Archive of SID

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۵۷۴-۵۵۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 4, Winter. 2017, p. 558-574

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 درحال 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. دراین راستا مطالعه‌ای به‌منظور 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 به‌صورت 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 اگریا قارچ *G. fasciculatum* به‌ترتیب با ۱۷۷ و ۱۳۸ گرم وزن غده بالاترین عملکرد را به‌خود 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

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 تقریبا ۴۴/۷میلیون کیلومترمربع را شامل می‌شود. تقریبا ۹۰درصد مناطق خشک جهان در ۲۷کشور 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، به‌طوری‌که از بین عوامل مختلف ایجادکننده تنش (زنده و غیرزنده)، عامل خشکی به تنهایی مسبب ۴۵درصد 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 ۲۴۰میلی‌متر 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 به‌عنوان یک راهکار مفید در جهت کاهش و تعدیل هرچه

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

www.SID.ir

Archive of SID

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 می دهد. برگ‌های گیاهان میکوریزایی دارای مقاومت کمتری به انتشار بخار آب هستند و هم‌چنین سطح آن‌ها در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزایی افزایش نشان می دهد (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 سالیانه 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 به کمبود رطوبت خاک بسیار حساس می‌باشد این مورد به‌دلیل سیستم ریشه‌ای محدود و کم عمق آن می‌باشد، زیرا تقریباً ۸۵درصد 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 موجب کاهش عملکرد کل غده بدون‌توجه به شدت کمبود رطوبت خاک می‌گردد. بنابراین با توجه به اثرات تنش خشکی، این مطالعه با استفاده ازقارچ‌های 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*) به‌همراه تیمار شاهد (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 ۸۰درصد رسیده و آبیاری تا ۱۰۰درصد ظرفیت زراعی انجام می‌شد. تیمار تنش نیز هنگامی‌که ظرفیت زراعی به ۶۰درصد می‌رسید، آبیاری انجام شده و تا ظرفیت ۸۰درصد ادامه می‌یافت. گیاهچه‌های استفاده شده حاصل کشت مریستم 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 ۱۰کیلوگرمی در بستر خاک-شن به نسبت (۱-۲/۵) که به‌مدت ۳۰دقیقه در دمای ۱۲۱درجه 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 ۱۰۰گرم 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 ۱۳ساعت روشنایی و ۱۱ساعت تاریکی و دمای روز ۲±۳۰ و شب ۲±۲۶درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰درصد 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 درهزار) و مبارزه با شته و مگس سفید از متاسیستوکس (به نسبت یک در هزار) استفاده شد. پس از ۹۰روز گیاهان از سطح خاک برداشت شدند. قبل از برداشت ارتفاع هر بوته اندازه‌گیری شده و

1- Field Capacity

www.SID.ir

Archive of SID

محتوای نسبی کلروفیل بر اساس اِسپد (Mintola Reading SPAD-502, Japan) قرائت و میزان کلروفیل فلورسانس برگ با استفاده از دستگاه PAM-101-103.H. Walz. Effeltrich, Germany اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی اثر تنش خشکی برسیستم فتوسنتزی گیاه ازپارامترهای کلیدی فلورسانس کلروفیل استفاده زیادی شده است. هم چنین این تکنیک یک ابزار مفید و غیرتخریبی جهت ارزیابی وضعیت فتوشیمیایی گیاه می باشد و مدت‌زمان لازم برای اندازه‌گیری آن درشرایط مزرعه کوتاه است (Malakouti *et al*, 2005). بدین‌منظور سه برگ همسان (جوان‌ترین برگ کاملاً 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 به‌مدت ۴۸ساعت در آون و در دمای ۸۰درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس غده‌های داخل هر گلدان شمارش و جداگانه وزن شدند. داده ها توسط نرم‌افزار Minitab 16 آنالیز و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج‌درصد و با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

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

		ارتفاع Height (cm)	سطح برگ Leaf area (cm^2)	عملکرد فلورسانس کلروفیل Chlorophyll fluorcence yield	عدد اِسپد Spad number	عملکرد غده Tuber yield (g)	میانگین تعداد غده Average number of tubers	میانگین وزن غده Average weight of (g) tuber	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)
ارقام سیب‌زمینی Potato cultivars	آگریا Agria	68	725	640	44	82	3.0	28	5.4
	فونتانه Fontana	63	1852	652	40	129	4.2	31	9.0
LSD		3.2	226	8.3	3.1	16.6	0.7	4.1	0.5
تنش خشکی Drought stress	شاهد (S_1) (S_1) control	70	1479	669	40	130	4.0	33	8.0
	تنش (S_2) (S_2) stress	62	1063	660	45	81	3.2	25	6.3
LSD		2.4	274	10.3	1.9	11.6	0.7	4.6	0.4
قارچ میکوریزایی Mycorrhiza fungi	control	53	945	633	44	75	3.1	24	4.6
	G. mosseae	66	1407	630	41	123	3.5	35	7.3
	G. intraradices	68	1267	637	42	104	3.6	28	8.3
	G. fasciculatum	76	1464	643	40	120	3.8	32	8.5
LSD		3.6	289	10.6	4.3	13.3	0.8	4.8	0.5

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

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

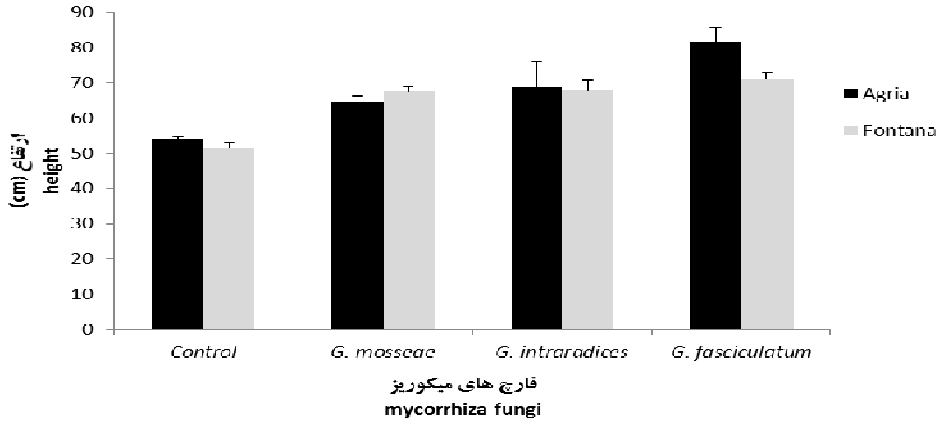
نتایج و بحث

ارتفاع

نتایج نشان داد که رقم اگریا با ۶۳سانتی‌متر ارتفاع نسبت به رقم فونتانه هشت‌درصد افزایش داشت که این افزایش معنی‌دار بود (جدول۱). در بین قارچ‌ها، تیمار شاهد با ۵۳سانتی‌متر کم‌ترین و قارچ *G. fasciculatum* با ۷۶سانتی‌متر بالاترین ارتفاع را دارا بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۱). تنش خشکی نیز سبب کاهش ۱۱درصدی و معنی‌دار ارتفاع بوته‌های سیب‌زمینی شد (جدول ۱).

www.SID.ir

Archive of SID

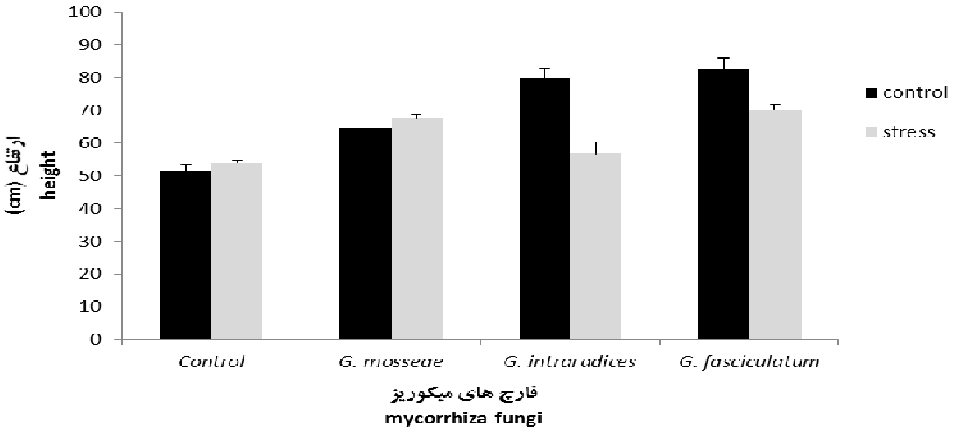


شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریزایی و رقم‌های سیب‌زمینی بر ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی

میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده 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 قارچ‌های میکوریزایی و تنش خشکی بر ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی

میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده 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.

اثر متقابل رقم و قارچ نشان داد که در تمامی تیمارهای میکوریزایی به‌جز گونه *G. fasciculatum* در بین دو رقم سیب‌زمینی از نظر صفت ارتفاع اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما در رقم اگریا *G. fasciculatum* با ۸۲سانتی‌متر ارتفاع نسبت به تمامی تیمارها اختلاف معنی‌دار) داشت. در هر دو رقم سیب‌زمینی بین قارچ‌های *G. mosseae* و *G. intraradices* از نظر ارتفاع اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱). نتایج اثرات متقابل تنش و قارچ نشان داد که در تیمار شاهد و*G. mosseae* اختلاف معنی‌داری بین سطوح تنش خشکی و شاهد وجود نداشت. اما گونه‌های *G. intraradices* و *G. fasciculatum* در شرایط تنش به‌ترتیب با ۳۰ و ۱۵درصد کاهش ارتفاع نسبت به تیمار شاهد مواجه شدند. به‌نظر می‌رسد گونه *G. fasciculatum* در هر دو شرایط شاهد و تنش توانسته است تأثیر بیش‌تری بر ارتفاع گیاه داشته باشد (شکل ۲).

یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه

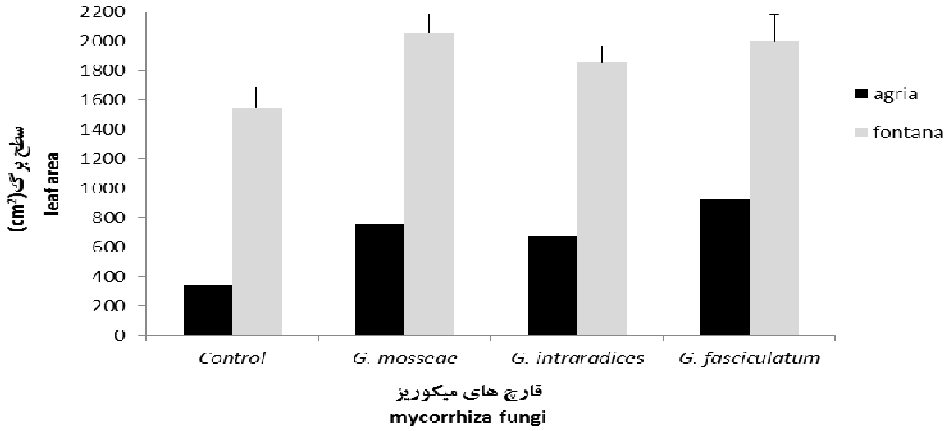
www.SID.ir

Archive of SID

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 همین‌دلیل 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 طویل‌شدن 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 نعناع (*Mentha arvensis*) با قارچ میکوریزایی به‌طور قابل‌توجهی ارتفاع بوته را افزایش داد. Cruz and Husain, 2008 گزارش کردند 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 به‌خود اختصاص دادند (جدول ۱).

سطح برگ

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



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

میله‌های 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.

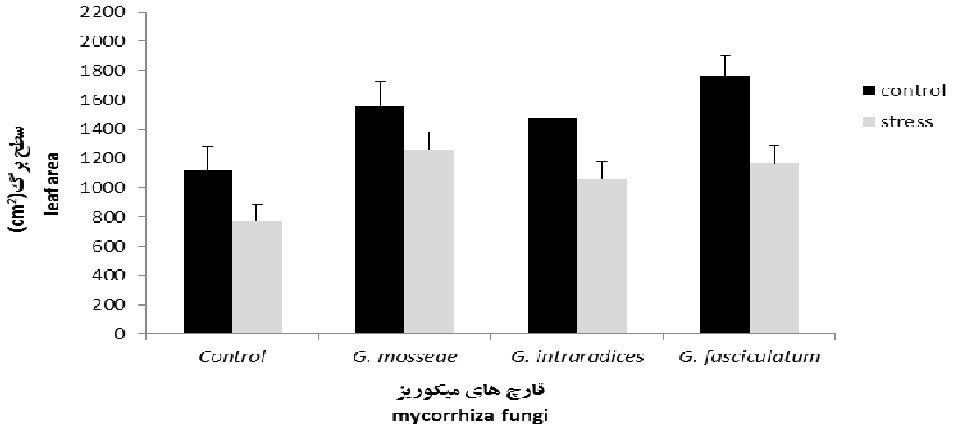
اثر متقابل بین رقم و قارچ نیز نشان داد که در رقم فونتانه بین سه گونه قارچ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما تیمار شاهد با آن‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود. در رقم آگریا نیز این روند صادق بود با این تفاوت که در این رقم تیمار شاهد ۲۴درصد و در رقم آگریا ۶۳درصد نسبت به بالاترین تیمار قارچی کاهش نشان دادند (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 ۱۷۶۴سانتی‌متر بالاترین سطح برگ را دارا بود اما قارچ *G. mosseae* توانست در تیمار تنش خشکی با ۱۲۵۸سانتی‌متر مربع سطح برگ بالاتری را داشته باشد (شکل ۴).

کاهش رشد سلول‌ها در اثر کم آبی، 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,

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌صورت قابل‌توجهی کل سطح برگ را از طریق کاهش گسترش و افزایش سرعت پیری برگ ها کاهش می‌دهد. هم‌زیستی با قارچ‌های میکوریز می‌تواند میزان فتوسنتز را از طریق تغییرات مورفولوژیکی از قبیل افزایش در شاخص سطح برگ افزایش دهد (Blum, 1996). افزایش معنی‌دار سطح برگ در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریز را می‌توان 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 annum*) منجر به افزایش سطح برگ و میزان آب‌گیری بیش‌تر برگ‌ها شد. در تحقیق حاضر نیز هم‌زیستی با قارچ میکوریز سطح برگ را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش افزایش داد.



شکل ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریزایی و تنش خشکی بر سطح برگ گیاه در بوته سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی

میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده 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.

فلورسانس کلروفیل

نتایج نشان داد که عملکرد فلورسانس کلروفیل در رقم فونتانه نسبت به آگریا ۲درصد افزایش داشت که این مقدار معنی‌دار بود. در بین سطوح تنش خشکی و شاهد با وجود بیش‌تر بودن عملکرد فلورسانس کلروفیل در تیمار شاهد نسبت به تنش خشکی اختلاف معنی‌داری بین دو سطح وجود نداشت. اختلاف در عملکرد فلورسانس کلروفیل قارچ‌های میکوریزایی و اثرات متقابل آن ها (داده‌ها نشان داده نشدند) با سایر تیمارها نیز معنی‌دار نبود در حالی‌که گونه *G. fasciculatum* بیش‌ترین عملکرد فلورسانس کلروفیل را به‌خود اختصاص داده بود (جدول ۱).

Basu *et al*, 1998 بیان کردند که به‌دلیل کاهش میزان فتوسنتز و افزایش دمای کانوپی عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش می‌یابد. درحقیقت راندمان شیمیایی فتوسیستم II به‌شدت تحت تأثیر میزان محتوی نسبی آب برگ قرار دارد (Cornic and Briantais, 1991). تأثیر خشکی بر فتوسیستم II موجب خسارت به واکنش‌های فتوشیمیایی شده و بر میزان بازدارندگی انتقال الکترون می‌افزاید (Lu *et al*, 2002). گزارش شده است که در مقایسه با بسیاری ازگیاهان زراعی دیگر بسته شدن روزنه‌های برگ سیب‌زمینی در مقدارکمتر پتانسیل ماتریک خاک رخ می‌دهد (Sadras and Milroy, 1996). Rahimian *et al*, 2000 توت فرنگی‌های (*Fragaria* sp) میکوریزایی و غیرمیکوریزایی 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 معنی‌داری وجود نداشت، اما در تیمار تنش خشکی گیاهانی که با قارچ تیمار شده بودند ۸۳درصد کارایی فتوشیمیایی بالاتری نسبت به تیمار بدون قارچ داشتند. در آزمایش حاضر نیز می‌توان ماهیت لحظه‌ای این پدیده و تغییرات سریع نسبت F_v/F_m را در عدم معنی‌داری بین تیمارها مؤثر دانست.

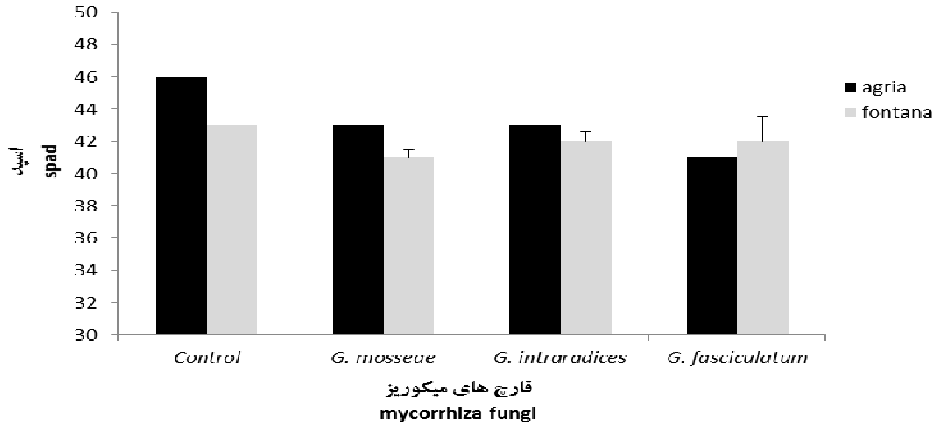
عدد اِسپد

عدد اِسپد در رقم آگریا ۱۰درصد بیش‌تر از رقم فونتانه بود که این

www.SID.ir

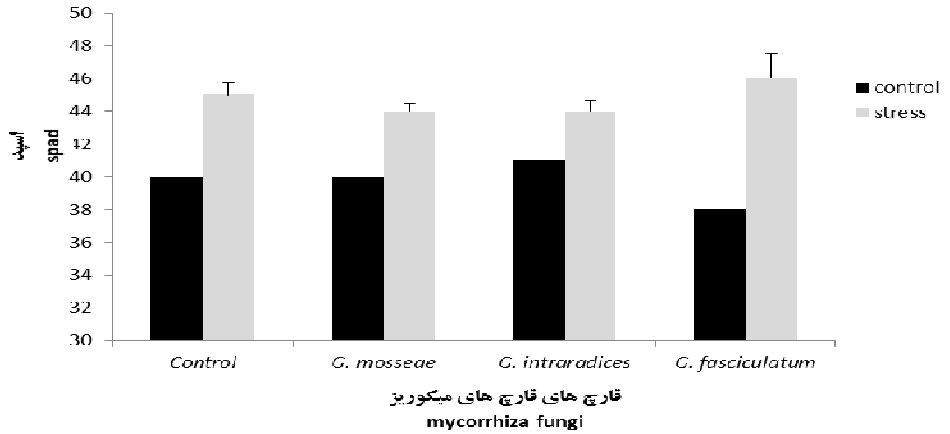
Archive of SID

اختلاف معنی‌دار بـود. همـین مقـدار اخـتلاف معنـی‌دار نیـز در بـین تیمارهای شاهد و تنش خشکی دیده شد که تیمار تنش خشکی مقدار بیش‌تری داشـت. امـا در بـین قـارچهـا از نظـر ایـن صـفت تفـاوت معنی‌داری مشاهده نشد با وجودی‌که تیمار بدون کاربرد قارچ با عدد اِسپد ۴۴ بالاترین مقدار را داشت (جدول ۱).



شکل ۵-مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریزایی و رقم‌های سیب‌زمینی بر عدد اِسپد 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.



شکل٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریز و تنش خشکی بر عدد اِسپد 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.

اثر متقابل رقم‌های سیب‌زمینی و قارچها بر عدد اِسپد نشـان 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 رقـم فونتانه تفاوت اشت (شکل ۵). تنش خشکی نیز سـبب افـزایش عـدد اِسپد شد اختلاف این صفت در گونه *G. fasciculatum* در دو سطح تنش خشکی و شاهد بیش‌تر از سایر تیمارها بود. به‌طـوری‌کـه عـدد اِسپد از ۴۶ در تیمارتنش 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 کلروفیل‌متر (اِسپد) یک معیار کمی را از میزان تشعشع فعال

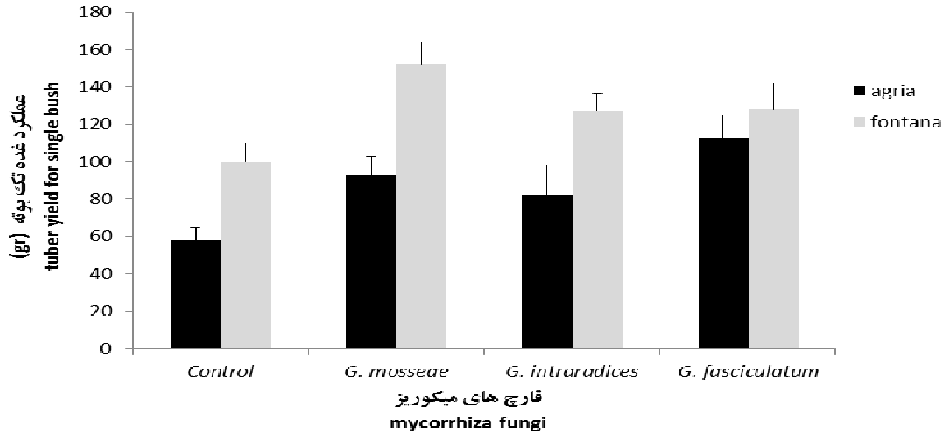
www.SID.ir

Archive of SID

جذب شده توسط برگ به‌دست می‌دهد که به‌میزان 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 کلروفیل‌متر 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 کلروفیل‌متر 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 کلروفیل‌متر نسبت به تیمار شاهد در گندم شد. Al-Karaki *et al*, 2004بیان کردند که قارچ‌های میکوریز می‌توانند غلظت کلروفیل را در تنش‌های زیستی و غیرزیستی افزایش و تحمل گیاه را زیاد نمایند. بنظر می‌رسد افزایش عدد اِسپد در این آزمایش بدلیل کاهش سطح برگ و افزایش ضخامت و در نتیجه تیره تر شدن رنگ برگ رخ داده است. در تیمار بدون مصرف قارچ نیز ممکن است تأثیر تنش خشکی بیش‌تر از سایر تیمارها بوده و در نتیجه کلروفیل‌متر عدد بالاتری را نشان داده است.

عملکرد غده در تک‌بوته

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



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.

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* به‌ترتیب با ۱۵۲ و ۱۱۳گرم بیش‌ترین عملکرد غده در تک بوته را داشتند، در حالی‌که 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).

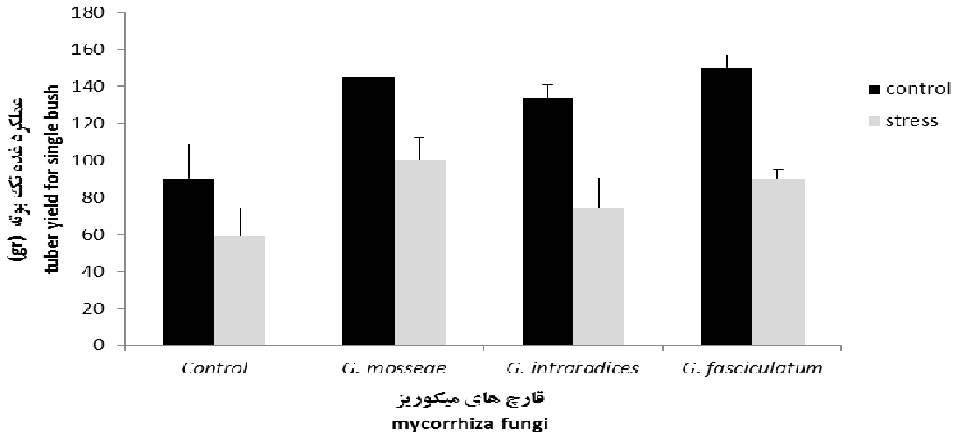
اثر متقابل قارچ و تنش نشان داد که در رقم فونتانه و در بین تیمارهای میکوریزایی اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد تک‌بوته مشاهده نشد، اما در تیمار شاهد این رقم کم‌ترین مقدار و با سایر تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری داشت. بیش‌ترین اختلاف در بین سطوح تنش در قارچ *G. intraradices* مشاهده شد که در این قارچ تیمار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

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

www.SID.ir

Archive of SID

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



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 ، رقم های 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
G. mosseae	114	73	177	126
G. intraradices	124	39	144	109
G. fasciculatum	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.

Dasgan *et al*, 2008 ضمن بررسی همزیستی 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. هم‌زیستی میکوریزایی معمولاً کاهش در میزان پتانسیل آب برگ را در طول تنش خشکی به تعویق می‌اندازد (Auge, 2001). هم‌چنین پتانسیل آب برگ گیاهان 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

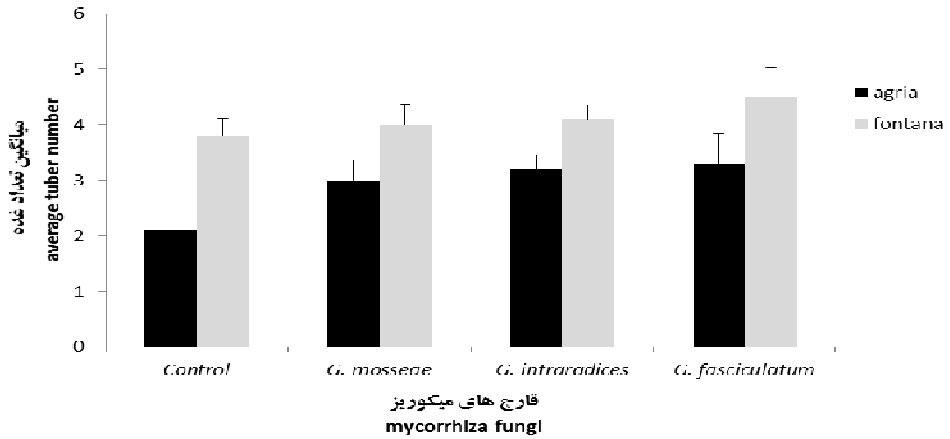
www.SID.ir

Archive of SID

که میکوریز احتمالاً از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل‌کردن سیستم ریشه‌ای گیاه و افزایش سطح جذب از طریق ریسه‌های 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 مشاهده شد (جدول ۱).

میانگین تعداد غده در بوته

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

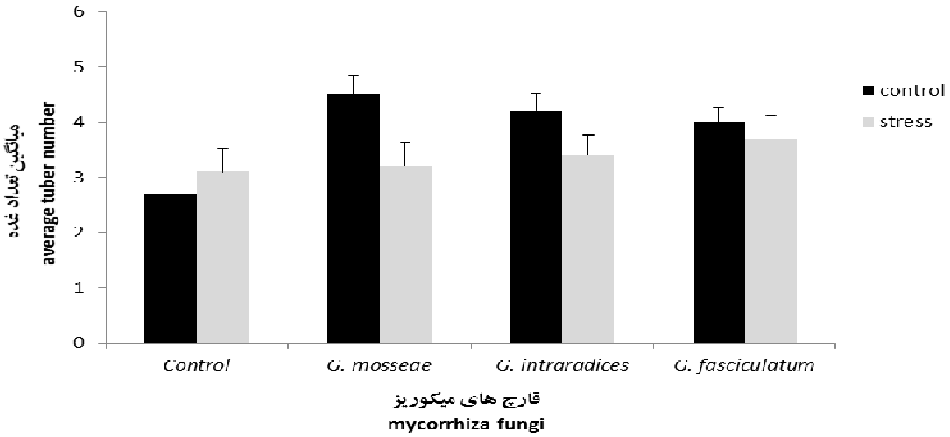


شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریز و رقم‌های سیب‌زمینی بر میانگین تعداد غده در بوته در شرایط تنش خشکی

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.



شکل۱۰-: 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.

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد غده در بوته در تیمار شاهد رقم آگریا با میانگین ۲/۲ کمتر از سایر تیمارها بود و تنها با سه تیمار قارچ به‌کار رفته در رقم فونتانه اختلاف معنی‌دار داشت. در بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری 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 به‌کار نرفته بود، تفاوت معنی‌دار داشت. در بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری در دو سطح شاهد و تنش خشکی مشاهده نشد (شکل ۱۰).

به‌نظر می‌رسد که گیاهان میکوریزایی در شرایط تنش مکانسیم‌های حفاظتی فعال‌تری را نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی در همین شرایط دارا می‌باشد که به عقیده Liu *et al*, 1999 دلیل آن کمتر بودن غلظت‌های آبسیزیک‌اسید 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 درون‌سلولی را به‌عنوان یک پیامبر ثانویه فعال کرده و سبب افزایش آنتی اکسیدآنت‌ها و مقاومت به تنش اکسیداتیو شدند (Lorella *et al*, 2007).

میانگین وزن تک غده

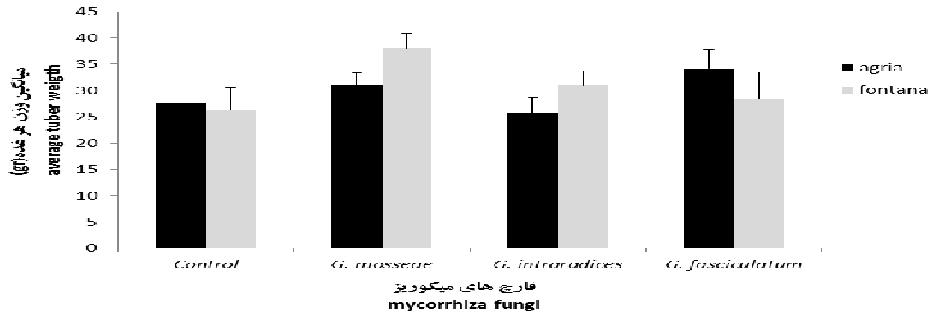
از نظر میانگین وزن تک غده در بین دو رقم آگریا و فونتانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. اما در تیمار تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد ۲۵درصد کاهش در وزن تک غده مشاهده شد که معنی‌دار بود. در بین قارچ‌ها *G. mosseae* و *G. fasciculatum* به‌ترتیب با ۳۵ و۳۲گرم بالاترین و تیمار بدون مصرف قارچ با ۲۴گرم کم‌ترین وزن تک غده را به‌خود اختصاص دادند. تیمار شاهد با سایر قارچ‌ها اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۱).

اثر متقابل رقم و قارچ از نظر وزن تک غده نشان داد که در رقم اگریا قارچ *G. fasciculatum* با ۳۴گرم بالاترین و در رقم فونتانه قارچ *G. mosseae* با ۳۸گرم 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 معنی‌دار داشت (شکل ۱۱). اثر متقابل تنش خشکی و قارچ نیز نشان داد که در تیمار شاهد بین قارچ‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر این صفت وجود نداشت، اما در تیمار تنش قارچ *G. mosseae* با سه تیمار دیگر تفاوت معنی‌داری 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 نه‌تنها 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 به‌میزان کمتری کاهش یافت واین قارچ به‌همراه 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 معنی‌داری با یک‌دیگر داشت. رقم فونتانه نسبت به آگریا ۴۰درصد وزن خشک اندام هوایی بالاتری داشت. این افزایش در تیمار شاهد نسبت به تنش خشکی ۲۱درصد بود. در بین قارچ‌ها دو گونه *G. intraradices* و *G. fasciculatum* در حالی با یک‌دیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند که بالاترین وزن خشک اندام هوایی را نسبت به سایر گونه‌های موردمطالعه دارا بودند. تیمار بدون مصرف قارچ نیز نسبت به این دو سطح قارچ ۴۵درصد 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

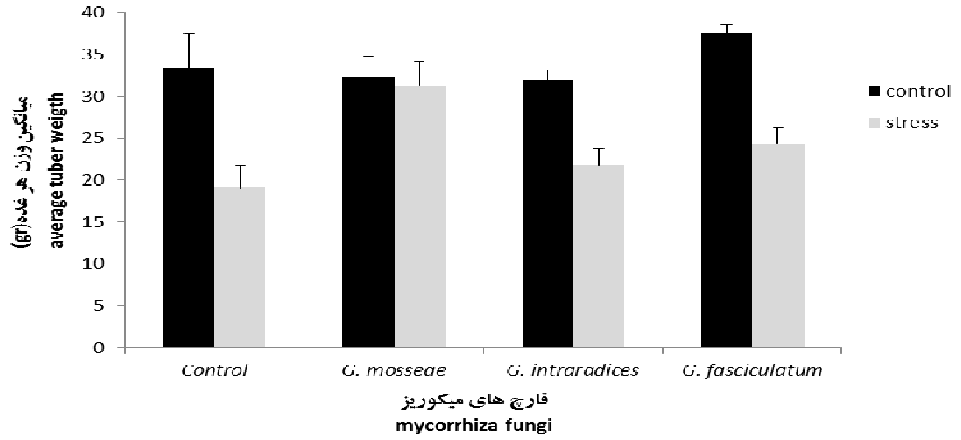
میله‌های روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Std Err) است.

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.

www.SID.ir

Archive of SID

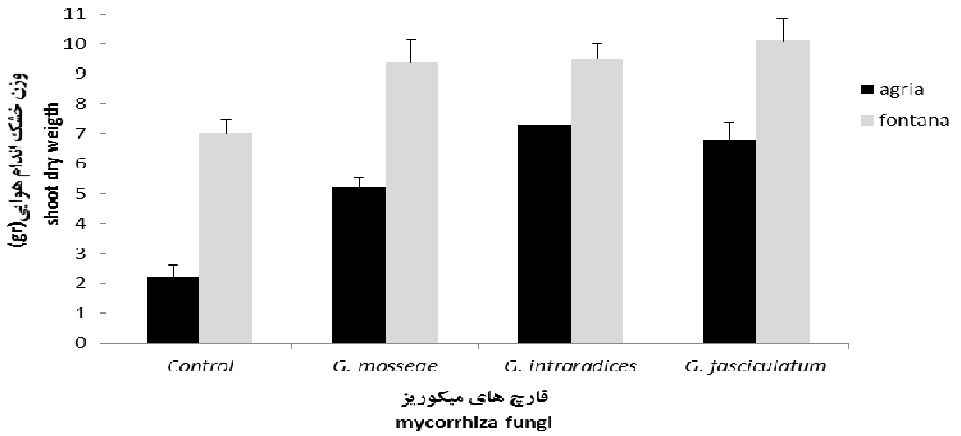


شکل۱۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ‌های میکوریز و تنش خشکی بر میانگین وزن هر غده سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی

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

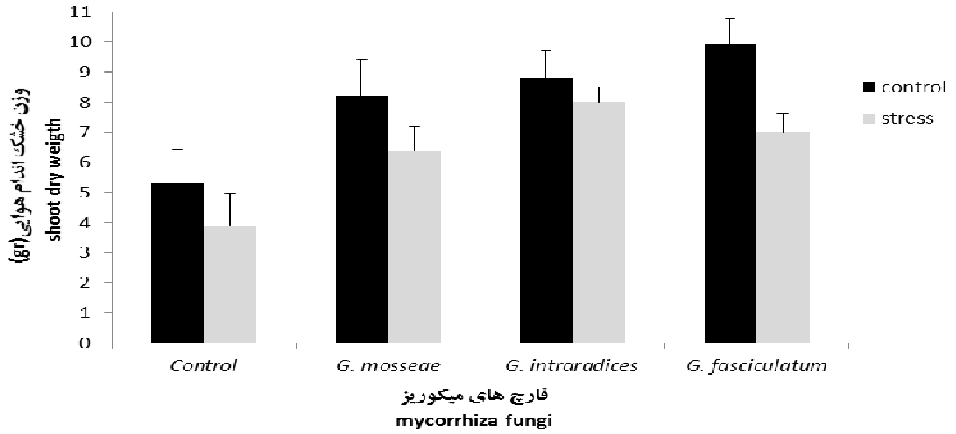
The bars of each column indicates standard errors.

اثر متقابل 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 ۷/۳گرم وزن خشک اندام هوایی بالاترین مقدار را داشته باشد. این وضعیت در رقم فونتانه متعلق به *G. fasciculatum* بود (شکل ۱۳).

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 دهدکه 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).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریز و تنش خشکی بر وزن خشک اندام هوایی سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی

میله های 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.

Al-Karaki, 1998نشان داد که در گیاهان گندم میکوریزایی کارایی مصرف آب بیش‌تر ازگیاهان 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 مایکوریزا سبب افزایش معنی دار 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. fasiculatum* و *G. mosseae* میزان رشد و 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 اِسپد 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. fasiculatum* نسبت به سایر گونه‌های قارچ تأثیر بهتری بر صفات موردمطالعه در این آزمایش داشت. به‌نظر می‌رسد lk کاربرد گونه‌های مختلف قارچ میکوریزایی می‌توان عملکرد گیاه سیب‌زمینی را در شرایط مطلوب و تنش افزایش داد.

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.

www.SID.ir

Archive of SID

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 CO 2 and O 2 reduction in a C_3 leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO_2 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 Institue. 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. Kesmala, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 4, Winter. 2017, p. 558-574

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۵۷۴-۵۵۸

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

S. Khaninejad[1]- H. R. Khazaie[2]- J. Nabati[3]– M. Kafi[4]

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: khazaei41@yahoo.com)

www.SID.ir

Archive of SID

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

www.SID.ir