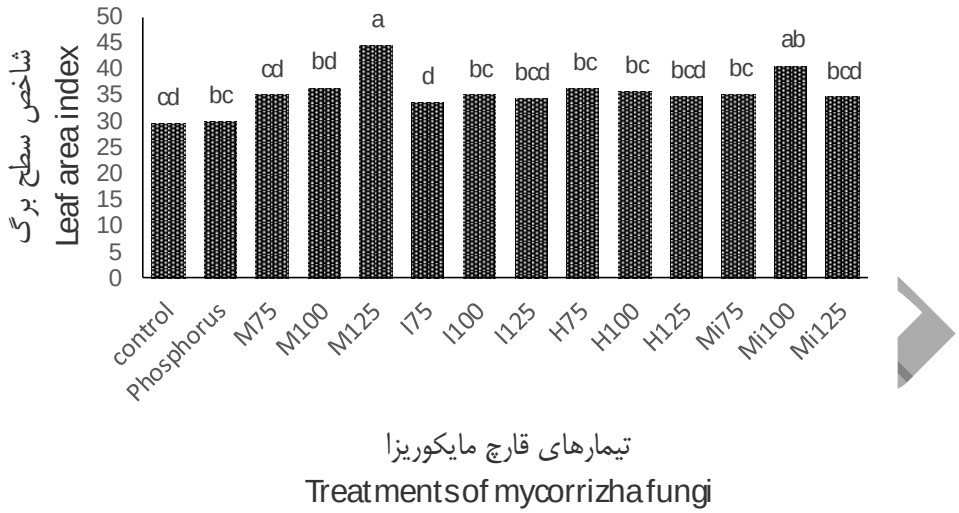
شاخص سطح برگ:

بررسی داده‌های حاصل از مقایسه میانگین شاخص سطح برگ نشان داد که تیمارهای سطوح خشکی باعث کاهش شاخص سطح برگ شد. بیشترین مقدار شاخص سطح برگ در تیمار شاهد یا عدم وجود تنش با میانگین ۳۹ درصد مشاهد شد که با بروز تنش خشکی شدید این مقدار ۸۶ درصد کاهش یافته است (شکل ۳).

مقایسه داده‌های شاخص سطح برگ نشان داد که در تیمارهای قارچ مایکوریزا بیشترین مقدار شاخص سطح برگ نسبت تیمار عدم کاربرد و هم‌چنین تیمار کاربرد فسفر مشاهده شد؛ به‌طوری‌که در تیمار *G.mosseae* ۱۲۵ با میانگین ۴۴/۵ بیشترین شاخص سطح برگ مشاهده شد (شکل ۴). شاخص سطح برگ یکی از شاخص‌های تعیین کننده رشد می‌باشد و همبستگی مثبتی بین سطح برگ با عملکرد زیستی و دانه ذرت گزارش شده است (Smith and Read, 2008).



شکل ۳. اثر سطوح تنش خشکی بر شاخص سطح برگ شاخه‌های نهال جوان هلو رقم آلبرتا
Fig 3. Effect of drought stress levels on the leaf area index of young peach seedlings of ‘Elberta’ cultivar



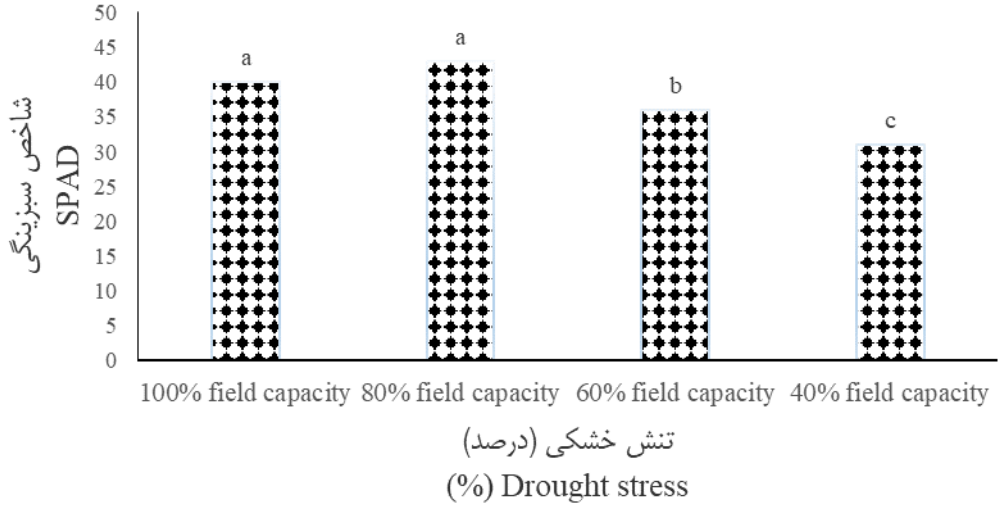
شکل ۴. اثر تیمارهای قارچ مایکوریزا بر شاخص سطح برگ نهال جوان هلو رقم آلبرتا

Figure 4. The effect of mycorrhiza fungal treatments on the leaf area index of young peach seedlings of ‘Elberta’ cultivar

هم‌چنین، نتایج اثر متقابل تنش خشکی و قارچ مایکوریزا نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ در شرایط بدون تنش (آبیاری ۱۰۰ درصد) و *G. hoi* ۱۰۰ گرم به‌دست آمده است. این در حالی است که با افزایش میزان تنش، مقدار شاخص سطح برگ در این تیمار کاهش یافت؛ به طوری‌که در شرایط تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، این مقدار ۵۵ درصد کاهش یافت. اما در تیمار *G. moseae* ۱۲۵ گرم بیشترین میزان شاخص سطح برگ در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد و در شرایط تنش شدید، ۳۵ درصد کاهش یافت. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده شد که تیمار *G. moseae* ۱۲۵ گرم توانست به شاخص سطح برگ نهال جوان هلو رقم آلبرتا در تحمل تنش خشکی کمک کند (جدول ۳).

شاخص سبزینگی:

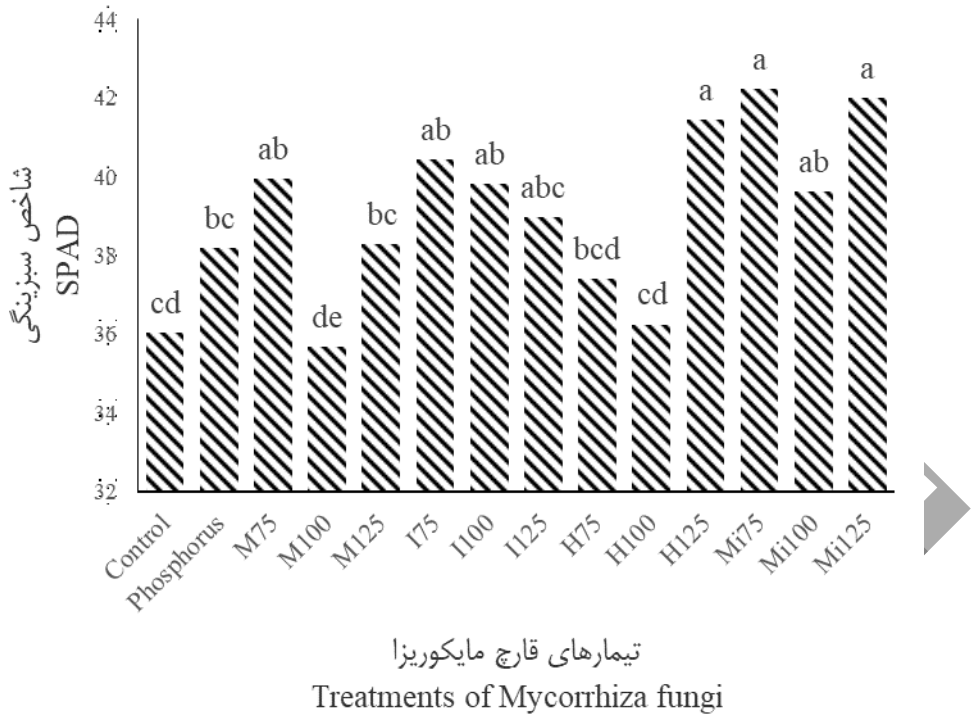
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی و تیمارهای قارچ مایکوریزا از لحاظ آماری در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری در شاخص سبزینگی داشتند، اما بین اثر متقابل آن‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی نشان داد که در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد ظرفیت مزرعه)، بیشترین میزان شاخص سبزینگی ثبت شد (شکل ۵).



شکل ۵. اثر سطوح تنش خشکی بر شاخص سبزینگی نهال جوان هلو رقم آلبرتا

Fig 5. Effect of drought stress levels on the SPAD of young peach seedlings of 'Elberta' cultivar

با تشدید تنش، شاخص سبزینگی نیز کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، میزان شاخص سبزینگی به کمترین مقدار رسید. در شرایط تنش شدید به‌علت قطع آبیاری مداوم، گیاهان از مرحله تنش ملایم وارد مرحله تنش شدید خشکی شدند که به نظر می‌رسد تحت این شرایط کاهش در غلظت کلروفیل علاوه بر کاهش در میزان سنتز، ناشی از تجزیه کلروفیل در اثر افزایش میزان کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی باشد. براساس نظر Schutz and Fangmier (2001) کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول است. این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردند. شاخص سبزینگی یکی از مهم‌ترین پارامترهای رشدی محسوب می‌شود که شرایط تنش خشکی باعث کاهش آن گردیده است و نتایج حاکی از آن است که تیمار قارچ مایکوریزا در هر سه نوع قارچ مایه‌کوبی شده، شاخص سبزینگی را بهبود بخشید (شکل ۶) که دلیل آن را می‌توان بهبود جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه های مایکوریزای دانست (Larsson *et al*., 2008).



شکل ۶. اثر تیمارهای قارچ مایکوریزا بر شاخص سبزینگی نهال جوان هلو رقم آلبرتا

Figure 6. The effect of mycorrhiza fungal treatments on the SPAD of young peach seedlings of ‘Elberta’ cultivar

فلورسانس کلروفیل

نتایج آنالیز داده‌های آزمایش در جدول ۲ نشان داد که تیمارهای سطوح تنش خشکی و کاربرد قارچ مایکوریزا و اثر متقابل آن‌ها، اختلاف معنی‌داری در سطح آماری یک درصد در صفت فلورسانس کلروفیل داشتند.

داده‌های اثر متقابل تنش خشکی و قارچ مایکوریزا بر فلورسانس کلروفیل نشان داد که بیشترین میزان فلورسانس کلروفیل در شرایط بدون تنش و تیمار *G. intraradices* ۱۲۵ گرم بدست آمده است. در شرایط تنش ملایم، بیشترین میزان فلورسانس کلروفیل در تیمار مخلوط ۱۰۰ گرم، در شرایط تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) در تیمار بدون قارچ و فسفر و در شرایط تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) در تیمار *G. intraradices* ۷۵ گرم مشاهده شد (جدول ۳). این موضوع نشان می‌دهد که گیاه برای حفظ آب، تعرق را کاهش داده و به‌همین دلیل فتوسنتز نیز در تیمار تحت تنش به حداقل رسید. از نظر Miyashita *et al*. (2005) فعالیت فتوسنتز برگ می‌تواند به‌عنوان وسیله‌ای مفید برای طبقه‌بندی گیاهان متحمل به خشکی استفاده شود. Sajjadinia *et al*. (2010) در رابطه با محتوای نسبی آب و فتوسنتز چند رقم پسته همبستگی بالا و

تنوع بالایی را در مراحل و ارقام مختلف گزارش و بیان کردند که کاهش محتوای آب نسبی به شدت، تعرق، هدایت روزنه و فتوسنتز را کاهش می‌دهد که با نتایج ما مطابقت دارد.

نسخه پیش انتشار

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سه گونه قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی نهال جوان هلو تحت شرایط تنش خشکی

Table 2. ANOVA (mean squares) for the effect of three species of mycorrhiza fungi on some morphophysiological characteristics of young peach seedlings under drought stress

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean square			
		رشد سالیانه شاخه‌ها (سانتی‌متر) Annual growth of branches (cm)	شاخص سطح برگ Leaf surface index	شاخص سبزینگی SPAD	فلورسانس کلروفیل (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) Chlorophyll florescence (mg/g w)
تکرار Replication	2	6.24	55.15	33.8^{ns}	0.0004^{ns}
تنش خشکی Drought stress	3	431.4**	604.7**	587.7**	0.129**
تیمار قارچ Fungi replication	13	88.05**	190.8**	55.69**	0.01**
تنش خشکی×قارچ Drought stress×Fungi treatment	39	15.05**	114.6**	24.6^{ns}	0.009**
خطا Error	110	5.5	47.7	18.7	0.0006
ضریب تغییرات CV (%)	--	23.9	19.5	11.08	3.6

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively

نسخه پیش انتشار

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سه گونه قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی نهال جوان هلو تحت شرایط تنش خشکی

Table 2. ANOVA (mean squares) for the effect of three species of mycorrhiza fungi on some morphophysiological characteristics of young peach seedlings under drought stress

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	نشت یونی برگ (درصد) leaf electrolyte leakage (%)	حجم ریشه (سانتی متر مکعب) Root volume (cm^3)	کلونیزاسیون ریشه (درصد) Root colonization (%)	میزان فسفر برگ (پی پی ام) Leaf phosphorus content (ppm)
تکرار Replication	2	0.02^{ns}	10.5^{ns}	124.3^{ns}	0.004^{ns}
تنش خشکی Drought stress	3	0.42^{**}	28.4^{**}	1365.2^{**}	0.01^{*}
تیمار قارچ Fungi replication	13	0.16^{**}	123.4^{**}	8520.39^{**}	0.01^{*}
تنش خشکی×قارچ Drought stress×Fungi treatment	39	0.18^{**}	8.07^{**}	25.53^{**}	0.001^{ns}
خطا Error	110	0.008	4.38	15.7	0.002
ضریب تغییرات CV (%)	--	8.35	12.4	5.8	9.25

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively

نسخه پیش انتشار

نشت یونی برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشت یونی برگ نشان داد که سطوح تنش خشکی و قارچ مایکوریزا و هم‌چنین اثر متقابل تنش خشکی و قارچ مایکوریزا اختلاف معنی‌داری در سطح آماری یک درصد نشان دادند (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح تنش خشکی و قارچ مایکوریزا نشان داد که با افزایش تنش، میزان نشت یونی برگ به‌ترتیب ۶۲ و ۹۴ درصد کاهش یافت. هم‌چنین، در شرایط تنش شدید، بهترین تیمار، *G. hoi* ۷۵ گرم بود که بیشترین نشت یونی برگ را در این شرایط نشان داد. تیمار بدون تنش، کمترین میزان نشت یونی را دارا بود و با اعمال تنش، نشت الکترولیت روند افزایشی داشت (جدول ۳). این نتایج با یافته‌های Sikes *et al*. (2009)، Losciale *et al*. (2011) و Petropoulos *et al*. (2008) که گزارش کردند تحت تنش خشکی، غشای سلولی پایداری خود را از دست داده و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی مواد محلول از سلول‌های آن تراوش می‌کند؛ بنابراین پایداری غشا به‌وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن تعیین می‌شود، مطابقت دارد.

نسخه پیش انتشار

جدول ۳. اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر صفات مورد مطالعه نهال جوان هلو رقم آلبرتا

Table 3. Interaction between drought stress treatments and Arbuscular mycorrhiza fungi on studied traits of young peach seedlings of Elberta cultivar

ظرفیت مزرعه (درصد) Field capacity (%)	شاهد Control	فسفر Phosphorus	موسه *G. mosseae*			اینترارادیس *G. intraradices*			هوی *G. hoi*			مخلوط سه گونه Mixture of three species		
			75	100	125	75	100	125	75	100	125	75	100	125
رشد سالیانه شاخه‌ها (سانتی‌متر) Annual growth of branches (cm)														
100	6.3f*	6.0f	10.0d	8.10e	14.0b	10.0d	8.96de	11.66c	10.0d	8.00e	4.33g	10.0d	14.83ab	16.0a
80	6.10e	5.66e	7.87d	6.53e	14.33a	5.66e	9.30c	8.00d	6.83de	9.93c	8.66cd	5.86e	12.66b	10.06c
60	6.06bc	5.66c	7.66b	5.66c	12.76a	6.43bc	7.50b	7.33b	5.02c	8.33b	5.30c	0.5.66c	5.53c	12.0a
40	6.1bc	3.16d	4.66cd	8.00ab	9.33a	4.83cd	7.30b	7.16b	6.66bc	8.66a	5.43c	5.36c	5.23c	6.40bc
شاخص سطح برگ Leaf serface index														
100	28.13d	34.16c	29.43d	45.90ab	35.66c	27.25d	40.20abc	41.90abc	45.53ab	49.30ab	36.36c	32.86c	46.2ab	39.13bc
80	33.23c	39.26bc	42.93b	39.40bc	54.53a	23.26d	40.03bc	31.13c	38.10bc	22.9d	33.10c	46.46b	45.30b	40.60bc
60	36.13bc	42.83b	27.30d	33.23bc	47.43a	28.36d	32.53bc	34.43bc	35.06bc	39.03b	41.36b	30.63cd	39.26b	32.73bc
40	25.30de	32.36bc	24.23de	27.30d	40.33a	35.50b	27.36d	30.23c	26.96d	31.70bc	28.26cd	30.73c	32.26bc	26.16d
فلورسانس کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) Chlorophyll fluorescence (mg/g W)														
100	0.838a*	0.714bc	0.685c	0.581d	0.725bc	0.822a	0.797ab	0.846a	0.67c	0.667c	0.837a	0.713bc	0.823a	0.779ab
80	0.733bc	0.716c	0.749b	0.748b	0.757b	0.664d	0.742b	0.747b	0.741b	0.815a	0.762b	0.727bc	0.821a	0.750b
60	0.745ab	0.622e	0.655cd	0.78a	0.637de	0.662cd	0.652cd	0.716bc	0.737ab	0.718bc	0.695c	0.658cd	0.684c	0.668cd
40	0.703a	0.613c	0.591c	0.626bc	0.602c	0.72a	0.594c	0.709a	0.652ab	0.627bc	0.583cd	0.674ab	0.636ab	0.545d

*در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

*In each column, the means with common letters are not statistically significant at the level of 0.05 according to LSD test.

نسخه پیش انتشار

ادامه جدول ۳. اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر صفات مورد مطالعه نهال جوان هلو رقم آلبرتا

Table 3. Interaction between drought stress treatments and Arbuscular mycorrhiza fungi on studied traits of young peach seedlings of Elberta cultivar

ظرفیت مزرعه (درصد) Field capacity (%)	شاهد Control	فسفر Phosphorus	موسه *G. mosseae*			اینترارادیس *G. intraradices*			هوی *G. hoi*			مخلوط سه گونه Mixture of three species		
			75	100	125	75	100	125	75	100	125	75	100	125
نشت یونی برگ (درصد) Leaf electrolyte leakage (%)														
100	1.086bc	1.148b	0.820de	1.951a	1.02cd	0.995cd	1.267b	0.948cd	0.846d	1.08bc	1.00cd	1.05bcd	1.04bcd	1.160b
80	0.995d	0.951d	0.984d	1.222c	1.225c	1.004d	1.030d	1.202c	1.446b	1.558b	0.964d	2.04a	1.172cd	1.355 bc
60	0.821e	0.967d	1.202c	0.994d	0.994d	1.634a	0.969d	1.09cd	0.874de	1.204c	1.446b	1.26bc	1.300bc	1.099cd
40	0.930d	0.974cd	1.117b	0.827e	0.827e	0.974cd	0.976cd	1.00cd	1.304a	1.232a	0.680f	1.05c	0.925d	0.78ef
حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب) Root volume (cm^3)														
100	10.53de	13.73cd	15.76c	18.86bc	23.00a	18.9bc	19.20abc	20.46ab	10.63de	21.00a	20.60ab	15.76c	21.36a	15.6c
80	10.16d	11.30cd	20.30a	19.33ab	20.5a	19.63ab	19.30ab	20.06a	15.63bc	19.16ab	21.20a	14.63bc	19.56ab	14.63bc
60	9.56f	11.36e	15.71cd	16.93c	36.20a	18.53b	16.40c	18.10bc	11.40e	20.96a	17.93bc	14.50d	18.93b	18.40b
40	9.63e	10.30de	18.13ab	19.60a	19.03a	18.70ab	15.2bcd	14.16cd	11.93d	16.33bc	19.60a	14.03cd	16.96bc	19.20a
کلونیزاسیون ریشه (درصد) Root colonization (%)														
100	10.41e	10.16e	90.15ab	79.10c	87.86b	95.56a	85.47b	85.47b	85.55b	59.43d	83.64b	95.37a	85.96b	78.67c
80	8.03e	9.30e	87.59b	79.02c	86.84b	90.96ab	84.90b	84.90b	8487b	60.81d	81.77bc	94.19a	86.80b	7741c
60	7.12e	6.91e	82.98a	68.97c	80.92ab	86.2a	74.45b	74.45b	81.60a	54.11d	76.28b	84.13a	70.22c	72.6bc
40	5.25e	5.95e	79.14a	68.91b	71.06b	74.42b	71.75b	71.75b	72.98b	46.86d	64.14c	80.21a	72.49b	69.53b

*در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each column, the means with common letters are not statistically significant at the level of 0.05 according to LSD test.

نسخه پیش انتشار

حجم ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که حجم ریشه تحت تاثیر سطوح تنش خشکی و کاربرد قارچ مایکوریزا و هم-چنین اثر متقابل آن‌ها در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

مقایسه داده‌های حاصل از تیمارهای اثر متقابل تنش خشکی و قارچ مایکوریزا نشان داد که در تیمار عدم تنش خشکی با کاربرد قارچ *G. mosseae* ۱۲۵ گرم، بیشترین حجم ریشه مشاهده شده است که به‌ترتیب نسبت به شاهد و تیمار کاربرد فسفر، ۱۰۹ و ۷۷ درصد از برتری معنی‌داری برخوردار بود (جدول ۳). طبق نتایج این تحقیق، حجم ریشه در تمامی نهال‌های تلقیح شده با سه گونه قارچ بیشتر از حجم ریشه نهال‌های تلقیح نشده است. به نظر می‌رسد قارچ مایکوریزا از طریق گسترش هیف و توسعه ریشه سبب افزایش حجم ریشه‌ها می‌گردد. این نتایج با یافته‌های Haghighatnia Nadian *et al*. (2012) و Eydizadeh *et al*. (2010) که گزارش کردند حضورکودهای زیستی سبب بهبود خصوصیات خاک نظیر محتوای مواد آلی و افزایش دسترسی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر ریزمغذی گردیده و موجب افزایش حجم ریشه گیاه می‌شود، مطابقت دارد.

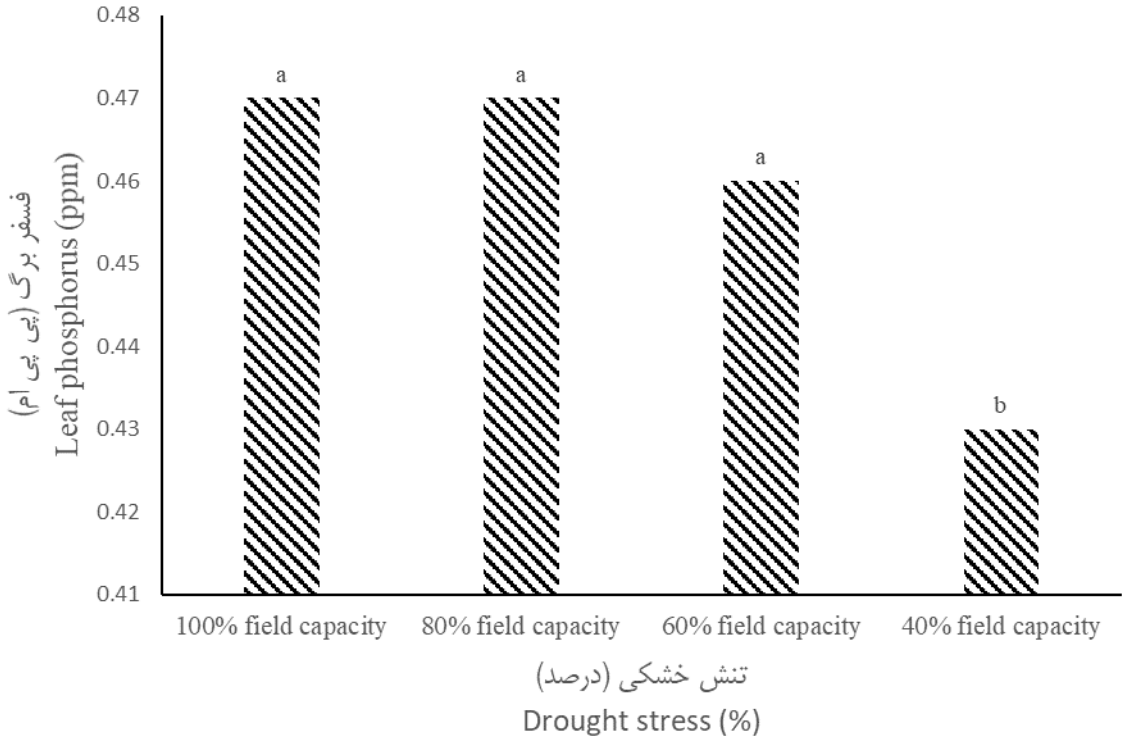
کلونیزاسیون ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های کلونیزاسیون ریشه حاکی از آن است که بین تیمارهای تنش خشکی و کاربرد قارچ مایکوریزا در این طرح از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و بین تیمارهای اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده گردیده است (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر کلونیزاسیون ریشه نهال جوان هلو رقم آلبرتا نشان داد که بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه در شرایط بدون تنش و تیمار *G. intraradices* ۷۵ گرم مشاهده شد، که البته با تیمار *G. hoi* ۱۲۵ گرم در یک گروه آماری قرار گرفت. اما در شرایط تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، تیمار *G. hoi* ۱۲۵ گرم بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه را داشت و با تیمار *G. mosseae* ۷۵ گرم در یک گروه معنی‌داری قرار گرفت (جدول ۳). کاهش معنی‌دار کلونیزاسیون ریشه با افزایش تنش، احتمالا به‌دلیل کاهش در تندش و رشد هیف است. این نتایج با یافته‌های Peymaneh and Zarei (2013) که گزارش کردند مرحله مهم‌تر پس از تندش اسپور، رشد هیف حاصل از تندش است که نقش اساسی در کلونیزاسیون ریشه تحت تاثیر پتانسیل اسمزی دارد، مطابق است.

میزان فسفر برگ:

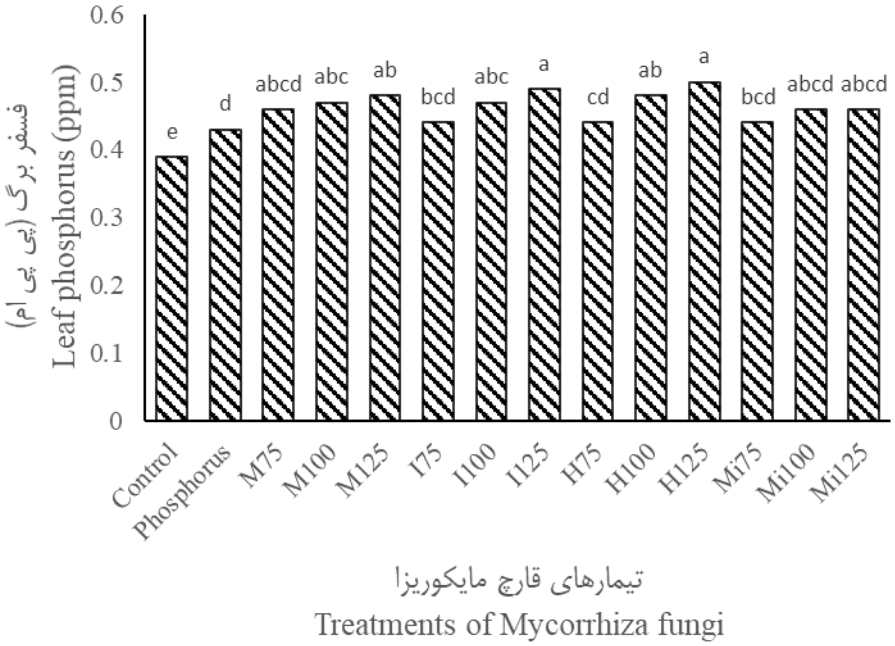
در این مطالعه، میزان فسفر برگ تحت تاثیر تیمارهای سطوح تنش خشکی و قارچ مایکوریزا در سطح آماری یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان دادند، اما اثر متقابل آن‌ها تاثیر معنی‌داری بر میزان فسفر برگ نداشت (جدول ۲). میزان فسفر برگ در تیمار تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به سایر تیمارها کمتر بود (شکل ۷). هم‌چنین، میزان فسفر برگ در نهال‌های مایکوریزایی بیشتر از نهال‌های شاهد بوده که بیانگر این است که هر سه گونه قارچ مایکوریزا سبب جذب فسفر در اندام هوایی شده است. تیمار قارچ *G. hoi* ۱۲۵ گرم و *G. intraradices* ۱۲۵ گرم از نظر آماری در یک کلاس قرار گرفتند. با افزایش شدت تنش خشکی از فسفر برگ و اندام‌های هوایی کاسته شده که شاید به‌دلیل کم شدن جذب آن توسط ریشه و کم شدن کلونیزاسیون باشد (شکل ۸). Razouk *et al*. (2015) در بررسی تاثیر دو گونه قارچ مایکوریزا بر خصوصیت فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی درختان هلو تحت تنش خشکی گزارش کردند که کاربرد مایکوریزا سبب جذب بیشتر فسفر در اندام هوایی شده است. Turk *et al*. (2006) گزارش کردند که نقش اصلی قارچ‌های مایکوریزا، تامین فسفر برای ریشه گیاه است، زیرا فسفر در خاک عنصری فوق‌العاده کم تحرک است. حتی در صورتی‌که فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود، به‌سرعت در شکل فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به‌صورت غیرمتحرک در می‌آید. هم‌چنین، تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های میکوریزا باعث می‌شود که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول درآید و برای ریشه قابل جذب گردد. بنابراین، قارچ های میکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به ویژه فسفر و تجمع زیست توده بسیاری از محصولات در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند که با نتایج ما مطابقت دارد.

نسخه پیش انتشار



شکل ۷. اثر سطوح تنش خشکی بر میزان فسفر برگ نهال جوان هلو رقم آلبرتا

Fig 7. Effect of drought stress levels on the leaf phosphorus content of young peach seedlings of ‘Elberta’ cultivar



شکل ۸. اثر تیمارهای قارچ مایکوریزا بر میزان فسفر برگ نهال جوان هلو رقم آلبرتا

Figure 8. The effect of mycorrhiza fungal treatments on the leaf phosphorus content of young peach seedlings of 'Elberta' cultivar

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که کاربرد قارچ‌های مایکوریزا در کاهش آثار تنش کم آبی مؤثر است؛ به طوری‌که استفاده از این قارچ‌ها تأثیر مثبتی در کاهش نشت یونی برگ در شرایط تنش کم آبی شدید داشت. بیشترین میزان کارآیی در شرایط تنش خشکی، در گونه‌های قارچ *G. mosseae* و *G. intraradices* مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی، کم ترین مقادیر حجم ریشه، شاخص سبزینگی، فلورسانس کلروفیل، نشت یونی برگ و کلونیزاسیون ریشه مشاهده شد. این مشاهدات نتیجه اثرات فیزیکی، تغذیه ای، فیزیولوژیکی و سلولی تنش بر گیاه است که با افزودن قارچ مایکوریزا به بستر کشت نهال جوان هلو رقم آلبرتا و به‌طور ویژه، گونه قارچی *G. mosseae* ، در مقدار ۱۲۵ گرم ضمن تعدیل اثرات تنش می‌تواند گیاه را در برابر عوامل نامساعد محیطی محفوظ نگه دارد.

References

1. Abdalla, M.M., & El-Khoshiban N.H. (2007). The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Research Journal of Applied Sciences* 3 (12): 2062- 2074.
2. Aghababaei, F., Raisey, F., & Nadyan, H. (2011). The effect of mycorrhizal symbiosis on the absorption of nutrients by some commercial almond algae genotypes in a sandy loam soil. *Irainian Journal of Soil Research* 25 (2): 137 - 147. (In Persian).
3. Alcamo, J., Henrichs, T., & Rosch, T. (2000). World water in 2025-global modeling and scenario analysis for the world commission on water for the 21st century. *Center for environmental systems research, Univ. Kassel, Kurt Wolters Strasse* 3: 34-109.
4. Auge, R.M., Stodola, A.J.W., & Tims, J.E. (2001). Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant and Soil* 230: 87-97.
5. Barranco, D., Ruiz, N., & Gomez-del-Campo, M. (2005). Frost tolerance of eight olive cultivars. *HortScience* 40: 558-560. doi:10.21273/HORTSCI.40.3.558.
6. Candar-Cakir, B., Arican, E., & Zhang, B. (2016). Small RNA and degradome deep sequencing reveals drought-and tissue-specific micrornas and their important roles in drought-sensitive and drought-tolerant tomato genotypes. *Plant Biotechnology Journal* 14: 1727-1746. doi: 10.1111/pbi.12533
7. Deepika, S., & Kothamasi, D. (2015). Soil moisture-a regulator of arbuscular mycorrhizal fungal community assembly and symbiotic phosphorus uptake. *Mycorrhiza* 25(1):67-75.
8. Ducic, T., Berthold, D., Heyser, R. L. F., & Polle A. (2009). Mycorrhizal communities in relation to biomass production and nutrient use efficiency in two varieties of Douglas fir (Pseudotsuga menziesii var. Menziesii and var. glauca) in different forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 742- 753.
9. Elliott J., Deryng, D., Müller, C., Frieler, K., Konzmann, M., & Gerten, D. (2014). Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 3239–3244. doi: 10.1073/pnas.1222474110.
10. Eydizadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., & Soufizadeh, S. (2010). Effects of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shoushtar. *Agroecol*ogy 2(2): 292-301. (In Persian with English abstract).
11. Hafez, O.M., Saleh, M.A., & El-Lethy, S.R. (2013). Response of some seedlings olive cultivars to foliar spray of yeast and garlic extracts with or without vascular Arbuscular Mycorrhizal fungi. *World Applied Sciences Journal* 24: 1119-1129.

12. Haghighatnia Nadian, H.A., Rejali, F., & Tavakoli, O.R. (2012). Effect of two species of Arbuscular mycorrhizal fungus on vegetative growth and absorption of citrus aurantifolia rootstock phosphorus under drought stress. *Seed and Plant Production Journal* 2-28 (4): 401- 417. (In Persian)
13. Hung, S.H., Yu, C.W., & Lin, C.H. (2005). Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 46: 1-10.
14. Jalili Marandi, R. (2008). Physiology of Environmental Tensions and Resistance Mechanisms in Garden Plants. *Jahad Daneshgahi Press*. Vol. 1 - 636 p. (In Persian)
15. Larsson, E.H., Bornman, J.F., & Asp H. (2008). Influence of UV-B radiation and CO2+ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. *Journal of Experimental Botany* 149: 1031-1039.
16. Losciale, P., Zibordi, M., Manfrini, L., Morandi, B., Bastias, R.M., & Corelli Grappadelli, L. (2011). Light management and photoinactivation under drought stress in Peach. *Acta Horticulturae* 922: 341-348.
17. Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T., & Kimura K. (2005). Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Journal of Experimental Botany* 53: 205-214. DOI:10.1016/j.envexpbot.2004.03.015
18. Ortas, I. (2012). Mycorrhiza in Citrus: Growth and Nutrition. In Advances in Citrus Nutrition; Sirivastava, A.K., Ed.; Springer: *Dorderecht, The Netherlands* pp. 333–351.
19. Parniske, M. (2008). Arbuscular Mycorrhiza: The mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology* 6: 763-775.
20. Petropoulos, S.A., Dimitra, D., Polissiou, M.G., & Passam, H.C. (2008). The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Scientia Horticulturae* 115: 393-397. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.008.
21. Peymaneh, Z., & Zarei, M. (2013). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and absorption of nutrients of orange base in dehydrated conditions. *Journal of Soil Biology* 1(1): 24-13. (In Persion with English abstract). http://doi.org/10.22092/SBJ.2013.120917
22. Razouk, R., Ibijbijen, J., Kajji, A. & El Hafa, H. (2015). Alleviation of drought stress of young peach (Prunus persica L.) trees by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Research & Reviews in BioSciences* 10(6):199-209.
23. Rich, T.E. (1998). Endomycorrhizal fungi survival in continuous corn, soybean and fallow. *Agronomy Journal* 95(1): 224-230.
24. Sajjadinia, A., Ershadi, A., Hokmabadi, H., Khayyat, M., & Gholami, M. (2010). Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental

stages of on and off cultivated pistachio trees. *American Journal of Agricultural Economics* 1: 1-6.

25. Schutz, H., & Fangmier, E. 2001. Growth and yield responses of spring Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated Co2 and water limitation. *Environmental Pollution* 114: 187-194.
26. Sikes, B. A., Cottenie K., & Klironimos J.N. (2009). Plant and fungal identity determines pathogen production of plant roots by arbuscular mycorrhizals. *Journal of Ecology* 97: 1274- 1280. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01557.x
27. Smith, S.E., & Read, D.J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis, third cd. *Academic press, London, Uk.*
28. Tennant, D. (1975). A test of a midified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology* 63: 995-1001.
29. Tian, M., Chen, Y.L., Li, M., & Liu, R.J. (2013). Structure and function of arbuscular mycorrhiza: a review. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 24(8): 2369-2376.
30. Turk, M.A., Assaf, T.A., Hameed, K.M., & Tawaha, A.M. (2006). Significance of mycorrhizae. *World Journal of Agricultural Sciences* 2: 16-20.
31. Turner, N.C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant waer status. *Plant and Soil* 58: 339-366.
32. Upadhyaya, H., Khan M.H., & Panda, S.K. (2007). Hydrogen peroxide induces oxidative stress in detached leaves of Oryza sativa L. *General and Applied Plant Physiology* 33 (1): 83-95.

نسخه پیش انتشار

نسخه پیش انتشار