

تأثیر سه گونه قارچ میکوریز بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک دو رقم سیب‌زمینی تحت تنش خشکی در شرایط کنترل شده

سعید خانی‌نژاد^۱ - حمیدرضا خزاعی^{۲*} - جعفر نباتی^۳ - محمد کافی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۱۰

چکیده

در سال‌های اخیر کمبود بارندگی یکی از مشکلات در حال افزایش در بسیاری از کشورهای جهان بوده که تولید محصولات کشاورزی را محدود ساخته است. یکی از راهکارهای مناسب در کشاورزی برای مقابله با تنش خشکی، برقراری رابطه هم‌زیستی در برخی گیاهان با قارچ‌های میکوریزی می‌باشد. در این راستا مطالعه‌ای به منظور بررسی تأثیر سه گونه قارچ میکوریزایی (*Glomus intraradices*، *Glomus mosseae* و *Glomus fasciculatum*) بر دو رقم سیب‌زمینی (آگریا و فونتانه) در شرایط تنش خشکی و بدون تنش (شاهد) در سال ۱۳۹۱ و در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد غده، سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی شد. رقم فونتانه نسبت به آگریا عملکرد و تعداد غده بالاتری داشت. کاربرد قارچ‌های میکوریز سبب افزایش بیوماس، سطح برگ و عملکرد تک بوته در شرایط تنش و غیر تنش شد. قارچ *G. fasciculatum* نسبت به سایر گونه‌ها تأثیر مثبت بیشتری بر صفات مورد مطالعه ارقام سیب‌زمینی داشت. در رقم فونتانه و آگریا قارچ *G. fasciculatum* به ترتیب با ۱۷۷ و ۱۲۸ گرم وزن غده بالاترین عملکرد را به خود اختصاص دادند. تیمار شاهد در شرایط تنش و بدون تنش نسبت به تیمارهای قارچی کم‌ترین مقدار را دارا بود.

واژه‌های کلیدی: آگریا، تعداد غده، فلورسانس کلروفیل، فونتانه، وزن غده

مقدمه

به طوری که از بین عوامل مختلف ایجادکننده تنش (زنده و غیرزنده)، عامل خشکی به تنهایی مسبب ۴۵ درصد از کاهش عملکرد محصولات زراعی بوده است (Belhassen, 1997). تنش خشکی می‌تواند از یک یا چند فعالیت فیزیولوژیکی مانند تعرق، فتوسنتز، رشد بافت، اندام و یا فعالیت‌های آنزیمی سلول ممانعت نموده و یا حتی باعث توقف آن شود. خسارت ناشی از کمبود آب موجب کاهش تولید در اثر تأخیر یا عدم استقرار گیاه، تضعیف و یا از میان رفتن گیاهان مستقر شده، مستعد شدن گیاه به حمله آفات و بیماری‌ها، تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در سوخت‌وساز گیاهان و کاهش کیفیت محصول گیاهان زراعی می‌گردد (Song, 2005). در حال حاضر نیز ایران با متوسط نزولات سالانه ۲۴۰ میلی‌متر در زمره مناطق خشک جهان قرار دارد. با توجه به کم بودن ریزش‌های جوی و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی آن در ایران، کشور ما در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود (Kouchaki, 1988).

در چند دهه اخیر، کشاورزی بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا تقلیل چشم‌گیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، مورد توجه قرار گرفته است (Sharma, 2002) و می‌تواند در شرایط تنش خشکی به عنوان یک راهکار مفید در جهت کاهش و تعدیل هرچه

بخش وسیعی از سرزمین‌های جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با محدودیت آب مواجه می‌باشند. خشکی خطر جدی برای تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی در سرتاسر جهان است (Hanson and Hitz, 1982). طبق آمار موجود مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تقریباً ۴۴/۷ میلیون کیلومتر مربع را شامل می‌شود. تقریباً ۹۰ درصد مناطق خشک جهان در ۲۷ کشور از جمله ایران متمرکز شده است (Hanson and Hitz, 1982). در میان تنش‌های غیرزنده‌ای که گیاهان با آن روبرو می‌شوند، تنش خشکی در اکثر مناطق دنیا از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در گسترش و زادآوری گیاهان در سیستم‌های طبیعی و کشاورزی شناخته شده است.

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: (Email: khazaei41@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v14i4.21993

موجب کاهش عملکرد کل غده بدون توجه به شدت کمبود رطوبت خاک می‌گردد. بنابراین با توجه به اثرات تنش خشکی، این مطالعه با استفاده از قارچ‌های همزیست ریشه و به‌منظور ارزیابی میزان تحمل سیبزمینی به تنش رطوبتی و همچنین تولید آن حتی در شرایط مطلوب و تأثیر قارچ‌ها در این شرایط انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۳۹۱ به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل دو رقم سیبزمینی آگریا و فونتانه، سه گونه قارچ میکوریزایی (*Glomus intraradices*، *Glomus mosseae*) و *Glomus fasciculatum* (بدون کاربرد قارچ میکوریزایی) و دو سطح تنش خشکی (شاهد و تنش) بودند. تنش خشکی به‌صورت وزنی اعمال شد. در تیمار شاهد آبیاری زمانی انجام گرفت که ظرفیت زراعی خاک (FC^1) به ۸۰ درصد رسیده و آبیاری تا ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی انجام می‌شد. تیمار تنش نیز هنگامی که ظرفیت زراعی به ۶۰ درصد می‌رسید، آبیاری انجام شده و تا ظرفیت ۸۰ درصد ادامه می‌یافت. گیاهچه‌های استفاده شده حاصل کشت مرستم بوده که در محیط MS (Murashige and Skoog) (محیط کشت گیاهی در آزمایشگاه های کشت بافت) کشت بافت شده و عاری از ویروس بودند. کاشت سیبزمینی در گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی در بستر خاک-شن به نسبت (۱-۲/۵) که به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد در اتوکلاو استریل شده بود انجام شد. در هر گلدان دو گیاهچه کشت شد بعد از استقرار کامل گیاه در خاک فقط یک گیاهچه در گلدان حفظ گردید. تیمار قارچ به‌همراه کاشت و به‌میزان ۱۰۰ گرم مخلوطی از مایه تلقیح شامل قطعات ریشه میکوریزی ذرت (*Zea mays*)، خاک و اندام فعال قارچی (اسپور و هیف) که از مجاورت ریشه گیاه ذرت طی دوره رویشی چهار ماهه تهیه شده بودند، در محیط ریشه اعمال شد. شرایط محیطی رشد در گلخانه با طول دوره ۱۳ ساعت روشنایی و ۱۱ ساعت تاریکی و دمای روز 30 ± 2 و شب 26 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰ درصد بود. به‌منظور استقرار بهتر گیاهان خاک‌دهی در دو نوبت انجام شد. میزان آب دریافتی به هر گلدان بر اساس وزن جدید گلدان‌ها محاسبه شد. برای مبارزه با آفات از سم کنفیدور (به نسبت ۲/۵ در هزار) و دیازینون (به نسبت ۱/۵ در هزار) و مبارزه با شته و مگس سفید از متاسیستوکس (به نسبت یک در هزار) استفاده شد. پس از ۹۰ روز گیاهان از سطح خاک برداشت شدند. قبل از برداشت ارتفاع هر بوته اندازه‌گیری شده و

بیش‌تر اثرات تنش روی اکثر گیاهان زراعی مطرح باشد چراکه گونه‌های همزیست با گیاه، با تقویت سیستم ریشه گیاه سبب مقاومت و کاهش اثرات تنش می‌شوند (Auge, 2001). یکی از گونه‌های همزیست، قارچ‌های میکوریزایی هستند که این قارچ‌ها می‌توانند رشد را بهبود داده و سبب فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی موردنیاز گیاه در خاک شوند و با توجه به اثر تعدیل‌کنندگی آن‌ها نقش مهمی در شرایط تنش ایفا می‌کنند (Auge, 2001). قارچ‌های میکوریزایی به لحاظ بهبود توانایی گیاه در جذب مواد غذایی، تعادل یون، حفظ فعالیت آنزیم، افزایش غلظت کلروفیل و افزایش سطح تماس ریشه با خاک، خطرات ناشی از تنش را کاهش داده و باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شوند (Al-Karaki, et al, 2004). هیف‌های قارچ سطح جذب کلی گیاهان تلقیح شده را افزایش داده و یا با افزایش دسترسی گیاهان آلوده به عناصر غذایی در منطقه دورتر ریشه گیاه می‌شود و عملاً حجم خاک مورد جستجو برای عناصر غذایی را افزایش داده و عناصر بیش‌تری را جذب می‌کند (Al-Karaki, and Hammad, 2001). به‌علاوه تحمل گیاهان به خشکی را از طریق بهبود جذب آب و پتانسیل آماس برگ، کنترل منافذ روزنه‌ای و تعرق، افزایش طول و عمق ریشه و توسعه هیف‌های انتهایی افزایش می‌دهد (Vamerali, et al, 2003). نتایج تحقیق روی گیاهان میکوریزایی و غیر میکوریزایی در شرایط تنش رطوبتی نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزایی بیش‌تر از گیاهان غیر میکوریزایی است، این موضوع در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزایی می‌باشد. هدایت آبی نیز در واحد طول ریشه ۲ تا سه برابر افزایش نشان می‌دهد. برگ‌های گیاهان میکوریزایی دارای مقاومت کمتری به انتشار بخار آب هستند و همچنین سطح آن‌ها در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزایی افزایش نشان می‌دهد (Zhang et al, 2006).

سیبزمینی از منابع با ارزش تامین غذای بشر به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه است. این گیاه یکی از پرتولیدترین محصولات کشاورزی بوده و تقریباً در هر هکتار دو برابر برنج و گندم محصول تولید می‌کند (Opena and Porter, 1999). تولید سالانه بیش از پنج میلیون تن سیبزمینی در کشور، این محصول را در ردیف مهم‌ترین مواد غذایی قابل‌مصرف بعد از گندم قرار داده است (Rezaie and Soltani, 1996). سیبزمینی به‌کمبود رطوبت خاک بسیار حساس می‌باشد این مورد به‌دلیل سیستم ریشه‌ای محدود و کم عمق آن می‌باشد، زیرا تقریباً ۸۵ درصد از طول ریشه این گیاه در لایه ۳۰ سانتی‌متری بالای سطح خاک قرار گرفته است (Onder et al, 2005). شدت، زمان و مدت کمبود رطوبت خاک در طی مراحل مختلف رشد سیبزمینی بر عملکرد این گیاه تأثیرگذار است (Nadler and Heuer, 1995). در این ارتباط King et al, 2003 بیان کردند که کمبود رطوبت خاک در طی اواسط و اواخر غده‌بندی سیبزمینی

توسعه‌یافته) روی سه بوته انتخاب و محتوای نسبی کلروفیل و فلورسانس کلروفیل آن‌ها توسط دستگاه قرائت شد. پس از برداشت، سطح برگ بوته‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، اندام هوایی گیاه به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس غده‌های داخل هر گلدان شمارش و جداگانه وزن شدند. داده‌ها توسط نرم‌افزار Minitab 16 آنالیز و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج‌درصد و با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

محتوای نسبی کلروفیل بر اساس اسپد (Mintola Reading SPAD-502, Japan PAM-101-103.H. Walz. Effeltrich, Germany) اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی اثر تنش خشکی بر سیستم فتوسنتزی گیاه از پارامترهای کلیدی فلورسانس کلروفیل استفاده زیادی شده است. هم‌چنین این تکنیک یک ابزار مفید و غیرتخریبی جهت ارزیابی وضعیت فتوشیمیایی گیاه می‌باشد و مدت‌زمان لازم برای اندازه‌گیری آن در شرایط مزرعه کوتاه است (Malakouti et al., 2005). بدین‌منظور سه برگ همسان (جوان‌ترین برگ کاملاً

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده دو رقم سیب‌زمینی تحت تأثیر قارچ‌های میکوریزایی در شرایط تنش خشکی

Table 1- Comparing the average of features in two potato cultivars affected by mycorrhizal fungi in drought stress

وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)	میانگین وزن غده Average weight of (g) tuber	میانگین تعداد غده Average number of tubers	عملکرد غده عملکرد Tuber yield (g)	عدد اسپد Spad number	عملکرد فلورسانس کلروفیل Chlorophyll fluorescence yield	سطح برگ Leaf area (cm ²)	ارتفاع ارتفاع Height (cm)
5.4	28	3.0	82	44	640	725	68
9.0	31	4.2	129	40	652	1852	63
0.5	4.1	0.7	16.6	3.1	8.3	226	3.2
8.0	33	4.0	130	40	669	1479	70
6.3	25	3.2	81	45	660	1063	62
0.4	4.6	0.7	11.6	1.9	10.3	274	2.4
4.6	24	3.1	75	44	633	945	53
7.3	35	3.5	123	41	630	1407	66
8.3	28	3.6	104	42	637	1267	68
8.5	32	3.8	120	40	643	1464	76
0.5	4.8	0.8	13.3	4.3	10.6	289	3.6

مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

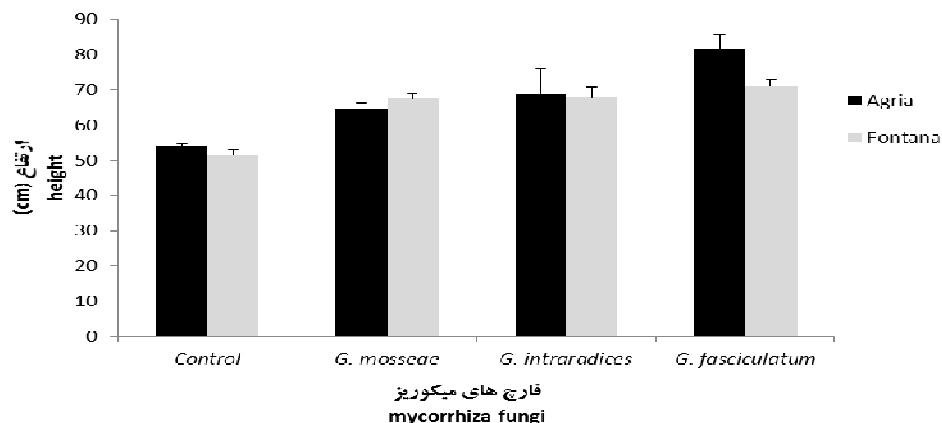
The averages comparison due to LSD test in 5% level.

G. fasciculatum با ۷۶ سانتی‌متر بالاترین ارتفاع را دارا بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۱). تنش خشکی نیز سبب کاهش ۱۱ درصدی و معنی‌دار ارتفاع بوته‌های سیب‌زمینی شد (جدول ۱).

نتایج و بحث

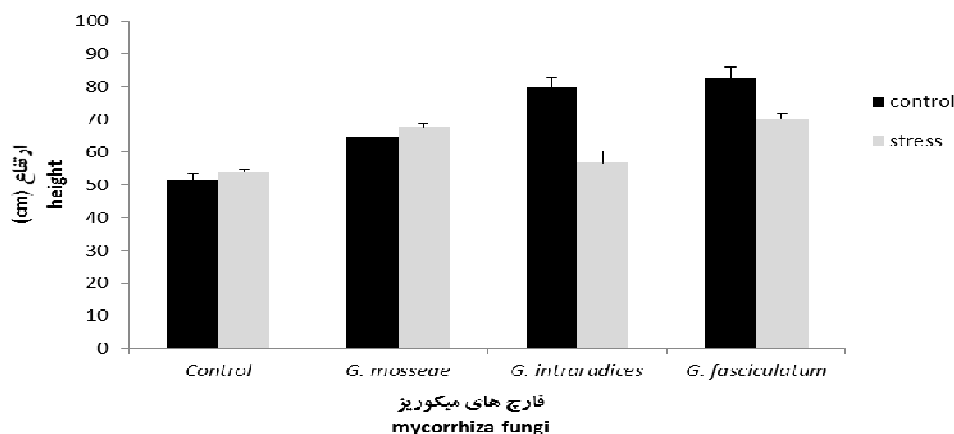
ارتفاع

نتایج نشان داد که رقم آگریا با ۶۳ سانتی‌متر ارتفاع نسبت به رقم فونتانه هشت‌درصد افزایش داشت که این افزایش معنی‌دار بود (جدول ۱). در بین قارچ‌ها، تیمار شاهد با ۵۳ سانتی‌متر کم‌ترین و قارچ



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ های میکوریزی و رقم های سیبزمینی بر ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی میله های روی هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 1- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and potato cultivars on plant height in drought stress. The bars of each column indicates standard errors.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ های میکوریزی و تنش خشکی بر ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی میله های روی هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 2- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and drought stress on plant height in drought stress. The bars of each column indicates standard errors.

در تیمار شاهد و *G. mosseae* اختلاف معنی داری بین سطوح تنش خشکی و شاهد وجود نداشت. اما گونه های *G. intraradices* و *G. fasciculatum* در شرایط تنش به ترتیب با ۳۰ و ۱۵ درصد کاهش ارتفاع نسبت به تیمار شاهد مواجه شدند. به نظر می رسد گونه *G. fasciculatum* در هر دو شرایط شاهد و تنش توانسته است تأثیر بیشتری بر ارتفاع گیاه داشته باشد (شکل ۲). یکی از اولین نشانه های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه

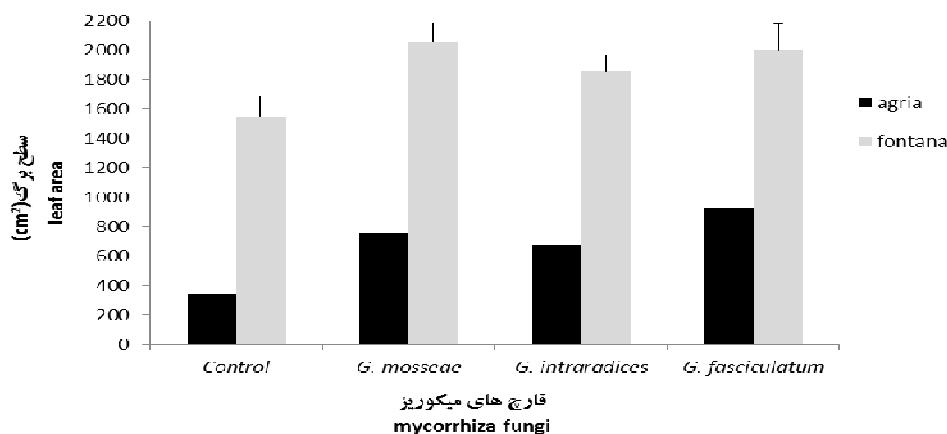
اثر متقابل رقم و قارچ نشان داد که در تمامی تیمارهای میکوریزی به جز گونه *G. fasciculatum* در بین دو رقم سیبزمینی از نظر صفت ارتفاع اختلاف معنی داری مشاهده نشد، اما در رقم آگریا *G. fasciculatum* با ۸۲ سانتی متر ارتفاع نسبت به تمامی تیمارها اختلاف معنی دار) داشت. در هر دو رقم سیبزمینی بین قارچ های *G. intraradices* و *mosseae* از نظر ارتفاع اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۱). نتایج اثرات متقابل تنش و قارچ نشان داد که

استفاده از قارچ میکوریز موجب افزایش رشد رویشی گیاهان در شرایط تنش خشکی نسبت به گیاهان بدون قارچ شده است. در نتایج این آزمایش نیز تیمارهای بدون مصرف قارچ کم‌ترین رشد رویشی را به خود اختصاص دادند (جدول ۱).

سطح برگ

سطح برگ رقم فونتانه ۲/۵ برابر رقم آگریا بود که در سطح پنج درصد معنی دار بود. سطح برگ در تیمار تنش نیز با کاهش معنی دار ۲۸ درصدی، به ۱۴۰۷ سانتی‌متر مربع رسید. در بین قارچ‌ها، گونه‌های *G. mosseae* و *G. fasciculatum* به ترتیب با ۱۴۶۴ و ۱۴۰۷ سانتی‌متر مربع بالاترین مقدار سطح برگ را به خود اختصاص دادند و تیمار شاهد با ۹۴۵ سانتی‌متر مربع کم‌ترین سطح برگ را دارا بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نیز داشت (جدول ۱).

کاهش رشد و توسعه‌ی سلول به‌خصوص در ساقه و برگ‌هاست. رشد سلول حساس‌ترین فرآیندی است که به‌وسیله‌ی تنش آبی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با کاهش رشد سلول اندازه‌ی اندام محدود می‌شود، به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاهان را می‌توان از روی اندازه‌ی کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (Hsiao, 1973). گزارش شده است که تنش رطوبتی مانع رشد و طول‌شدن ساقه سیب‌زمینی می‌گردد (Khorshidi Benam et al, 2001). Liu et al, 2004 گزارش کردند که رشد رویشی گیاه سویا در شرایط خشکی تیمار با قارچ‌های میکوریزایی نسبت به گیاهان بدون تیمار بیش‌تر می‌باشد. هم‌زیستی میکوریزایی اغلب منجر به تغییر سرعت حرکت آب در خارج و داخل گیاهان میزبان شده و روی ارتفاع گیاه تأثیر دارد که با نتایج این آزمایش هم مطابق بود (Auge, 2001). بنابر گزارش Gupta et al, 2002 نیز تلقیح گیاه نعنای (*Mentha arvensis*) با قارچ میکوریزایی به‌طور قابل‌توجهی ارتفاع بوته را افزایش داد. Cruz and Husain, 2008 گزارش کردند که



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریزایی و رقم‌های سیب‌زمینی بر سطح برگ گیاه در شرایط تنش خشکی

میل‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 3- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and potato cultivars on leaf area in drought stress

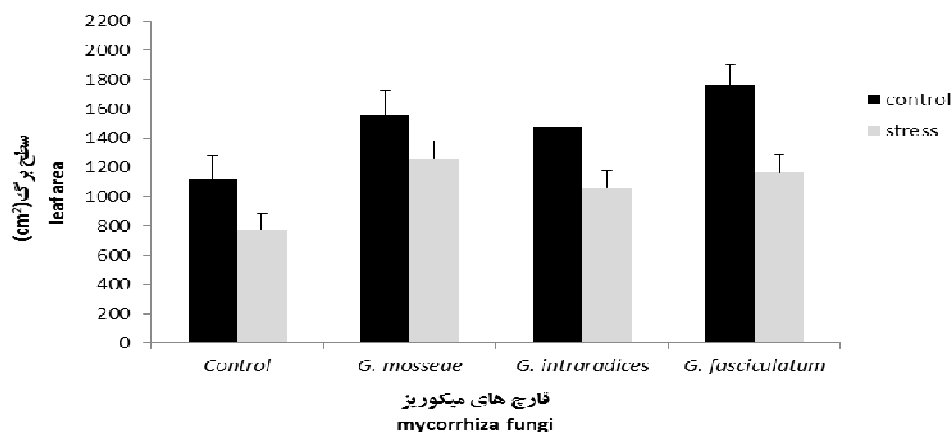
The bars of each column indicates standard errors.

را دارا بود اما قارچ *G. mosseae* توانست در تیمار تنش خشکی با ۱۲۵۸ سانتی‌متر مربع سطح برگ بالاتری را داشته باشد (شکل ۴). کاهش رشد سلول‌ها در اثر کم‌آبی، در درجه‌ی اول باعث کاهش رشد برگ می‌گردد. به‌علاوه در شرایط کم‌آبی جذب مواد و عناصر غذایی نیز کاهش یافته و بنابراین رشد و توسعه‌ی برگ‌ها محدود می‌شود. با کاهش سطح برگ، گیاه آب کمتری را از طریق تعرق از دست می‌دهد، بنابراین محدود شدن سطح برگ را می‌توان به‌عنوان اولین سازوکار دفاعی گیاه در برابر خشکی در نظر گرفت (Blum,

اثر متقابل بین رقم و قارچ نیز نشان داد که در رقم فونتانه بین سه گونه قارچ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما تیمار شاهد با آن‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود. در رقم آگریا نیز این روند صادق بود با این تفاوت که در این رقم تیمار شاهد ۲۴ درصد و در رقم آگریا ۶۳ درصد نسبت به بالاترین تیمار قارچی کاهش نشان دادند (شکل ۳). اثرات متقابل تنش خشکی و قارچ نشان داد که در دو سطح تنش خشکی بین تمامی قارچ‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت. گونه *G. fasciculatum* در تیمار شاهد با ۱۷۶۴ سانتی‌متر بالاترین سطح برگ

در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریز را می توان به افزایش سطح جذب عناصر غذایی نسبت داد (Harris, and Paul, 1987). طبق گزارش Demir, 2005 همزیستی با قارچ *G. intraradices* در گیاه فلفل (*Capsicum annuum*) منجر به افزایش سطح برگ و میزان آبگیری بیش تر برگها شد. در تحقیق حاضر نیز همزیستی با قارچ میکوریز سطح برگ را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش افزایش داد.

(1996). کاهش اندازه برگ از اولین تأثیرات تنش خشکی در سیبزمینی است (Shahnazari et al, 2007). کمبود آب تأثیر اندکی بر زمان ظهور برگ دارد اما به صورت قابل توجهی کل سطح برگ را از طریق کاهش گسترش و افزایش سرعت پیری برگ ها کاهش می دهد. همزیستی با قارچ های میکوریز می تواند میزان فتوسنتز را از طریق تغییرات مورفولوژیکی از قبیل افزایش در شاخص سطح برگ افزایش دهد (Blum, 1996). افزایش معنی دار سطح برگ



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ های میکوریزی و تنش خشکی بر سطح برگ گیاه در بوته سیبزمینی در شرایط تنش خشکی میله های روی هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 4- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and drought stress on leaf area in drought stress The bars of each column indicates standard errors.

می افزاید (Lu et al, 2002). گزارش شده است که در مقایسه با بسیاری از گیاهان زراعی دیگر بسته شدن روزنه های برگ سیبزمینی در مقدار کمتر پتانسیل ماتریک خاک رخ می دهد (Sadras and Milroy, 1996). Rahimian et al, 2000 توت فرنگی های (*Fragaria sp*) میکوریزی و غیرمیکوریزی را در شرایط تنش خشکی و شاهد قرار داده و مشاهده کردند که نسبت F_v/F_m بین گیاهان تیمار شده و تیمار نشده با قارچ در تیمار شاهد اختلاف معنی داری وجود نداشت، اما در تیمار تنش خشکی گیاهانی که با قارچ تیمار شده بودند ۸۳ درصد کارایی فتوشیمیایی بالاتری نسبت به تیمار بدون قارچ داشتند. در آزمایش حاضر نیز می توان ماهیت لحظه ای این پدیده و تغییرات سریع نسبت F_v/F_m را در عدم معنی داری بین تیمارها مؤثر دانست.

عدد اسپد

عدد اسپد در رقم آگریا ۱۰ درصد بیش تر از رقم فوتانه بود که این

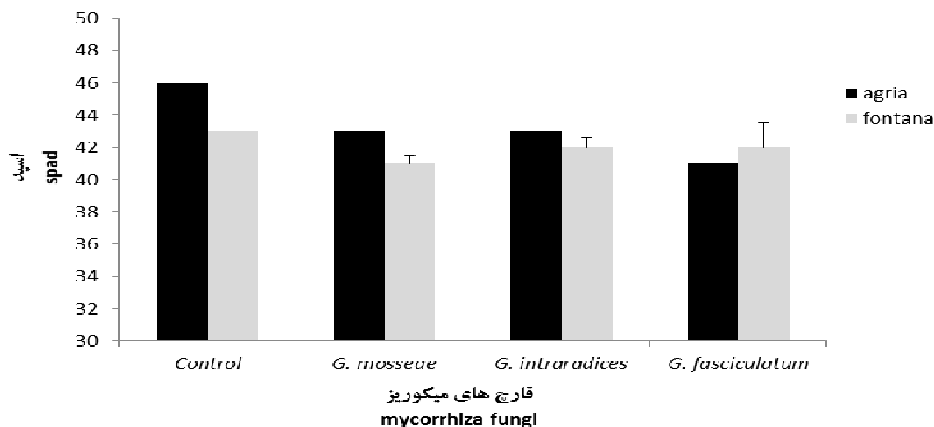
فلورسانس کلروفیل

نتایج نشان داد که عملکرد فلورسانس کلروفیل در رقم فوتانه نسبت به آگریا ۲ درصد افزایش داشت که این مقدار معنی دار بود. در بین سطوح تنش خشکی و شاهد با وجود بیش تر بودن عملکرد فلورسانس کلروفیل در تیمار شاهد نسبت به تنش خشکی اختلاف معنی داری بین دو سطح وجود نداشت. اختلاف در عملکرد فلورسانس کلروفیل قارچ های میکوریزی و اثرات متقابل آن ها (داده ها نشان داده نشدند) با سایر تیمارها نیز معنی دار نبود در حالی که گونه *G. fasciculatum* بیش ترین عملکرد فلورسانس کلروفیل را به خود اختصاص داده بود (جدول ۱).

Basu et al, 1998 بیان کردند که به دلیل کاهش میزان فتوسنتز و افزایش دمای کانوپی عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش می یابد. درحقیقت راندمان شیمیایی فتوسیستم II به شدت تحت تأثیر میزان محتوی نسبی آب برگ قرار دارد (Cornic and Briantais, 1991). تأثیر خشکی بر فتوسیستم II موجب خسارت به واکنش های فتوشیمیایی شده و بر میزان بازدارندگی انتقال الکترون

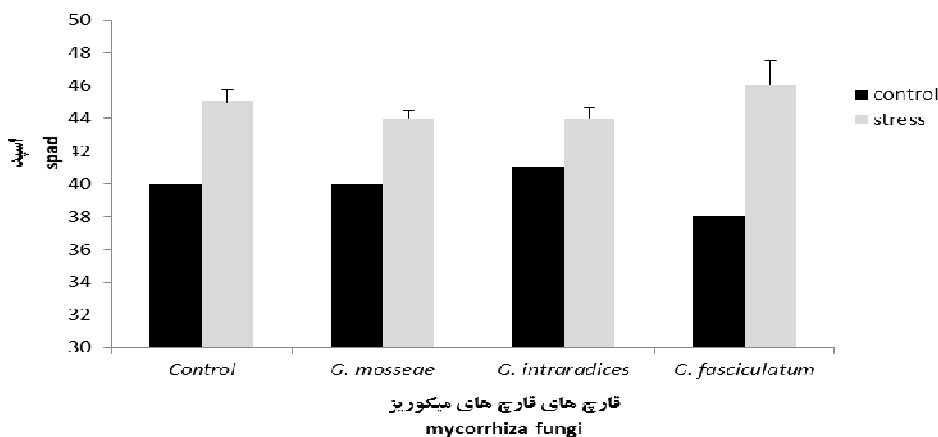
معنی‌داری مشاهده نشد با وجودی که تیمار بدون کاربرد قارچ با عدد اسپد ۴۴ بالاترین مقدار را داشت (جدول ۱).

اختلاف معنی‌دار بود. همین مقدار اختلاف معنی‌دار نیز در بین تیمارهای شاهد و تنش خشکی دیده شد که تیمار تنش خشکی مقدار بیش‌تری داشت. اما در بین قارچ‌ها از نظر این صفت تفاوت



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریزایی و رقم‌های سیب‌زمینی بر عدد اسپد گیاه در شرایط تنش خشکی میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 5- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and potato cultivars on spad number in drought stress
The bars of each column indicates standard errors.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریز و تنش خشکی بر عدد اسپد سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 6- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and drought stress on plant spad number in drought stress
The bars of each column indicates standard errors.

تنش خشکی و شاهد بیش‌تر از سایر تیمارها بود. به‌طوری‌که عدد اسپد از ۴۶ در تیمار تنش خشکی به ۳۶ در تیمار شاهد این قارچ رسید. در بین سایر قارچ‌ها در دو سطح تنش و شاهد اختلافات تقریباً یکسان بود (شکل ۶).

عدد کلروفیل متر (اسپد) یک معیار کمی را از میزان تشعشع فعال

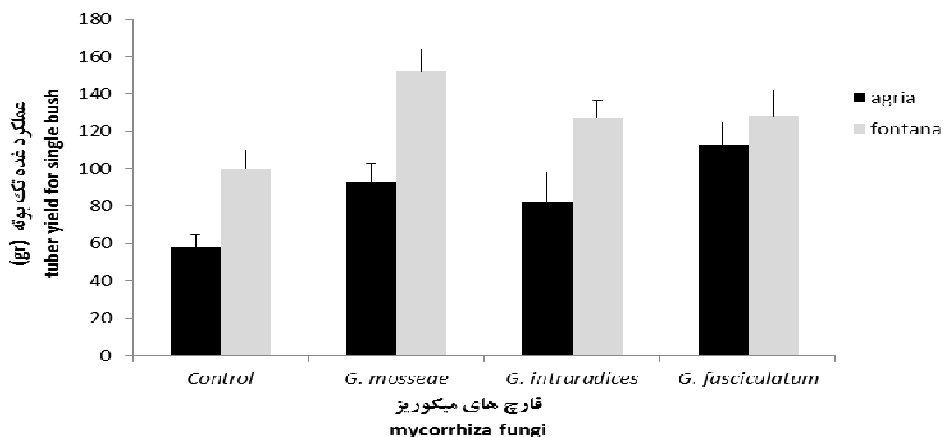
اثر متقابل رقم‌های سیب‌زمینی و قارچ‌ها بر عدد اسپد نشان داد که بالاترین مقدار در تیمار عدم کاربرد قارچ در هر دو رقم سیب‌زمینی مشاهده شد که در رقم آگریا این مقدار ۴۶ بود که با تیمارهای رقم فونتانه تفاوت داشت (شکل ۵). تنش خشکی نیز سبب افزایش عدد اسپد شد اختلاف این صفت در گونه *G. fasciculatum* در دو سطح

رنگ برگ رخ داده است. در تیمار بدون مصرف قارچ نیز ممکن است تأثیر تنش خشکی بیش‌تر از سایر تیمارها بوده و در نتیجه کلروفیل متر عدد بالاتری را نشان داده است.

عملکرد غده در تک بوته

از نظر وزن غده‌های تولید شده بین ارقام آگریا و فونتانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت. رقم فونتانه با میانگین تولید ۱۲۹ گرم در هر بوته نسبت به رقم آگریا ۳۶ درصد افزایش تولید داشت. همین اختلاف در تیمار شاهد و تنش خشکی مشاهده شد. در بین گونه‌های مختلف قارچ نیز *G. fasciculatum* و *G. mosseae* به ترتیب با ۱۲۰ و ۱۲۳ گرم وزن غده با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشتند و تیمار بدون کاربرد قارچ با ۷۵ گرم تولید کم‌ترین مقدار را دارا بود (جدول ۱).

جذب شده توسط برگ به دست می‌دهد که به میزان غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ بستگی دارد. این شاخص به‌طور گسترده توسط محققان برای تخمین غلظت کلروفیل در گیاهان مختلف استفاده می‌گردد (Sairam et al, 2002). زیرا همبستگی مثبتی بین عدد کلروفیل متر و غلظت و تراکم کلروفیل در سطح برگ گزارش شده است (Songsri et al, 2009). نتایج آزمایش Oneill et al, 2006 نیز نشان داد که مقدار عدد کلروفیل متر در شرایط تنش رطوبتی به‌صورت معنی‌داری کمتر از تیمار آبیاری کامل بود. در مقابل Khazaei, 2003 بیان کرد که تنش خشکی در کل فصل رشد موجب افزایش عدد کلروفیل متر نسبت به تیمار شاهد در گندم شد. Al-Karaki et al, 2004 بیان کردند که قارچ‌های میکوریز می‌توانند غلظت کلروفیل را در تنش‌های زیستی و غیرزیستی افزایش و تحمل گیاه را زیاد نمایند. بنظر می‌رسد افزایش عدد اسپد در این آزمایش دلیل کاهش سطح برگ و افزایش ضخامت و در نتیجه تیره تر شدن



شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریزایی و رقم‌های سیب‌زمینی بر عملکرد غده در تک بوته در شرایط تنش خشکی

میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 7- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and potato cultivars on tuber yield for single bush in drought stress

The bars of each column indicates standard errors.

مشاهده نشد، اما در تیمار شاهد این رقم کم‌ترین مقدار و با سایر تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری داشت. بیش‌ترین اختلاف در بین سطوح تنش در قارچ *G. intraradices* مشاهده شد که در این قارچ تیمار شاهد نسبت به تنش خشکی ۴۴ درصد افزایش عملکرد داشت (شکل ۸).

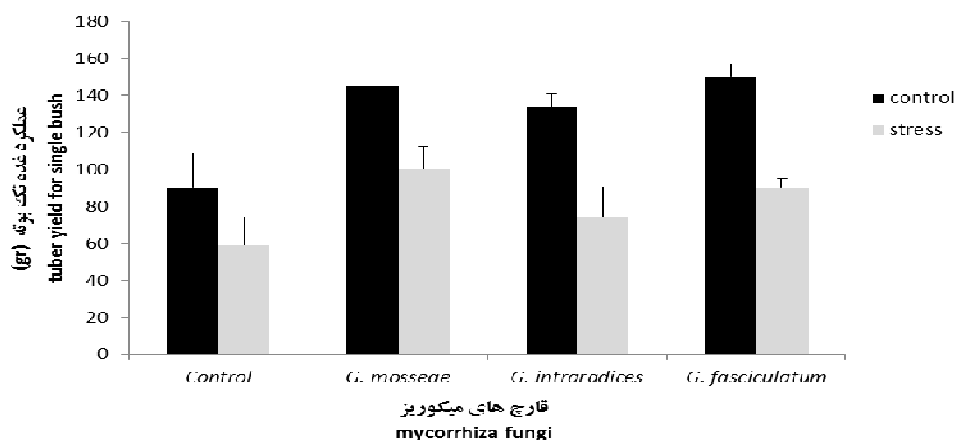
اثرات متقابل سه‌گانه بر عملکرد غده نشان داد که در رقم آگریا و در تیمار شاهد هر سه گونه قارچ نسبت به تیمار بدون قارچ تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۲). اما در همین رقم و تیمار تنش دو گونه *G. fasciculatum* و *G. mosseae* نسبت به دو تیمار دیگر از

اثر متقابل رقم و قارچ بر عملکرد غده در تک بوته نشان داد که در رقم فونتانه *G. mosseae* و در رقم آگریا *G. fasciculatum* به ترتیب با ۱۵۲ و ۱۱۳ گرم بیش‌ترین عملکرد غده در تک بوته را داشتند، در حالی که این اختلاف با سایر تیمارهای هر کدام از رقم‌ها معنی‌دار بود. قارچ *G. fasciculatum* توانست در هر دو رقم سیب‌زمینی تولید بالایی داشته باشد و در این قارچ اختلاف معنی‌داری بین دو رقم سیب‌زمینی وجود نداشت (شکل ۷).

اثر متقابل قارچ و تنش نشان داد که در رقم فونتانه و در بین تیمارهای میکوریزایی اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد تک‌بوته

گونه قارچ در شرایط تنش نیز بالاترین عملکرد غده را در رقم فونتانه داشت (جدول ۲).

عملکرد غده بالاتری بر خوردار بودند. قارچ *G. mosseae* در تیمار شاهد رقم فونتانه بیشترین عملکرد غده را در بین تمامی تیمارها با ۱۷۷ گرم داشت که با تیمار شاهد اختلاف معنی داری داشت. این



شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریزایی و تنش خشکی بر عملکرد تک بوته سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 8- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and drought stress on potato single-bush yield in drought stress
The bars of each column indicates standard errors.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریزایی، رقم‌های سیب‌زمینی و تنش خشکی بر عملکرد تک بوته سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی

Table 2- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi, potato cultivars and drought stress on potato single-bush yield in drought stress

تیمارها treatments	اگریا Agria		فونتانه Fontana	
	شاهد (S ₁) control	تنش (S ₂) stress	شاهد (S ₁) control	تنش (S ₂) stress
No fungi	50	26	130	91
<i>G. mosseae</i>	114	73	177	126
<i>G. intraradices</i>	124	39	144	109
<i>G. fasciculatum</i>	138	88	162	92
LSD	32			

مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.
The averages comparison due to LSD test in 5% level.

میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی بعد از تنش خشکی سریع‌تر به حالت اولیه برمی‌گردد (Ruiz-lozano and Azcon, 1996). Kijkar, 1991. تولید ماده خشک بیش‌تر در گیاهان میکوریزایی را در نتیجه جذب فسفر دانسته و اظهار داشت که جذب رطوبت بالاتر توسط میکوریز و حفظ پتانسیل آب برگ بیش‌تر نیز ممکن است بر رشد رویشی تأثیرگذار باشد. Auge, 2004 بیان کرد

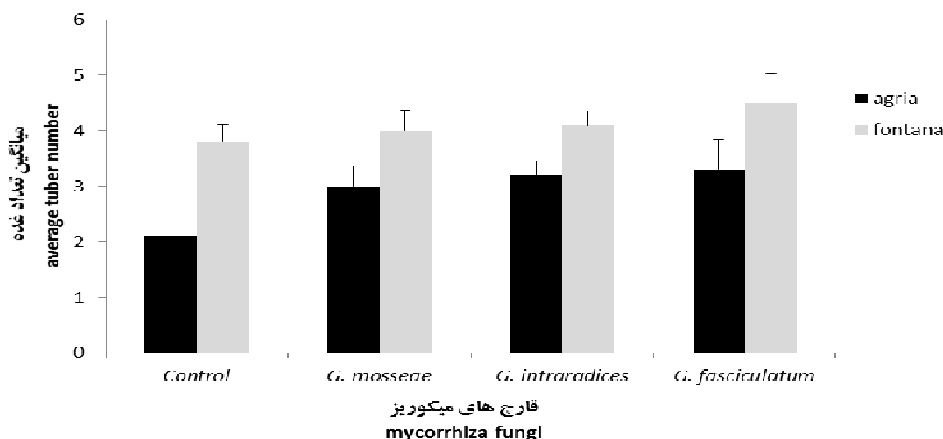
Dasgan et al, 2008 ضمن بررسی هم‌ریستی قارچ *G. fasciculatum* با گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) بیان کردند که در این تیمار عملکرد میوه نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد قارچ) افزایش معنی‌داری داشت. هم‌ریستی میکوریزایی معمولاً کاهش در میزان پتانسیل آب برگ را در طول تنش خشکی به تعویق می‌اندازد (Auge, 2001). هم‌چنین پتانسیل آب برگ گیاهان

مشاهده شد (جدول ۱).

میانگین تعداد غده در بوته

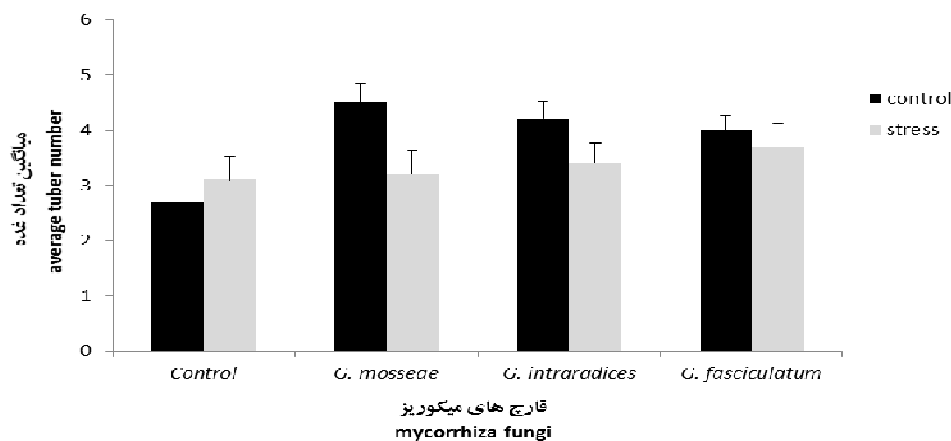
رقم فونتانه با میانگین چهار غده در بوته نسبت به رقم آگریا دارای اختلاف معنی دار بود. تیمار شاهد نیز با میانگین چهار غده در بوته و ۲۰ درصد افزایش نسبت به تیمار تنش خشکی با آن اختلاف معنی دار داشت اما بین گونه‌های مختلف قارچ میکوریز اختلاف معنی داری از نظر تعداد غده‌ها مشاهده نشد (جدول ۱).

که میکوریز احتمالاً از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل کردن سیستم ریشه‌ای گیاه و افزایش سطح جذب از طریق ریشه‌های قارچ میزان آب بیش‌تری جذب کرده و باعث بهبود روابط آبی گیاه میزبان می‌شود. طبق نظر Wu *et al*, 2007 تجمع یون‌ها و مولکول‌های آلی در واکوئل برگ سلول‌های تحت تنش خشکی در گیاهان میکوریز بیش‌تر انجام می‌شود و باعث کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌های برگ و در نتیجه بهتر شدن کارایی فتوسنتزی آن‌ها می‌گردد. در این آزمایش نیز کاربرد قارچ‌ها توانستند عملکرد را نسبت به تیمار بدون مصرف قارچ افزایش دهند. این افزایش عملکرد در کاربرد قارچ در تنش خشکی نیز



شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریز و رقم‌های سیبزمینی بر میانگین تعداد غده در بوته در شرایط تنش خشکی میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 9- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and potato cultivars on average tuber number in a bush in drought stress
The bars of each column indicates standard errors.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریز و تنش خشکی بر میانگین تعداد غده سیبزمینی در بوته در شرایط تنش خشکی میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

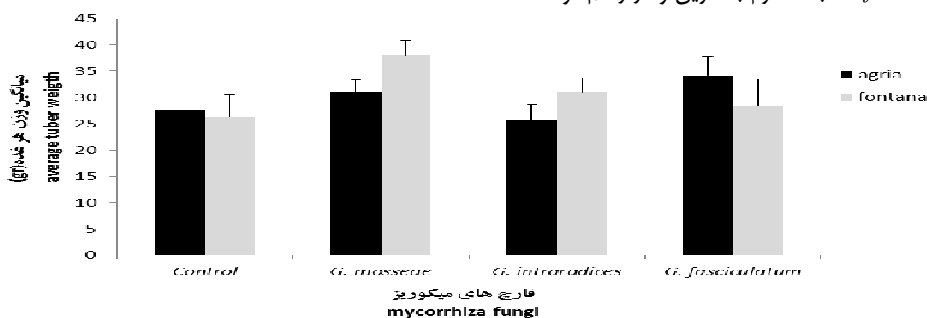
Figure 10- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and drought stress on average tuber number in a bush in drought stress
The bars of each column indicates standard errors.

قارچ *G. mosseae* با ۳۸ گرم بیشترین وزن تک غده را داشتند، اما این افزایش وزن در دو رقم فقط با تیمارهای شاهد و قارچ *G. intraradices* در رقم آگریا تفاوت معنی دار داشت (شکل ۱۱). اثر متقابل تنش خشکی و قارچ نیز نشان داد که در تیمار شاهد بین قارچها تفاوت معنی داری از نظر این صفت وجود نداشت، اما در تیمار تنش قارچ *G. mosseae* با سه تیمار دیگر تفاوت معنی داری را نشان داد (شکل ۱۲).

Yuan *et al*, 2003 اثرات رژیمهای مختلف آبیاری را بر رشد محصول سیبزمینی در آبیاری قطره‌ای بررسی کردند و نتیجه گرفتند که افزایش آب نه تنها تعداد غده‌ها را افزایش داد، بلکه باعث افزایش متوسط وزن غده‌ها نیز شد. در آزمایشی دیگر که به تأثیر قارچ *G. mosseae* روی سیبزمینی پرداخته بودند، مشاهده کردند که افزایش مقاومت به پاتوژن‌ها در گیاهان تیمار شده زیاد شد؛ در نتیجه عملکرد سیبزمینی به میزان کمتری کاهش یافت و این قارچ به همراه گونه *G. vesiforme* با تأثیر بر عملکرد سیبزمینی سبب افزایش وزن مینی تیوبرهای تولیدی شد (Cheng *et al*, 2008).

وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی سیبزمینی در تمامی تیمارهای رقم، قارچ و تنش اختلاف معنی داری با یکدیگر داشت. رقم فونتانه نسبت به آگریا ۴۰ درصد وزن خشک اندام هوایی بالاتری داشت. این افزایش در تیمار شاهد نسبت به تنش خشکی ۲۱ درصد بود. در بین قارچها دو گونه *G. fasciculatum* و *G. intraradices* در حالی با یکدیگر اختلاف معنی دار نداشتند که بالاترین وزن خشک اندام هوایی را نسبت به سایر گونه‌های مورد مطالعه دارا بودند. تیمار بدون مصرف قارچ نیز نسبت به این دو سطح قارچ ۴۵ درصد کاهش در وزن خشک اندام هوایی داشت (جدول ۱).



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریز و رقم‌های سیبزمینی بر میانگین وزن هر غده در شرایط تنش خشکی میلیه‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 11- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and potato cultivars on average tuber weight in drought stress

The bars of each column indicates standard errors.

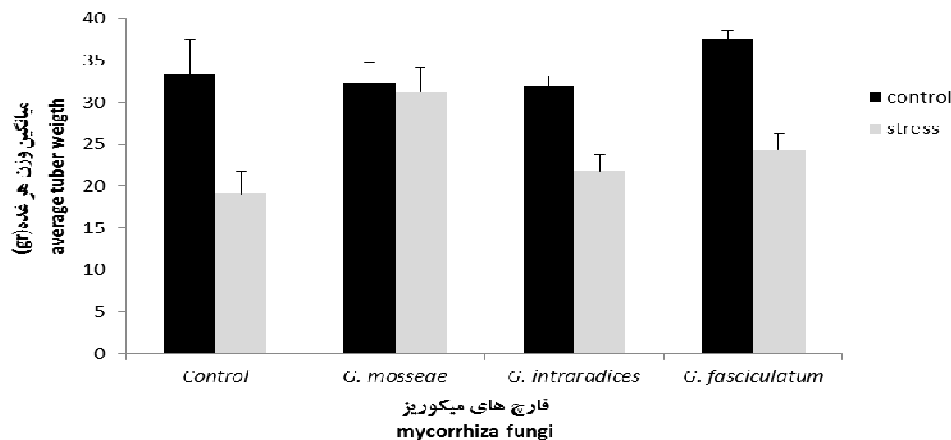
تعداد غده در بوته در تیمار شاهد رقم آگریا با میانگین ۲/۲ کمتر از سایر تیمارها بود و تنها با سه تیمار قارچ به کار رفته در رقم فونتانه اختلاف معنی دار داشت. در بین سایر تیمارها اختلاف معنی داری از نظر این صفت وجود نداشت (شکل ۹). در تیمار شاهد قارچ *G. mosseae* بالاترین میانگین تعداد غده در بوته را داشت و با تیمارهای شاهد و تنش که قارچ به کار نرفته بود، تفاوت معنی دار داشت. در بین سایر تیمارها تفاوت معنی داری در دو سطح شاهد و تنش خشکی مشاهده نشد (شکل ۱۰).

به نظر می‌رسد که گیاهان میکوریزی در شرایط تنش مکانسیم‌های حفاظتی فعال‌تری را نسبت به گیاهان غیر میکوریزی در همین شرایط دارا می‌باشد که به عقیده Liu *et al*, 1999 دلیل آن کمتر بودن غلظت‌های آسسیزیک‌اسید در شیرهی خام و افزایش هورمون‌های ایندول اسیداستیک و جیبرلین است. در مطالعه‌ای که روی سویا گزارش شد که قارچ *G. intraradices* در ریشه گیاه سویا سبب تولید پیام‌هایی شده و این پیام‌ها کلسیم درون سلولی را به‌عنوان یک پیامبر ثانویه فعال کرده و سبب افزایش آنتی اکسیدانت‌ها و مقاومت به تنش اکسیداتیو شدند (Lorella *et al*, 2007).

میانگین وزن تک غده

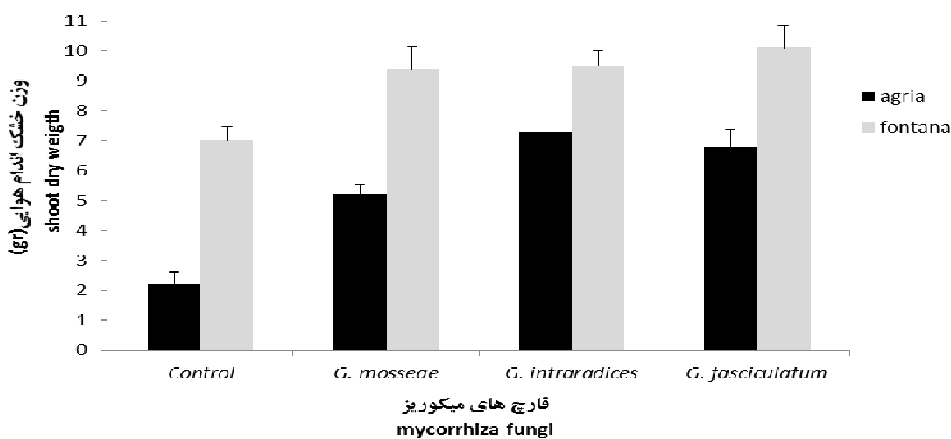
از نظر میانگین وزن تک غده در بین دو رقم آگریا و فونتانه اختلاف معنی داری مشاهده نشد. اما در تیمار تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد ۲۵ درصد کاهش در وزن تک غده مشاهده شد که معنی دار بود. در بین قارچها *G. fasciculatum* و *G. mosseae* به ترتیب با ۳۵ و ۳۲ گرم بالاترین و تیمار بدون مصرف قارچ با ۲۴ گرم کم‌ترین وزن تک غده را به خود اختصاص دادند. تیمار شاهد با سایر قارچها اختلاف معنی دار داشت (جدول ۱).

اثر متقابل رقم و قارچ از نظر وزن تک غده نشان داد که در رقم آگریا قارچ *G. fasciculatum* با ۳۴ گرم بالاترین و در رقم فونتانه



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریز و تنش خشکی بر میانگین وزن هر غده سیبزمینی در شرایط تنش خشکی میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 12- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and drought stress on average tuber weight in drought stress
The bars of each column indicates standard errors.

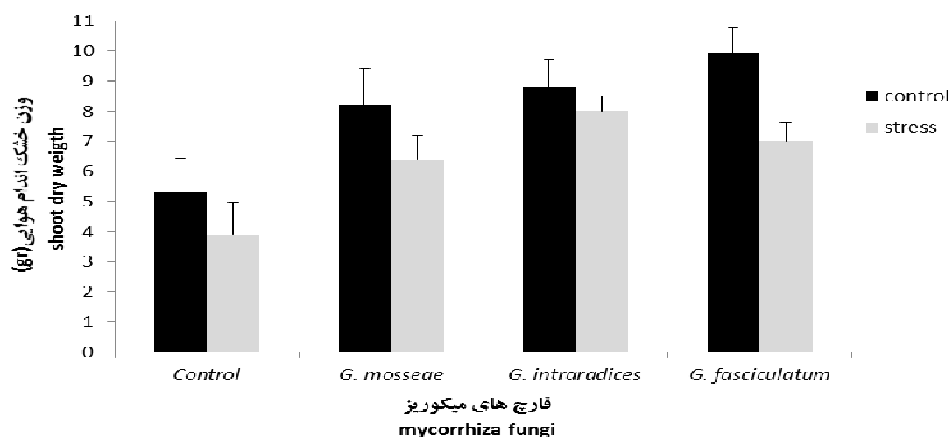


شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریز و رقم‌های سیبزمینی بر وزن خشک اندام هوایی تک بوته در شرایط تنش خشکی میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 13- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and potato cultivars on shoot dry weight of single-bush in drought stress
The bars of each column indicates standard errors.

اثر متقابل قارچ و تنش خشکی نشان داد که کاربرد قارچ در هر دو سطح تنش و شاهد توانست وزن خشک گیاه را نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد که این افزایش معنی‌دار بود. اختلاف در وزن خشک بین دو سطح شاهد و تنش خشکی در قارچ *G. fasciculatum* بیش‌تر از تیمارهای دیگر بود. در تنش خشکی بهترین قارچ از نظر وزن خشک اندام هوایی گونه *G. intraradices* بود (شکل ۱۴).

اثر متقابل رقم و قارچ از نظر وزن خشک اندام هوایی نشان داد که در رقم فونتانه تیمارهایی که قارچ میکوریز به‌کار رفته بود، بالاترین وزن خشک اندام هوایی را داشتند و تمامی آن‌ها با تیمار شاهد این رقم اختلاف معنی‌دار داشتند. در رقم آگریا نیز تیمارهای قارچی نسبت به عدم مصرف قارچ تفاوت معنی‌دار داشتند؛ تنها با این تفاوت که در رقم آگریا قارچ *G. intraradices* توانست با ۷/۳ گرم وزن خشک اندام هوایی بالاترین مقدار را داشته باشد. این وضعیت در رقم فونتانه متعلق به *G. fasciculatum* بود (شکل ۱۳).



شکل ۱۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریز و تنش خشکی بر وزن خشک اندام هوایی سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی میله‌های روی هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

Figure 14- Comparing the average interaction of mycorrhizal fungi and drought stress on shoot dry weight of potato in drought stress

The bars of each column indicates standard errors.

بیوماس را در گیاهان میزبان پیاز (*Allium cepa*)، گشنیز و ریحان (*Ocimum basilicum*) افزایش داد (Basu and Srivastava, 1998).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که رقم آگریا ارتفاع و عدد اسپد بیش‌تری نسبت به رقم فونتانه داشت. در مقابل رقم فونتانه توانست عملکرد غده، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و تعداد غده بیش‌تری داشته باشد. تنش خشکی به‌جز در فلورسانس کلروفیل در سایر تیمارها سبب کاهش معنی‌دار در صفات شد. کاربرد قارچ‌های میکوریزایی توانست مقدار عملکرد، سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی را افزایش دهد، اما روی تعداد غده‌ها تأثیر نداشت. *G. fasciculatum* نسبت به سایر گونه‌های قارچ تأثیر بهتری بر صفات مورد مطالعه در این آزمایش داشت. به‌نظر می‌رسد کاربرد گونه‌های مختلف قارچ میکوریزایی می‌تواند عملکرد گیاه سیب‌زمینی را در شرایط مطلوب و تنش افزایش داد.

Al-Karaki, 1998 نشان داد که در گیاهان گندم میکوریزایی کارایی مصرف آب بیش‌تر از گیاهان غیرمیکوریزی است. صرف‌نظر از رطوبت خاک، گیاهان میکوریزی وزن خشک ریشه و بخش هوایی بیش‌تری نسبت به گیاهان شاهد داشتند. با کاهش رطوبت خاک میزان هر دو متغیر کاهش یافت، ولی در گیاهان میکوریزی میزان این کاهش، کمتر بود. Vamerali *et al*, 2003 گزارش نمودند که افزایش ماده‌ی خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی ذرت تلقیح شده با میکوریز در مقایسه با شاهد، ناشی از افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی و هم‌چنین افزایش فتوسنتز می‌باشد. در مطالعه دیگری ملاحظه گردید که تلقیح ریشه‌های شوید (*Anethum graveolens*) و زنیان (*Trachyspermum*) با دو گونه قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی آن‌ها شد (Kapoor *et al*, 2002a). نتایج مطالعه روی گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum*) نیز نشان داد که قارچ میکوریز، سبب افزایش عملکرد بیولوژیک و درصد اسانس در گیاه گشنیز شده است (Kapoor *et al*, 2002b). در بررسی دیگری نشان داده شده که مخلوط قارچ‌های *G. mosseae* و *G. fasciculatum* میزان رشد و

References

1. Al-Karaki, G.N. 1998. Benefit, cost and water-use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. *Mycorrhiza* 8(1): 41-45.
2. Al-Karaki, G.N. and Hammad, R. 2001. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. *Journal of plant nutrition* 24(8):1311-1323.

3. Augé, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11(1): 3-42.
4. Augé, R.M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science* 84(4): 373-381.
5. Basu, M. and Srivastava, N.K. 1998. Root endophytes in medicinal plants, their population and effect. In Abstract: 7th International Congress of Plant Pathology, Edinburgh, Scotland, 9-16 August.
6. Basu, P.S., Sharma, A. and Sukumaran, N.P. 1998. Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress. *Photosynthetica* 35(1): 13-19.
7. Belhassen, E. ed. 1997. Drought tolerance in higher plants: genetical, physiological and molecular biological analysis. Kluwer.
8. Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation* 20(2): 135-148.
9. Cheng, Y., Bai, D., Sun, L., Feldmann, F. and Feng, G. 2008. Utilization of arbuscular mycorrhizal fungi during production of micropropagated potato *Solanum tuberosum*. In Mycorrhiza works: Proceedings of the International Symposium "Mycorrhiza for Plant Vitality" and the Joint Meeting for Working Groups 1-4 of COST Action 870, Hannover, Germany, 3-5 October, 2007 (pp. 165-178). DPG Selbstverlag.
10. Cornic, G. and Briantais, J.M. 1991. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO₂ and O₂ reduction in a C₃ leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO₂ concentrations and during drought stress. *Planta* 183(2): 178-184.
11. Dasgan, H.Y., Kusvuran, S. and Ortas, I. 2008. Responses of soilless grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in re-cycling and open systems. *African Journal of Biotechnology* 7(20): 3606-3613.
12. Demir, S. 2005. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*, 28(2-4), pp.85-90.
13. Al-Karaki, G., McMichael, B.Z.A.K.J. and Zak, J. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14(4): 263-269.
14. Gupta, M. L., Prasad, A., Ram, M. and Kumar, S. 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology* 81(1): 77-79.
15. Hanson, A.D. and Hitz, W.D. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Physiology* 33(1): 163-203.
16. Harris, D. and Paul, E.A. 1987. Carbon requirements of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Ecophysiology of VA Mycorrhiza Plants*. CRC Press, Boca Raton, USA, 224p.
17. Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual review of plant physiology*, 24(1), pp.519-570.
18. Cruz, R.E.D. and Husain, T. 2008. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. *The Pakistan Journal of Botany* 40(5): 2217-2224.
19. Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G. 2002a. Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to enhance the concentration and quality of essential oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82(4): 339-342.
20. Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G. 2002b. *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in Dill (*Anethum graveolens* L.) and Carum (*Trachyspermum ammi* (Linn.) Sprague). *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 18(5): 459-463.
21. Khazaei, M. 2003. Effect of drought stress on yield and physiological features of tolerant wheat cultivars and introducing the most suitable indicators of drought stress. Ph.D. thesis of farming. Agriculture College. Ferdowsi University of Mashhad.
22. Khorshidi Benam, M. B. Khoei, F. Mirhadi, M.J. and Nourmohammadi, Q. 2001. Studying the effect of drought stress in different growth stages of potato. *Journal of national agriculture science* 4(1): 48-58.
23. Kijkar, S. 1991. Producing rooted cuttings of *Eucalyptus camaldulensis*. ASEAN-Canada Forest Tree Seed Centre Project. Thailand.
24. King, B., Stark, J. and Love, S. 2003. Potato production with limited water supplies. The Idaho Center for Potato Research and Education, ID, USA. Available in <http://goo.gl/J5fkjQ>.
25. Kouchaki, A. 1988. Aspects of drought stress in Sorghum. *Journal of agricultural science and industries* 2(2): 77-81.
26. Liu, F., Jensen, C.R. and Andersen, M.N. 2004. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set. *Field crops research* 86(1): 1-13.
27. Liu, R., Li, M., Meng, X., Liu, X. and Li, X. 1999. Effects of AM fungi on endogenous hormones in corn and cotton plants. *Mycosystema* 19(1): 91-96.
28. Lorella, N., Moscatiello, R., Genre, A., Novero, M., Baldan, B., Bonfante, P. and Mariani, P. 2007. The arbuscular

- mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* induces intracellular calcium changes in soybean cells. *Caryologia* 60 (1-2): 137-140.
29. Lu, Q., Lu, C., Zhang, J. and Kuang, T. 2002. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence during flag leaf senescence of field-grown wheat plants. *Journal of Plant Physiology* 159(11): 1173-1178.
 30. Malakouti, M.J., Moshiri, F. and Ghaibi, M.N. 2005. Optimum Levels of Nutrients in Soil and Some Agronomic and Horticultural Crops. Soil and Water Research Institute. Technical Bulletin, p.405.
 31. Nadler, A. and Heuer, B. 1995. Effect of saline irrigation and water deficit on tuber quality. *Potato Research* 38(1): 119-123.
 32. Onder, S., Caliskan, M.E., Onder, D. and Caliskan, S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. *Agricultural water management* 73(1): 73-86.
 33. O'Neill, P.M., Shanahan, J.F. and Schepers, J.S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Science* 46(2): 681-687.
 34. Opena, G.B. and Porter, G.A. 1999. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: II. Root growth. *Agronomy Journal* 91(3): 426-431.
 35. Rahimian, H. Kouchaki, A.R and Zand, A. 2000. Photosynthesis and production in various environmental conditions (translation). 1st pub. Tehran Parks & Green Space Organization.
 36. Rezaei, A.M and Soltani, A. 1996. Potato farming (translation). Mashhad Jahad Daneshgahi Publication. P 179.
 37. Ruiz-Lozano, J.M. and Azcón, R. 1996. Mycorrhizal colonization and drought stress as factors affecting nitrate reductase activity in lettuce plants. *Agriculture, ecosystems & environment* 60(2): 175-181.
 38. Sadras, V.O. and Milroy, S.P. 1996. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange: a review. *Field Crops Research* 47(2-3): 253-266.
 39. Sairam, R.K., Rao, K.V. and Srivastava, G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* 163(5): 1037-1046.
 40. Shahnazari, A. Liu, F., Andersen, M.N. Jacobsen, S.E. and Jensen, C.R. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research* 100(1): 117-124.
 41. Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. *India: Agrobios* 12: 319-324.
 42. Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology* 1(3): pp.44-48.
 43. Songsri, P., Jogloy, S. Holbrook, C.C. Kesmla, T. Vorasoot, N. Akkasaeng, C. and Patanothai, A. 2009. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. *Agricultural water management* 96(5): 790-798.
 44. Vamerali, T. Saccomani, M., Bona, S., Mosca, G. Guarise, M. and Ganis, A. 2003. A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. In *Roots: The Dynamic Interface between Plants and the Earth* Springer Netherlands. Pp: 157-167.
 45. Wu, Q.S. Xia, R.X. Zou, Y.N. and Wang, G.Y. 2007. Osmotic solute responses of mycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedlings to drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 29(6): 543-549.
 46. Yuan, B.Z. Nishiyama, S. and Kang, Y. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. *Agricultural water management* 63(3): 153-167.
 47. Zhang, X.H. SMITH, S.E. and SMITH, F.A. 2006. Effects of *Glomus mosseae* on the toxicity of heavy metals to *Vicia faba*. *Journal of Environmental Sciences* 18(4): 721-726.

Effect of Three Species of Mycorrhiza Inoculation on Yield and Some Physiological properties of Two Potato Cultivars under Drought Stress in Controlled Conditions

S. Khaninejad¹- H. R. Khazaie²- J. Nabati³- M. Kafi⁴

Received: 2013-05-21

Accepted: 2015-11-01

Introduction

In recent years, *rainfall* deficiency was an increasing problem in most countries; which limited the production of agricultural crops. Among abiotic stresses the plants encountered, drought stress is considered as the most important limiting factor in plants growth and reproduction in natural and agricultural systems through most parts of the world; while drought stress causes 45% increase in the crops among various stress making factors (biotic and abiotic). A suitable procedure for controlling drought stress in agriculture is making the symbiotic relation between plants and mycorrhizal fungi. Mycorrhizal fungi decrease the plant ability in absorbing nutrients, ion balance, keeping enzyme activity, increasing chlorophyll density and root-soil connection; they decline the hazards caused by stress and decrease the plant tolerance to biotic and abiotic stresses. Potato is one of the most valuable sources to provide human food in the developing countries and is one of the most productive crops, while its production is twofold to rice and wheat. Producing more than 5 million tones potato makes this crop as the first utilizable nutrient after wheat, in this country. Potato is sensitive to soil humidity caused by limited and low-deep root system.

Materials and Methods

Thus, an investigation was conducted to examine the effect of three of mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* and *Glomus fasciculatum*) on two potato cultivars (Agria and Fontana) under drought stress and control conditions, in factorial experiment based on complete randomize block with three repetitions in research greenhouse of Ferdowsi University in 2012. In control treatment, irrigating was done when field capacity got 80% and it was conducted to 100% field capacity. Stress treatment was done when the field capacity got 60% and continued to 80% field capacity. Fungus treatment was done with a 100g mixture of inoculum including mycorrhizal root sections of corn, soil and mycorrhizal active parts (spore and hyphae) provided by corn root during a four-month period, in root space.

Results and Discussion

The results indicated that Agria cultivar in higher than Fontana. The drought stress decreased bush height, totally fungi resulted in increasing bush height in both cultivars. However, leaf area of Fontana was more than Agria; drought stress decreased leaf area but using *Glomus fasciculatum* and *Glomus mosseae* fungi increased the plant height in both cultivars. Among the treatments, the effect of cultivar on chlorophyll fluorescence was significant and there was no significant difference with each other. Only the effect of cultivar on chlorophyll fluorescence was significant among the treatments and there was no significant difference among other treatments. The amount of Spad index in Agria was 10% more than Fontana. This parameter was observed much more in control treatment than fungal treatments; drought stress indicated higher spad. There was a significant difference between Agria and Fontana cultivars for tuber weight. Fontana increased the production to 36% by producing 129g tuber to Agria cultivar. This difference was observed in control treatment and drought stress. Among various cultivars, *Glomus fasciculatum* and *Glomus mosseae* were significantly different from other treatments with 120 and 123gr tuber, respectively; and control treatment contained the least one with a 75g tuber. The interaction of fungus and stress indicated that there was no significant difference in Fontana cultivar and in mycorrhizal treatments for single-bush yield; but in control treatment, this rate was the least and had significant

1- PhD. Student of Crop physiology Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Assistance Professor, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

4- Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: khazaie41@yahoo.com)

difference with other treatments. The most significant difference among stress levels was observed in *Glomus intraradices*; in this fungus, control treatment indicated 44% yield more than drought stress. Fontana indicated a significant difference to *Agria* cultivar for four tubers in a bush, averagely. Control treatment indicated a significant difference to drought stress for four tubers in a bush and 20% increase, but there was no significant difference among various mycorrhizal fungi for tuber numbers in a bush. Totally, *Glomus fasciculatum* affected the studied potato properties more positively than other species.

Keywords: *Agria*, Tuber number, Chlorophyll fluorescence, Fontana, Tuber weight