

تأثیر تنش خشکی و قارچ‌های میکوریز آربسکولار بر عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی

ندا عابدی^۱، احمد گلچین^۲، سعید شفیعی^{۳*} و حسین بشارتی^۴
۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۳. استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت
۴. استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۲)

چکیده

کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله کشور ایران یکی از فاکتورهای محدود کننده رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد. به همین دلیل یافتن راهکارهای مناسب جهت غلبه بر تنش خشکی و افزایش تولید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به منظور مطالعه تأثیر تلقیح قارچ‌های میکوریز آربسکولار بر عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم آگرایا تحت تنش خشکی، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان انجام شد. در این آزمایش غده‌های بذری گیاه سیب‌زمینی در خاکی با بافت لوم شنی در جعبه‌های مخصوص کشت شدند. فاکتورهایی که مورد مطالعه قرار گرفتند شامل چهار سطح تنش خشکی (حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه) و چهار سطح تلقیح با قارچ میکوریز (بدون تلقیح به عنوان شاهد، تلقیح با قارچ گلوموس اینترادیسز (*Glomus intraradices*)، تلقیح با قارچ گلوموس موسه (*Glomus mosseae*) و تلقیح با مخلوطی از دو نوع قارچ) بودند. در این آزمایش عملکرد، اجزای عملکرد سیب‌زمینی، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ‌ها و غده‌های گیاه اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد تأثیر تنش خشکی و قارچ‌های میکوریزی بر همه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود و تنش خشکی همه صفات مورد مطالعه به جز غلظت نیتروژن برگ و غده سیب‌زمینی را کاهش داد. در مقابل کاربرد قارچ‌های میکوریزی عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی و غلظت عناصر غذایی گیاه را افزایش داد و توانست اثر سوء تنش خشکی بر گیاه سیب‌زمینی را کاهش دهد. بیشترین عملکرد سیب‌زمینی به مقدار ۴/۸۷ کیلوگرم در متر مربع از رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و تلقیح با قارچ گلوموس موسه به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، تنش خشکی، قارچ‌های میکوریزی، شاخص‌های عملکرد، عناصر غذایی پر مصرف.

The affect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on yield and quality of potato under drought stress

Neda Abedi¹, Ahmad Golchin², Saeed Shafiei^{3*} and Hossein Besharati⁴
1, 2. Former M. Sc. Student and Professor, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Iran
3. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Jiroft University, Iran
4. Professor, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran
(Received: Nov. 29, 2016 - Accepted: Jun. 12, 2017)

ABSTRACT

Water scarcity in arid and semi-arid looking like Iran country, including one of the factors limiting the growth and yield of crops. That's why finding suitable solutions for overcoming on stress and increased production of special importance. To study the effect of inoculation with mycorrhizal fungi on yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) under drought stress a factorial experiment with randomized complete block design and three replications was performed in greenhouse of Soil Science Department, University of Zanjan, Iran. In this experiment, potato tubers were cultivated in boxes with sandy loam soils. The factors which studied were, four levels of drought stress (FC, 80% of FC, 60% of FC and 40% of FC) and four levels of mycorrhizal fungi (no-inoculation (control), inoculation with *Glomus intraradices*, inoculation with *Glomus mosseae* and a combination of them). In this experiment yield and yield components of potato and concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium in leaf and tuber were measured. The results of analysis of variance of data showed that the effects of drought stress and mycorrhizal fungi were significant on all measured traits. The drought stress decreased all measured traits except the nitrogen concentrations of potato leaf and tuber. Application of mycorrhizal fungi increased the yield and yield components of potato and concentrations of plant nutrients in plant. The overall results showed that application of mycorrhizal fungi can decrease the adverse effects of drought stress on potato plant. The highest yield of potato at the rate of 4.87 Kg per square meter of 100% of field capacity moisture and inoculated with the fungus G. Mosse, respectively.

Keywords: Drought stress, macro element, mycorrhizal fungi, potato, yield indices.

* Corresponding author E-mail: saeid55@gmail.com

مقدمه

سیب‌زمینی جزء مهمترین محصولات در کشورهای اطراف سواحل مدیترانه است و یک میلیون هکتار از اراضی این مناطق به کشت این محصول اختصاص دارد (Frusciante *et al.*, 1999). از طرفی بیش از یک میلیارد نفر در جهان دچار سوء تغذیه هستند که اکثر آن‌ها در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند (FAO, 2009). در بسیاری از این کشورها، سیب‌زمینی به‌عنوان منبع غذایی اولیه و یا ثانویه برای خانواده‌های فقیر کشاورز و دچار سوء تغذیه به حساب می‌آید (FAO, 2005). زیرا سیب‌زمینی یک ماده غذایی غنی از کربوهیدرات‌ها، عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف شامل پتاسیم، فسفر و منیزیم، ویتامین‌های C، B1، B3 و B6 است. متوسط مصرف سرانه سیب‌زمینی در ایران بیش از ۳۵ کیلوگرم در سال است که مصرف آن روز به روز در حال افزایش می‌باشد و با توجه به روند رشد جمعیت، نیاز به تولید بیشتر این محصول با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی چند ساله اخیر کشور بیش از پیش احساس می‌شود (Beukema & Vanderzaag, 1991). رشد و تولید اولیه محصولات کشاورزی شدیداً توسط کمبود آب محدود می‌شود (Bradford & Hsiao, 1982). یکی از اولین پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی بسته شدن روزنه‌ها، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به کلروپلاست‌ها و کاهش رشد و عملکرد می‌باشد (Muller & Whitsitt, 1996). حتی در مناطق با بارندگی بالا، گیاهان در زمان‌های خاصی از روز یا در دوره‌های خاصی از سال در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند (Cornic & Masacci, 1996). Lebaschy & Sharifi-Ashoorabadi (2004) در بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) بر گیاهان دارویی اسفرزه، بومادران، مریم‌گلی، همیشه بهار و بابونه مشاهده نمودند که با کاهش میزان قابلیت دسترسی به آب (تشدید تنش خشکی) از وزن اندام‌های هوایی، ارتفاع بوته و عملکرد دانه کاسته می‌شود. Gabler (2002) در تحقیقات خود بر روی گیاه گشنیز نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش شدید عملکرد گیاه گردید. Irna & Mauromicale (2006) نیز

بیان داشتند که کمبود رطوبت خاک موجب افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها و کاهش میزان فتوسنتز برگ‌ها، زیست‌توده اندام‌های هوایی، رشد غده و در نتیجه عملکرد گردید. سیب‌زمینی جزء گیاهان حساس به تنش خشکی شناسایی شده است (Harris, 1978) و تأمین آب کافی از زمان تشکیل غده تا زمان برداشت به منظور حصول عملکرد و کیفیت بالای آن مورد نیاز است (Fabeiro *et al.*, 2001).

یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر برای مقابله با کم‌آبی و تنش‌های خشکی در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است، استفاده از ریزموجودات مفید خاکزی می‌باشد (Song, 2005). از مهمترین این ریزموجودات، می‌توان به قارچ‌های میکوریز آربسکولار اشاره کرد. همزیستی میکوریزی از مهمترین و گسترده‌ترین روابط همزیستی در سلسله گیاهی است، به طوری که اکثر گیاهان حداقل یکی از تیپ‌های میکوریزی را دارا هستند (Koide & Mosse, 2004). قارچ‌های میکوریزی در افزایش جذب مواد غذایی کم‌تحرک در خاک مانند فسفر، روی و مس مؤثر هستند و می‌توانند سبب تحریک تولید مواد تنظیم‌کننده رشد، افزایش فتوسنتز، بهبود تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی شوند (Khavazi *et al.*, 2005). Wu & Xia (2005) در تحقیقی در مورد اثر قارچ‌های میکوریزی گلوموس ورس فورمی در گیاه نارنگی تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند که قارچ‌های میکوریزی مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی را از طریق تنظیم فشار اسمزی افزایش داد. Zhu *et al.* (2012) در تحقیقی در مورد اثر قارچ‌های میکوریزی گلوموس /تونیکاتوم روی گیاه ذرت تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند همزیستی قارچ‌های میکوریزی با ذرت سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی از طریق بهبود تبادلات گازی، غلظت کلروفیل‌ها و تعادلات آبی گیاه گردید. اگرچه امکان بکارگیری قارچ‌های میکوریزی برای مقابله با تنش خشکی در بسیاری از گیاهان مورد مطالعه قرار گرفته است ولی در مورد سیب‌زمینی اطلاعات موجود اندک می‌باشد و این پژوهش با هدف مطالعه تأثیر تلقیح با قارچ‌های

لازم برای سایر سطوح رطوبتی محاسبه گردید و مقدار آب محاسبه شده به جعبه‌های اضافه گردید در طی مراحل داشت سیب‌زمینی (طول دوره رشد ۱۲۰ روز) جعبه‌ها هر روز وزن و مقدار کاهش وزن محاسبه و بر مبنای سطوح رطوبتی به جعبه‌ها اضافه گردید. در مرحله ظهور گل‌ها نمونه‌برداری برگ از تیمارهای مختلف انجام و پس از شستشوی نمونه‌ها با آب مقطر، نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۷۲ ساعت در دستگاه آون در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نمونه‌های برگ آسیاب و برای تعیین غلظت عناصر پرمصرف مراحل هضم و عصاره‌گیری را طی نمودند. پس از اتمام دوره رشد، برداشت محصول انجام و تعداد و وزن غده‌های هر تیمار شمارش و اندازه‌گیری شدند و میانگین طول و قطر غده‌های هر تیمار بوسیله کولیس اندازه‌گیری و متوسط آن‌ها برای هر تیمار محاسبه گردید. از هر تیمار پنج غده انتخاب گردید و بعد از گرفتن پوست آن‌ها به صورت لایه‌های نازک برش داده شدند و از برش‌های تهیه شده برای اندازه‌گیری میزان عناصر غذایی استفاده گردید. میزان نیتروژن کل توسط دستگاه کج‌دال، پتاسیم و فسفر به ترتیب با دستگاه فلیم فتومتر و اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شدند (Ali Ehyaei & Behbahanzadeh, 1993). داده‌های حاصل از آزمایش توسط نرم افزار SAS آنالیز و جداول تجزیه واریانس تهیه شدند. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

عملکرد، تعداد و اندازه غده سیب زمینی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی، تلقیح با قارچ‌های میکوریز و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد، تعداد و اندازه غده سیب‌زمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

میکوریزی بر عملکرد سیب‌زمینی تحت تنش خشکی به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه تأثیر تلقیح توأم قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد، بر عملکرد گیاه سیب‌زمینی تحت تنش خشکی یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای این آزمایش ترکیب فاکتوریل چهار سطح تنش خشکی (حفظ رطوبت در حد ظرفیت مزرعه، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه) و چهار سطح تلقیح قارچ میکوریز (بدون تلقیح به عنوان شاهد، تلقیح با قارچ گلوموس اینترادیسز، تلقیح با قارچ گلوموس موسه و تلقیح با مخلوطی از دو نوع قارچ) بودند. ابتدا نمونه‌برداری مرکب از لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) خاک مزرعه کشاورزی دانشگاه زنجان انجام و پس از گذراندن نمونه تهیه شده از الک دو میلی‌متری، خصوصیات آن به روش‌های معمول در مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تعیین گردیدند (Ali Ehyaei & Behbahanzadeh, 1993). نتایج حاصل از تجزیه نمونه خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. سپس مقدار ۳۰ کیلوگرم خاک الک شده در هر جعبه کاشت (طول ۴۸، عرض ۳۱ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) ریخته شد. در تیمارهای حاوی قارچ میکوریز خاک جعبه‌ها با ۴۰۰ گرم مایه تلقیح قارچ (جمعیت قارچ 1×10^5 Propagule/cm³) مخلوط شدند و غده سیب‌زمینی رقم آگریا در آن کشت گردید. مایه تلقیح قارچ‌های میکوریز از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شدند. برای اعمال تیمارهای تنش خشکی ابتدا رطوبت ظرفیت مزرعه خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین گردید که برابر ۱۳/۵ درصد وزنی بود سپس مقدار آب لازم برای اینکه خاک درون جعبه‌ها به وزن ۳۰ کیلوگرم به حد ظرفیت مزرعه رسانیده شود محاسبه گردید و بر مبنای آن مقدار آب

جدول ۱. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil used in the experiment

P (ava) Mg.kg ⁻¹	K (ava) Mg.kg ⁻¹	Organic carbon	Total nitrogen (%)	Soil texture	Field capacity (%)	pH	EC (ds.m ⁻¹)	Soil depth (cm)
17	230	0.3	0.035	Sandy loam	13.5	7.69	2.4	0-20

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی، تلقیح با قارچ‌های میکوریزی و اثرات متقابل آن‌ها بر عملکرد، تعداد و اندازه غده سیب‌زمینی

Table 2. The results of analysis variance of different levels of drought stress, inoculation with mycorrhizal fungi and their interactions on yield, number and size of potato tuber

Source of variation	df	Mean square			
		Tuber yield	Number of tuber	Tuber length	Tuber diameter
Block	2	0.01 ^{ns}	56 ^{ns}	0.003 ^{**}	0.001 ^{ns}
Drought stress (I)	3	40.4 ^{**}	6904 ^{**}	7.68 ^{**}	4.51 ^{**}
Mycorrhizal fungi (M)	3	2.63 ^{**}	1056 ^{**}	0.24 ^{**}	0.67 ^{**}
I × M	9	0.56 ^{**}	219 ^{**}	0.07 ^{**}	0.05 ^{**}
Error	62	0.01	31.9	0.005	0.003
C.V (%)	-	3.81	4.68	1.69	1.87

*, **, ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly difference at 5 and 1% probability levels, and Non-significantly difference, respectively.

۱۷/۸ و ۲۸/۱ درصد کاهش قطر داشتند (جدول ۳). Baghani (2009) گزارش نمود که تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی در شرایط اقلیمی مشهد به صورت معنی‌داری باعث افزایش عملکرد غده نسبت به تأمین ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه شد. Eskandari *et al.* (2011) بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی دریافتند که هر گونه کم آبیاری و وجود تنش رطوبتی در مراحل حساس رشد سیب‌زمینی اعم از آغازش و پر شدن غده باعث کاهش عملکرد غده این گیاه می‌گردد. Aliabadi- Farahani & Valedabadi (2010) گزارش نمودند که تنش خشکی به شدت سبب کاهش عملکرد اندام زمینی و وزن هزاردانه در گیاه گشنیز گردید، زیرا وقتی گیاه با تنش خشکی مواجه می‌شود، روزنه‌هایش نیمه بسته یا بسته می‌شود و فتوسنتز کاهش می‌یابد و از طرفی گیاه برای جذب بیشتر آب، انرژی زیادی مصرف می‌نماید. همچنین گیاه در هنگام تنش خشکی، سطح برگ خود را کاهش داده و از شاخه‌های جانبی و ارتفاع خود می‌کاهد و این موضوع سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد. همچنین Al-Karaki & Al-Raddad (1997) کاهش رشد و عملکرد گیاهان تحت تنش خشکی را به کاهش تجمع فسفر ناشی از تنش نسبت دادند.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاربرد قارچ‌های میکوریز بر عملکرد، تعداد و اندازه غده سیب‌زمینی اثر مثبت داشتند (جدول ۴). بیشترین مقدار عملکرد غده از تیمار تلقیح شده با قارچ گلوموس موسه به میزان ۳/۲۰ کیلوگرم در متر مربع به‌دست آمد.

بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد که با افزایش میزان تنش خشکی عملکرد غده گیاه کاهش یافت، به طوری که بالاترین میانگین عملکرد غده متعلق به تیمار شاهد (حفظ رطوبت در حد ظرفیت مزرعه) به میزان ۴/۳۲ کیلوگرم در متر مربع بود و میانگین عملکرد غده در تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه به ترتیب ۳/۶۰، ۲/۵۷ و ۱/۳۳ کیلوگرم در متر مربع بود که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۶/۶، ۴۰ و ۶۹ درصد کاهش عملکرد داشتند. همچنین نتایج حاکی از آن بود که با افزایش میزان تنش خشکی تعداد، طول و قطر غده‌ها نیز کاهش یافتند. بالاترین میانگین تعداد غده از تیمار شاهد (رطوبت در حد ظرفیت مزرعه) به میزان ۱۴۲ عدد در متر مربع به‌دست آمد و پایین‌ترین میانگین تعداد غده متعلق به تیمار رطوبت ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به میزان ۱۰۲ عدد در متر مربع بود که نسبت به تیمار شاهد ۲۸/۱ درصد کاهش نشان داد. بالاترین میانگین طول غده (۴/۶۸ سانتی‌متر در هر گیاه) در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد و میانگین طول غده در تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه به ترتیب ۴/۴۳، ۴/۲۴ و ۳/۳۸ سانتی‌متر در هر گیاه بودند که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵/۴۶، ۹/۳۵ و ۲۷/۹ درصد کاهش طول داشتند. در تیمار شاهد میانگین قطر غده ۳/۴۸ سانتی‌متر در هر گیاه بود، در صورتی که مقادیر این صفت در تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه به ترتیب ۳/۳۷، ۲/۸۷ و ۲/۵۴ سانتی‌متر در هر گیاه اندازه‌گیری گردیدند که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۳/۱۱،

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های حاصل از تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر عملکرد، تعداد و اندازه غده سیب‌زمینی

Table 3. Mean comparison of drought stress levels on yield, number and size of potato tuber

Drought stress levels	Tuber yield (kg.m ⁻²)	Number of tuber	Tuber length (cm.plant ⁻¹)	Tuber diameter (cm.plant ⁻¹)
100 % of FC : Control (I ₀)	4.32a	142a	4.68a	3.48a
I ₁ : 80% of FC	3.60b	123b	4.43b	3.37b
I ₂ : 60% of FC	2.57c	113c	4.24c	2.87c
I ₃ : 40% of FC	1.34d	102d	3.38d	2.54d

اعداد با حرف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری (p<0/05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05).

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف قارچ میکوریز بر عملکرد، تعداد و اندازه غده سیب‌زمینی

Table 4. Mean comparison of different levels of mycorrhiza fungi on the yield, number and size of potato tuber

Levels of mycorrhizal fungi	Tuber yield (kg.m ⁻²)	Number of tuber	Tuber length (cm.plant ⁻¹)	Tuber diameter (cm.plant ⁻¹)
No-inoculation (control)	2.47c	110c	4.06c	2.91c
M1: Inoculation with <i>Glomus intraradices</i>	3.06b	124ab	4.16b	2.93c
M2: Inoculation with <i>Glomus mosseae</i>	3.20a	125a	4.31a	3.26a
M3: Inoculation with <i>Glomus mosseae</i> and <i>Glomus intraradices</i>	3.10b	1121b	4.20b	3.13b

اعداد با حرف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری (p<0/05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05).

درصد افزایش نشان دادند. Carling & Brown (1982) گزارش کردند یکی از مهمترین فواید قارچ‌های میکوریزی افزایش عملکرد گیاهان زراعی، خصوصاً در خاک‌های با حاصلخیزی پایین است که به دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ میسلیم‌های قارچ در خاک و بالطبع دسترسی گیاه زراعی به حجم بیشتری از خاک می‌باشد. Aliabadi- Farahani & Valedabadi (2010) همچنین گزارش نمودند که کاربرد قارچ‌های میکوریزی سبب افزایش عملکرد اندام‌های هوایی، مقدار فسفر آن‌ها، عملکرد اندام زمینی و وزن هزار دانه در گیاه گشنیز گردید که دلیل آن مکانیسم عمل قارچ میکوریزی در جذب فسفر می‌باشد. Khalvati et al. (2005) طی بررسی‌هایی نشان دادند که پس از رویش اسپورهای قارچ و گسترش آن‌ها در ریزوسفر بخشی از ریشه‌ها وارد سیستم ریشه گیاه شده و سبب کاهش غلظت آبسزیک اسید و افزایش میزان سیتوکینین می‌شود و گسترش سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب را به دنبال دارد. ریشه‌های برون ریشه‌ای نیز با ترشح اسیدهای آلی نظیر اسید مالیک، سبب انحلال ترکیبات فسفره نامحلول و افزایش جذب فسفر توسط گیاه می‌شوند. بنابراین با افزایش جذب آب و فسفر از طریق همزیستی با قارچ میکوریز میزان عملکرد و اجزای عملکرد گیاه افزایش می‌یابد.

کمترین مقدار عملکرد غده مربوط به تیمار شاهد (بدون تلقیح قارچ میکوریز) به میزان ۲/۴۷ کیلوگرم در متر مربع بود. میانگین عملکرد غده در تیمارهای تلقیح شده با مخلوطی از گلوموس اینترادیسز و گلوموس موسه و گلوموس اینترادیسز به تنهایی به ترتیب ۳/۱۰ و ۳/۰۶ کیلوگرم در متر مربع بود که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. تیمارهای تلقیح شده با قارچ گلوموس موسه، گلوموس اینترادیسز و مخلوطی از دو قارچ به ترتیب ۲۳/۸، ۲۹/۷ و ۲۵/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش عملکرد نشان دادند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تعداد و اندازه غده نیز در اثر تلقیح قارچ میکوریز افزایش یافتند. بیشترین تعداد غده به میزان ۱۲۵ عدد در مترمربع از تیمار تلقیح شده با قارچ گلوموس موسه به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح قارچ) ۱۳/۳ درصد افزایش داشت و با تیمار تلقیح شده با قارچ گلوموس اینترادیسز در یک گروه آماری قرار گرفت. در مورد طول غده بالاترین مقدار آن مربوط به تیمار قارچ گلوموس موسه بود که با میانگینی معادل ۴/۳۱ سانتی‌متر در هر گیاه نیز، ۶/۰۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. همچنین بالاترین میانگین قطر غده از تیمار تلقیح شده با قارچ گلوموس موسه حاصل شد که با میانگین‌های ۳/۲۶ سانتی‌متر نسبت به تیمار شاهد ۱۲/۱

نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح قارچ‌های میکوریزی × رطوبت در حد ظرفیت مزرعه) افزایش ۱۳/۴ درصدی داشت. کمترین قطر غده نیز از تیمار بدون تلقیح با قارچ و شرایط تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۲۸/۴ درصد کاهش نشان داد.

قارچ‌های میکوریز قادر بودند که اثر نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان را تعدیل نمایند (Auge, 2001). Picone (2003) و Liu *et al.* (2007) نیز اظهار داشتند که اثر مثبت قارچ میکوریز آریسکولار در رشد و نمو گیاه میزبان در شرایط کمبود رطوبت قابل توجه بود. در بررسی‌هایی که توسط Subramanian *et al.* (1995) و Amerian *et al.* (2001) صورت گرفت مشاهده شد که کلونیزاسیون ریشه با قارچ‌های میکوریزی روی روابط آبی گیاه، فتوسنتز و رشد گیاه ذرت در مرحله پس از گلدهی و در شرایط تنش رطوبتی تأثیر گذار بود، و با تأخیر در پیری برگ و همچنین افزایش دسترسی به مواد غذایی و انتقال مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن در طی دوره تشکیل بلال و نمو دانه باعث افزایش عملکرد دانه شد (Rajcan & Tollenaar, 1999). همچنین Ortas (2001) طی آزمایشاتی نشان داد که تلقیح با قارچ میکوریز به طور معنی‌داری بقاء جوانه خیار، عملکرد و غلظت عناصر فسفر و روی را افزایش داد. نتایج این تحقیق نشان داد که با تلقیح قارچ‌های میکوریزی در سطوح مختلف تنش خشکی باعث افزایش عملکرد، تعداد و اندازه غده سیب‌زمینی شد که با نتایج محققان ذکر شده مطابقت داشت.

غلظت عناصر پرمصرف برگ و غده سیب‌زمینی

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت عناصر غذایی برگ و غده سیب‌زمینی در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش خشکی و قارچ‌های میکوریز بر غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و غده سیب‌زمینی در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. اثر متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریز بر غلظت فسفر برگ سیب‌زمینی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود ولی بر غلظت سایر عناصر معنی‌دار نبود (جدول ۶).

مقایسه میانگین داده‌ها حاصل از اثر متقابل سطوح تنش خشکی و تلقیح با قارچ‌های میکوریزی در جدول ۵ نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد غده گیاه سیب‌زمینی مربوط به تیمار تلقیح شده با قارچ گلوموس موسه به همراه شرایط بدون تنش خشکی به مقدار ۴/۸۷ کیلوگرم در متر مربع بود که نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح قارچ‌های میکوریزی × رطوبت در حد ظرفیت مزرعه) ۴۷/۶ درصد افزایش عملکرد نشان داد و این تیمار با تیمار تلقیح شده با مخلوطی از دو نوع قارچ در شرایط بدون تنش خشکی از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفت. کمترین مقدار عملکرد غده نیز مربوط به تیمار بدون تلقیح با قارچ میکوریز به همراه تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به مقدار ۱/۱۷ کیلوگرم در متر مربع بود که نسبت به تیمار شاهد ۶۴/۵ درصد کاهش نشان داد. بالاترین تعداد غده از تلقیح با گلوموس موسه به همراه شرایط بدون تنش خشکی با میانگین ۱۵۶ عدد در متر مربع به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲۷/۱ درصد افزایش داشت. تیمار تلقیح شده با مخلوطی از دو نوع قارچ در شرایط بدون تنش خشکی با میانگین ۱۴۷/۴۳۶ عدد غده در متر مربع در مقام دوم قرار گرفت و نسبت به تیمار شاهد ۱۹/۸ درصد افزایش نشان داد. کمترین تعداد غده نیز از تیمار بدون تلقیح با قارچ میکوریز و شرایط تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح قارچ‌های میکوریزی × رطوبت در حد ظرفیت مزرعه) ۱۹/۸ درصد کاهش داشت ولی این کاهش معنی‌دار نبود. بر اساس داده‌های جدول ۵ بیشترین طول غده از تیمار تلقیح شده با قارچ گلوموس موسه و شرایط رطوبت ظرفیت مزرعه اندازه‌گیری شد که با طولی معادل ۵/۰۴ سانتی‌متر در هر گیاه نسبت به تیمار شاهد ۱۲/۵ درصد افزایش داشت. کمترین طول غده نیز از تیمار بدون تلقیح با قارچ و شرایط تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲۵/۷ درصد کاهش طول داشت. بیشترین قطر غده (۳/۷۸ سانتی‌متر در هر گیاه) از تلقیح قارچ گلوموس موسه به همراه شرایط بدون تنش خشکی به دست آمد که

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های حاصل از اثرات متقابل سطوح تنش خشکی و تلقیح با قارچ‌های میکوریزی بر عملکرد، تعداد و اندازه غده سیب‌زمینی

Table 5. Mean comparison of interaction effects of drought stress levels and inoculation with mycorrhizal fungi on the yield, number and size of potato tuber

Interactions of drought Stress and mycorrhizal fungi	Tuber yield (kg.m ⁻²)	Number of tuber	Tuber length (cm.plant ⁻¹)	Tuber diameter (cm.plant ⁻¹)
I ₀ M ₀ : Control	3.30d	123cd	4.48cd	3.34c
I ₀ M ₁	4.34b	143b	4.59bc	3.34c
I ₀ M ₂	4.87a	156a	4.04a	3.78a
I ₀ M ₃	4.76a	147b	4.61b	3.46b
I ₁ M ₀	3.11e	116de	4.27fg	3.23d
I ₁ M ₁	3.88c	124cd	4.4e	3.28cd
I ₁ M ₂	3.93c	129c	4.52bc	3.55b
I ₁ M ₃	3.47d	121cde	4.51bc	3.28cd
I ₂ M ₀	2.28h	105gh	4.16g	2.67f
I ₂ M ₁	2.64fg	121cde	4.24fg	2.69f
I ₂ M ₂	2.57g	112efg	4.27fg	3.02e
I ₂ M ₃	2.79f	115def	4.30ef	3.08e
I ₃ M ₀	1.17j	98.7h	3.33h	2.39g
I ₃ M ₁	1.36i	106fgh	3.41h	2.42g
I ₃ M ₂	1.42i	103gh	3.39h	2.68f
I ₃ M ₃	1.37i	101h	3.37h	2.67f

اعداد با حرف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری (p<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05).

(I₀: 100 % of FC; I₁: 80 % of FC; I₂: 60 % of FC; I₃: 40 % of FC) (M₀: no-inoculation; M₁: inoculation with *Glomus intraradices*; M₂: inoculation with *Glomus mosseae*; M₃: inoculation with *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*)

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی، تلقیح با قارچ‌های میکوریز و اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و غده سیب‌زمینی

Table 6. The results of analysis variance of different levels of drought stress, inoculation with mycorrhizal fungi and their interactions on concentration of nutrients N, P, and K in leaf and tuber of potato

Source of variation	f	Mean square					
		leaf			Tuber		
		N	P	K	N	P	K
Block	2	0.014	0.0005	0.003	0.003	0.001	0.005
Drought stress (I)	3	3.67**	0.02**	12.8**	5.45**	0.05**	0.26**
Mycorrhizal fungi (M)	3	0.09**	0.01**	0.50**	0.19**	0.003**	0.04**
I × M	9	0.01 ^{ns}	0.002**	0.08 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Error	62	0.01	0.0004	0.044	0.01	0.0004	0.003
CV (%)	-	2.89	6.07	3.69	4.14	6.3	2.57

*, **, ns: Significant difference at 5 and 1% probability levels, and Non-significantly difference, respectively.

اعداد با حرف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری (p<0.05) نمی‌باشند.

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های حاصل از اثرات سطوح مختلف تنش خشکی بر غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و غده سیب‌زمینی

Table 7. Mean comparison of Drought stress levels on concentration of nutrients N, P, and K in leaf and tuber of potato

Drought stress levels	Leaf			Tuber		
	N (%)	P (%)	K (%)	N (%)	P (%)	K (%)
	100 % of FC : Control (I ₀)	3.62d	0.39a	6.37a	1.37d	0.37a
I ₁ : 80% of FC	3.87c	0.36b	6.13b	2.01c	0.35b	2.21b
I ₂ : 60% of FC	4.07b	0.36b	5.50c	2.14b	0.29c	2.07c
I ₃ : 40% of FC	4.55a	0.33c	4.74d	2.52a	0.28c	2.05c

اعداد با حرف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری (p<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05).

با افزایش تنش خشکی غلظت نیتروژن برگ افزایش یافت. در اثر کمبود رطوبت خاک، رشد گیاه بیشتر از جذب نیتروژن کاهش می‌یابد و این موضوع باعث می‌شود که نیتروژن جذب شده در مقدار کمتری ماده خشک توزیع گردد و غلظت آن در بافت‌های گیاه

مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جدول ۷ نشان داد که بالاترین غلظت نیتروژن برگ سیب‌زمینی به میزان ۴/۵۵ درصد از تیمار تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد و کمترین غلظت نیتروژن برگ مربوط به تیمار شاهد به میزان ۳/۶۲ درصد بود.

افزایش داشت و کمترین غلظت نیتروژن غده نیز از تیمار شاهد به میزان ۱/۳۷ درصد به‌دست آمد (جدول ۷). بالاترین میانگین غلظت فسفر غده سیب‌زمینی نیز در تیمار شاهد به میزان ۰/۳۷ درصد اندازه‌گیری شد و کمترین غلظت فسفر غده مربوط به تیمار ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به میزان ۰/۲۸ درصد بود که نسبت به تیمار شاهد ۲۴/۹ درصد کاهش نشان داد و با تیمار تنش خشکی ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفت (جدول ۷). بیشترین میانگین غلظت پتاسیم غده در تیمار شاهد به میزان ۲/۶۳ درصد اندازه‌گیری گردید و میانگین غلظت پتاسیم به‌دست آمده از تیمار تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه ۲/۰۵ درصد بود که نسبت به تیمار شاهد ۹/۴۳ درصد کاهش و با تیمار تنش خشکی ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه از لحاظ آماری در یک گروه قرار داشت (جدول ۷).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین غلظت نیتروژن برگ از تیمار تلقیح با قارچ میکوریز گلوموس موسه به میزان ۴/۰۸ درصد به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۳/۵۹ درصد افزایش داشت ولی اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت. کمترین میزان نیتروژن برگ (۳/۹۴ درصد) نیز از تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۸). بالاترین غلظت فسفر برگ از تیمار تلقیح با قارچ میکوریز گلوموس موسه به میزان ۰/۳۸ درصد حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۴/۷ درصد افزایش داشت. کمترین غلظت فسفر برگ متعلق به تیمار شاهد (۰/۳۳ درصد) بود (جدول ۸). بالاترین درصد پتاسیم برگ از تلقیح با قارچ گلوموس موسه به میزان ۵/۷۹ درصد به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۵/۶۹ درصد افزایش نشان داد.

افزایش یابد (فاکتور رقت). بالاترین میانگین غلظت فسفر برگ از تیمار شاهد به میزان ۰/۳۹ درصد به‌دست آمد. در تنش‌های خشکی ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه درصد فسفر برگ به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۳۶ درصد بود که در یک گروه آماری قرار داشتند و نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۷/۱۳ و ۸/۹۵ درصد کاهش داشتند. کمترین میزان فسفر برگ نیز از تیمار تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به میزان ۰/۳۳ درصد به‌دست آمد (جدول ۷). بیشترین میانگین غلظت پتاسیم برگ نیز در تیمار شاهد به میزان ۶/۳۷ درصد اندازه‌گیری شد و تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه با ۴/۷۴ درصد پتاسیم برگ کمترین مقدار آن را داشت (جدول ۷). (Daneshmand et al., 2009) در بررسی واکنش سیب‌زمینی رقم آگریا به تنش‌های شوری و خشکی به این نتیجه رسیدند که تنش شوری مقدار پتاسیم را در اندام‌های هوایی ۲۴ درصد و تنش خشکی آن را ۱۲ درصد کاهش داد. بررسی‌ها نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان پتاسیم در برگ‌های سیاه‌دانه شد. کاهش میزان پتاسیم برگ در شرایط تنش خشکی به علت کاهش جریان انتشار این عنصر از خاک به سطح ریشه گیاه است (Heidari & Rezapour, 2011). Samarah et al. (2004) نیز گزارش نمودند که در شرایط تنش خشکی از میزان پتاسیم، فسفر و کلسیم گیاه سویا کاسته شد. نتایج به‌دست آمده در این آزمایش نیز با نتایج محققان دیگر مطابقت داشت.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین میانگین غلظت نیتروژن غده سیب‌زمینی از تیمار تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه به میزان ۲/۵۲ درصد اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار شاهد ۸۳/۳ درصد

جدول ۸. مقایسه میانگین‌های حاصل از تأثیر سطوح مختلف تلقیح با قارچ‌های میکوریز بر غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و غده سیب‌زمینی

Table 8. Mean comparison of different levels of mycorrhiza fungi on concentration of nutrients N, P, and K in leaf and tuber of potato

Levels of mycorrhizal fungi	Leaf			Tuber		
	N (%)	P (%)	K (%)	N (%)	P (%)	K (%)
Control: no-inoculation (M ₀)	3.94b	0.33b	5.47b	1.88b	0.30b	2.1b
Inoculation with <i>Glomus intraradices</i> (M ₁)	4.06a	0.36a	5.74a	2.03a	0.32a	2.18a
Inoculation with <i>Glomus mosseae</i> (M ₂)	4.08a	0.38a	5.79a	2.07a	0.33a	2.115a
Inoculation with <i>Glomus mosseae</i> and <i>Glomus intraradices</i> (M ₃)	4.03a	0.37a	5.75a	2.06a	0.32a	2.17a

اعداد با حرف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$).

مقدار نیتروژن گیاه را افزایش می‌دهند (Mader *et al.*, 2000; Jin *et al.*, 2005). Hodge *et al.* (2001) اظهار داشتند که قارچ‌های میکوریز از طریق افزایش تجزیه مواد آلی نیتروژن مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کنند. همچنین محققان گزارش نمودند که تیمارهای تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزی دارای مقدار بیشتری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد قارچ میکوریز) بودند (Rajendran & Devaraj, 2003).

نتایج حاصل از اثرات متقابل سطوح مختلف تنش خشکی و تلقیح با قارچ‌های میکوریزی تنها بر درصد فسفر برگ معنی‌دار بود. بالاترین غلظت فسفر برگ از تیمارهای تلقیح با قارچ گلوموس اینترادیس و رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و تلقیح با قارچ میکوریز گلوموس اینترادیس و رطوبت ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه به میزان ۰/۴۱ درصد به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۰/۸۱ درصد افزایش نشان دادند. کمترین میانگین فسفر برگ نیز از تیمار حاوی تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه و عدم تلقیح با قارچ میکوریز به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۸/۰۱ درصد کاهش داشت. کاربرد قارچ میکوریز تحت شرایط مختلف تنش خشکی باعث افزایش میزان نیتروژن و پتاسیم برگ گردید اما این افزایش معنی‌دار واقع نبود. Al-Karaki & Al-Raddad (1997) طی آزمایشاتی اظهار داشتند که جذب عناصر غذایی (فسفر، آهن، منگنز، مس و روی) در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیر میکوریزی تحت تنش خشکی افزایش یافت. Ruiz-Lozano *et al.* (1995) بر این باورند که افزایش جذب عناصر غذایی در گیاهان میکوریزی می‌تواند راهکاری برای مقاومت به تنش خشکی در این گیاهان باشد. Auge (2001) گزارش نمود که رابطه همزیستی بین قارچ‌های میکوریزی و ریشه‌های گیاه میزبان به میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش داد. این واکنش‌های مثبت ایجاد شده را به جذب یون‌های کم‌تحرک از قبیل فسفر، پتاسیم، منیزیم، گوگرد، آهن، روی، مس و منگنز توسط قارچ میکوریز و انتقال آن‌ها به گیاه میزبان نسبت داد (Lu *et al.*, 2015).

کمترین میانگین پتاسیم برگ نیز از تیمار شاهد به میزان ۵/۴۷ درصد به‌دست آمد. بالاترین مقادیر فسفر و پتاسیم به‌دست آمده با مقادیر فسفر و پتاسیم به‌دست آمده از تیمارهای تلقیح شده با گلوموس اینترادیس و مخلوطی از دو قارچ میکوریز تفاوت معنی‌داری با بالاترین مقادیر این عناصر در تیمار تلقیح با گلوموس موسه نداشتند (جدول ۷). همان‌طور که ملاحظه شد تلقیح با قارچ میکوریز باعث افزایش غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ و غده شد و قارچ میکوریز گلوموس موسه مؤثرتر از سایر سطوح تلقیح بود. در این میان میزان تأثیر تلقیح با قارچ‌های میکوریزی بر غلظت فسفر برگ و غده، بیش از نیتروژن و پتاسیم بود. قارچ‌های میکوریزی از طریق انشعابات میسلیمی و ریشه‌ای خود قادر هستند به درون خاک و منافذی که برای ریشه و تارهای کشنده گیاه قابل دسترس نیستند، راه یابند و به این ترتیب حجم بیشتری از خاک را مورد استفاده قرار داده و نقش مهمی در جذب و انتقال آب و عناصر غذایی در گیاه ایفا نمایند (Reid & Bowen, 1979).

بالاترین غلظت نیتروژن غده سیب‌زمینی از تیمار تلقیح شده با قارچ میکوریز گلوموس موسه به میزان ۲/۰۷ درصد به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۰/۳ درصد افزایش داشت (جدول ۸) ولی این تیمار با تیمارهای تلقیح با قارچ میکوریز گلوموس اینترادیس و مخلوطی از دو قارچ از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین میانگین غلظت نیتروژن از تیمار شاهد به میزان ۱/۸۸ درصد به‌دست آمد. بالاترین غلظت فسفر غده از تیمار تلقیح با قارچ گلوموس موسه به میزان ۰/۳۳ درصد به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۹/۷۰ درصد افزایش داشت. کمترین غلظت فسفر غده نیز از تیمار شاهد به میزان ۰/۳۰ درصد به‌دست آمد (جدول ۸). بیشترین میانگین غلظت پتاسیم غده از تیمار تلقیح با قارچ گلوموس اینترادیس، به میزان ۲/۱۸ درصد به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۴/۱۶ درصد افزایش داشت. کمترین غلظت پتاسیم غده نیز از تیمار شاهد به میزان ۲/۱۰ درصد به‌دست آمد (جدول ۸). در بعضی تحقیقات نشان داده شد که قارچ‌های میکوریز

انتشار و یا انتقال به وسیله پدیده اسمز همگی تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه است و در صورت کاهش رطوبت، شدت و مقدار غلظت عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌گردد (Taiz & Zeiger, 1998). طی بروز تنش خشکی، به سبب بالا رفتن غلظت املاح محلول در محیط ریشه و در نتیجه افزایش پتانسیل اسمزی خاک، از جذب عناصر غذایی تا حد زیادی کاسته می‌شود (Grattan & Grieve, 1999).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده با افزایش تنش خشکی عملکرد غده، تعداد غده در واحد سطح، اندازه غده و همچنین غلظت عناصر غذایی پرمصرف (به جز نیتروژن) در برگ گیاه سیب زمینی کاهش یافتند. ولی کاربرد قارچ‌های میکوریزی اثر سوء تنش خشکی را کاهش داد و باعث افزایش صفات رشد در این گیاه گردید که دلیل آن می‌تواند جذب آب و عناصر غذایی بیشتر توسط گیاه سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی باشد. در تیمارهای عاری از تنش خشکی نیز تلقیح گیاه با قارچ میکوریز منجر به افزایش عملکرد گیاه گردید بنابراین برای حصول عملکرد مطلوب در این گیاه حفظ رطوبت در سطح ظرفیت مزرعه و تلقیح آن با قارچ گلوموس موسه پیشنهاد می‌شود.

Liu *et al.* (2000) به‌طور کلی سیستم همزیستی میکوریزی، ورود و خروج آب در گیاه و بنابراین میزان آب بافت‌ها، فیزیولوژی برگ، هدایت روزنه‌ای، تعرق و ظرفیت فتوسنتزی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گیاهان میکوریزی به دلیل جذب مستقیم آب توسط هیف قارچ و بهبود هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه گیاه، در شرایط کم‌آبی از کارایی بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی در جذب آب دارند و در صورت افزایش رطوبت در محیط ریشه، خیلی سریع‌تر از حالت پژمردگی به حالت عادی برمی‌گردند. از آنجایی‌که تحرک عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی پایین می‌باشد، قارچ‌های میکوریزی می‌توانند تأثیر زیادی در رشد و نمو اندام‌های گیاه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش داشته باشند (Boomsma & Vyn, 2008; Song, 2005). همزیستی قارچ میکوریز با ریشه‌های گیاه نه تنها رشد و جذب عناصر معدنی را افزایش می‌دهد، بلکه ممکن است باعث مقاومت گیاه به تنش خشکی شود (Davies *et al.*, 1992; Ruiz-Lozano *et al.*, 1995). Huang *et al.* (1985) طی بررسی‌ها اظهار داشتند که افزایش مقاومت گیاهان میکوریزی به تنش خشکی ممکن است به دلیل جذب بیشتر فسفر در خاک‌های با فسفر پایین ایجاد شود. مکانیسم‌های غلظت و انتقال عناصر غذایی در خاک و گیاهان، مانند جریان توده‌ای،

REFERENCES

1. Ali Ehyaei, M. & Behbahanizadeh, A. A. (1993). *Guidelines for laboratory analysis of soil samples*. Water and soil research institute. Tehran. Iran.
2. Aliabadi-Farahani, H. & Valedabadi, A. R. (2010). Role of arbuscular mycorrhiza fungi on medicinal plants of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(1), 1-5.
3. Al-Karaki, G. N. & Al-Raddad, A. (1997). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza*, 7, 83-88.
4. Amerian, M. R., Stewart, W. S. & Griffiths, H. (2001). Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays* L.). *Annals of Applied Biology*, 63, 73-76.
5. Auge, R. M. (2001). Water relations, drought and vesicular- arbuscular mycorrhiza symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, 3-42.
6. Baghani, J. (2009). Effect of planting pattern and water quantity on potato cultivation with drip irrigation in Mashhad. *Journal of Water and Soil*, 23(1), 153-159.
7. Beukema, H. P. & Vanderzaag, D. E. (1991). *Introduction to Potato Production*. Wageningen. Nederland. 208 p.
8. Boomsma, C. R. & Vyn, T. J. (2008). Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, 108, 14-31.

9. Bradford, K. J. & Hsiao, T. C. (1982). Physiological responses to moderate water stress. Pp: 263-324. In: Lange, O., P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Zeigler (eds), *Physiological plant ecology: II. Water relations and carbon assimilation*, Springer, Berlin, Heidelberg.
10. Carling, D. E. & Brown, M. F. (1982). Anatomy and physiology of vesicular-arbuscular and non mycorrhizal roots. *Phytopathology*, 72, 1108-1114.
11. Cornic, G. & Masacci, A. (1996). Leaf photosynthesis under drought stress. P: 347-366. In: Baker, N.R. (eds.), *Photosynthesis and Environment*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
12. Daneshmand, F., Arvin, M. J. & Manuchehri- Kalantari, Kh. (2009). Agraria potato in response to salt and drought stress. *10th National Seminar on irrigation and reduce evaporation*. Shahid Bahonar University of Kerman.
13. Davies, F. T. Jr., Potter, J. R. & Linderman, R. G. (1992). Mycorrhiza and repeated drought exposure affect drought resistance and extraradical hyphae development on pepper plants independent of plant size and nutrient content. *Journal of Plant Physiology*, 139, 289-294.
14. Eskandari, A., Khazaye, H. R., Nezami, A., Kafi, M. & Majdabadi, A. (2011). Effect of irrigation regimes on physiological characteristics, yield and water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Mashhad weather conditions. *Journal of Horticultural Science*, 25(2), 201-210.
15. Fabeiro, C., Martin de Santa Olalla, F. & De Juan, J. A. (2001). Yield and size of deficit irrigated potatoes. *Agricultural Water Management*, 48, 255-266.
16. FAO. (2005). FAOSTAT, FAO Statistical Databases, IYP2008 Website, <http://www.potato2008.org/>.
17. FAO. (2009). Press release, 19 June 2009. <http://www.fao.org/news/story/en/item/20568/icode/>.
18. Frusciante, L., Barone, A., Carputo, D. & Ranalli, P. (1999). Breeding and physiological aspects of potato cultivation in the Mediterranean region. *Potato Research*, 42, 265-277.
19. Gabler, J. (2002). Drought stress and nitrogen effects on *Coriandrum sativum* L. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 44, 12-28.
20. Grattan, S. R. & Grieve, C. M. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78, 127-157.
21. Harris, P. M. (1978). Water. Pp. 244-277. In: Harris, P.M. (eds.), *The Potato Crop*. Chapman & Hall, London.
22. Heidari, M. & Rezapour, A. R. (2011). Effect of water Stress and sulfur fertilizer on grain yield, chlorophyll and nutrient status of Black Cumin (*Nigella Sativa* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 1(1), 81-90.
23. Hodge, A., Campbell, C. D. & Fitter, A. H. (2001). An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature*, 413, 297-299.
24. Huang, R. S., Smith, W. K. & Yost, R. S. (1985). Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth, water relations, and leaf orientation in *Leucaena leucocephala* (LAM.) De wit. *New Phytologist*, 99, 229-243.
25. Irna, A. & Mauromicale, G. (2006). Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 82, 193-209.
26. Jin, H. P., Feffer, P. E., Douds, D. D., Piotrowski, E., Lammers, P. J. & Shachar-Hill, Y. (2005). The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 168, 687-696.
27. Khalvati, M. A., Mozafar, A. & Schmidhalter, U. (2005). Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart*, 7, 706-712.
28. Khavazi, K., Asadi-Rahmani, H. & Malakuti, M. J. (2005). *Necessary for industrial production of biological fertilizers*. Sena Publications. 279-274.
29. Koide, R. T. & Mosse, B. (2004). A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*, 14, 145-163.
30. Lebaschy, M. H. & Sharifi Ashoorabadi, E. (2004). Growth indices of some medicinal plants under alhvi different water stresses. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 20, 249-261.
31. Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R. I., Ma, B. L. & Smith, D. L. (2000). Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 9, 331-336.
32. Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R. I., Ma, B. L. & Smith, D. L. (2000). Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 9, 331-336.
33. Liu, A., Plenchette, C. & Hamel, C. (2007). Soil nutrient and water providers: how arbuscular mycorrhizal mycelia support plant performance in a resource limited world. P: 37-66. In: Hamel, C., and C. Plenchette (eds.) *Mycorrhizae in Crop Production*. Haworth Food & Agricultural Products Press, Binghamton, NY.

34. Lu, F. C., Lee, C. Y. & Wang, C. L. (2015). The influence of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on yam (*Dioscorea* spp.) tuber weights and secondary metabolite content. *PeerJ*, 3, e1266.
35. Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296, 1694-1697.
36. Muller, J. E. & Whitsitt, M. S. (1996). Plant cellular responses to water deficit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 20, 41-46.
37. Ortas, I. (2010). Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8, 116-122.
38. Picone, C. (2003). Managing mycorrhizae for sustainable agriculture in the tropics. P95-132. In: Vandermeer, J.H. (eds.), *Tropical Agro ecosystems*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
39. Rajcan, I. & Tollenaar, M. (1999). Source: sink ratio and leaf senescence in maize: Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. *Field Crops Research*, 60, 245-253.
40. Rajendran, K. & Devaraj, P. (2003). Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with biofertilizers in farm land. *Biomass and Bioenergy*, 26, 235-249.
41. Reid, C. P. P. & Bowen, G. D. (1979). Effects of soil moisture on VA mycorrhiza formation and root development in *Medicago*. pp. 211-219. In: Harley, J.L. (eds), *The Soil-Root Interface*, Academic Press, London.
42. Ruiz-Lozano, J. M., Azcon, R. & Gomez, M. (1995). Effects of arbuscular mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Applied and Environmental Microbiology*, 61, 456-460
43. Samarah, N., Mullen, R. & Cianzio, S. (2004). Size distribution and mineral nutrients of soybean seed in response to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27(5), 815-835.
44. Song, H. (2005). Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. *Electronic Journal of Biology*, 1(3), 44-48.
45. Subramanian, K. S., Charest, C., Dwyer, L. M. & Hamilton, R. I. (1997). Effects of arbuscular Mycorrhiza on leaf water potential, sugar content and P content during drought and recovery of maize. *Canadian Journal of Botany*, 75, 1582-1591.
46. Taiz, L. & Zeiger, E. (1998). *Plant physiology*. (zed ed.). Sinauer Associates. Inc. Publisher. Sunderland Massa Chusetts. 757p.
47. Wu, Q. S. & Xia, R. X. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 163, 417-425.
48. Zhu, X. C., Song, F. B., Liu, S. Q., Liu, T. D. & Zhou, X. (2012). Arbuscular mycorrhiza improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. *Plant Soil Environment*, 58(4), 186-191.