ارزیابی صفات رشد سیب زمینی در تلقیح با قارچ میکوریز در شرایط تنش خشکی

خسرو پرویزی* و عبداله نوایی

ایران، همدان، آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۶

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی پاسخ‌های رشدی گیاهچه‌های حاصل از ریزغده در سیب زمینی و همچنین عملکرد آن‌ها در تلقیح با قارچ میکوریز و در شرایط تنش خشکی آزمایشی گلخانه‌ای در قالب فاکتوریل با طرح پایه کاملا تصادفی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح مختلف تنش آبی (۱۰۰، ۸۵، ۷۵ و ۶۵ درصد نیاز آبی) و دو سطح مایه‌زنی با قارچ میکوریز گونه *Glomus intraradices* (مقدار ۴ گرم از محیط کشت و ریشه‌های کلونیزه شده ذرت با قارچ میکوریز که واجد حداقل ۸۰ عدد اسپور قارچ بود) و عدم تلقیح با آن بود. صفات مورد اندازه‌گیری شامل طول و قطر ساقه، تعداد گره و طول میانگره، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، مقدار کلروفیل برگ و تولید ریز غده در گیاهچه بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تلقیح با میکوریز و سطوح تنش آبی در کلیه شاخص‌های رشد معنی دار شد. اثر متقابل میکوریز و سطوح آبیاری منحصرا در میزان کلروفیل، وزن خشک ریشه و سطح برگ معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در اغلب شاخص‌های رشد و عملکرد تیمار میکوریزی با ۸۵٪ تأمین آب در ظرفیت مزرعه بالاترین سطح را داشت هرچند با تیمار میکوریزی با ۱۰۰٪ آبیاری تفاوت‌ها معنی‌داری نشد. بیشترین تولید ریزغده با تیمار میکوریزی با ۸۵٪ آبیاری حاصل شد. در مجموع در تیمارهای میکوریزی با تأمین ۷۵ و ۶۵ درصد نیاز آبی سیب زمینی (با کاهش ۲۵ و ۳۵ درصد از آب مصرفی) در اغلب شاخص‌های رشد و همچنین تولید ریزغده، وضعیتی هم سطح و قابل رقابت با عدم کاربرد میکوریز در تیمارهای ۱۰۰ و ۸۵ درصد سطح آبیاری ایجاد شد.

واژه های کلیدی: سیب زمینی، شاخص‌های رشد، قارچ میکوریز، تنش آبی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۳۱۱۵۱۲۵، پست الکترونیکی: Khosrister@gmail.com

مقدمه

همزیستی (Symbiotic relationship) گیاهان عالی با قارچ‌های میکوریز به عنوان یکی از قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین راهبردهای گیاهان برای افزایش راندمان جذب عناصر غذایی و تطابق گیاهان در محیط‌های تنش‌زا می‌باشد (۹). همزیستی قارچ میکوریز غیر اختصاصی می‌باشد، در نتیجه تخمین زده می‌شود که قارچ میکوریز با بیش از ۸۰ درصد از گیاهان خشکی‌زی همزیستی دارد (۳۴).

قارچ‌های میکوریز از طریق رابطه همزیستی با ریشه گیاهان موجب افزایش کارآیی جذب عناصر غذایی پرمصرف و حتی کم مصرف توسط گیاهان می‌شوند. به موازات نقش میکوریز در جذب عناصر غذایی، ریسه های میکوریز امکان دسترسی بهتر گیاه به آب را با واکنش‌هایی از قبیل تنظیم حرکت روزنه‌ای، افزایش هدایت هیدرولیکی آب، تنظیم اسمزی و کمک به پایداری پتانسیل آب سلولی میسر می‌سازند (۴ و ۱۱). در مطالعات دیگر اثرات قابل توجه میکوریز در تحمل به خشکی به نقش آن در افزایش جذب فسفر، تحریک سنتز سیتوکینین و افزایش راندمان فتوسنتز

نسبت داده شده است (۱۹). گیاهان میکوریزی قادرند با پتانسیل آب کمتر در خاک جذب بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی داشته باشند. همچنین سرعت تعرق در واحد سطح برگ در آنها نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی پایین‌تر است (۷). توبار و همکاران (۳۵) با تغذیه نیترات و استفاده از نیتروژن نشان‌دار در گیاهان میکوریزه شده در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش آبی، نتیجه گرفتند که در شرایط آبیاری نرمال تغییری در میزان جذب نیتروژن نشاندار در گیاهان میکوریزه شده و غیرمیکوریزایی ایجاد نشد. اما در شرایط استرس گیاهان میکوریزه شده بیشتر از چهار برابر قادر به جذب نیتروژن نشاندار شدند. سانچز بلانکو و همکاران (۳۳) نشان دادند که گیاهان میکوریزی، سطح بالایی از هدایت روزنه‌ای نسبت به گیاهان غیر میکوریزی داشتند. تنظیم‌کننده‌های اسمزی (Osmotic adjustment) شامل مواد آلی محلول (از جمله قند محلول، پرولین) و یون‌های معدنی (مانند پتاسیم، منیزیم و کلسیم) می‌باشد که قارچ میکوریز تاثیر مثبتی بر روی سنتز مواد آلی و جذب یون‌های معدنی محلول در گیاه دارد. ثابت شده است که قارچ‌های میکوریز با افزایش میزان این تنظیم‌کننده‌ها در گیاهان و به ویژه در شرایط تنش خشکی نقش قابل توجهی در تعدیل اثرات تنش و عبور از اثرات مخرب آن دارند (۳۷).

گوراو و همکاران (۱۸) به ارزیابی صفات رشدی، عملکرد و کیفیت غده‌های تولیدی در ۳۴ رقم سیب زمینی تحت شرایط تنش با استفاده از سیستم آبیاری سورس‌لاین و در تلقیح با میکوریز پرداختند. نتایج نشان داد که در ارقام مختلف در شرایط تنش و در تلقیح با قارچ میکوریز سطح برگ در مقایسه با شاهد (تنش و عدم تلقیح) تفاوت معنی‌دار نشان داد. متوسط افزایش سطح برگ در شرایط تنش و تلقیح با میکوریز نسبت به شاهد از ۲۰ تا ۳۶/۶ درصد متغییر بود. در تیمار تنش و عدم تلقیح بسته به رقم درصد بدشکلی افزایش معنی‌دار داشت. در مجموع از نظر عملکرد کل و کیفیت غده‌های تولیدی در بین ارقام مورد بررسی دو رقم "Girraj" و "Swarna" وضعیتی بهتر از سایر ارقام در سازگاری با تلقیح با میکوریز در تحت شرایط تنش داشتند. در بررسی اثر تلقیح قارچ مایکوریز بر میزان استقرار و درصد زنده ماندن ریزغده‌ها و غده‌چه‌ها حاصل از کشت بافت آزمایشی توسط چن و همکاران (۱۰) در دو شرایط گلخانه و مزرعه انجام گرفت. در این پژوهش جدایه هایی از ۵ نوع قارچ از گونه‌های مختلف میکوریز آربوسکولار شامل گونه‌های *G. etunicatum*، *G. mosseae*، *Acaulospora. mellea*، *Gigaspora. margarita* و *Entrophora. schenkii* استفاده شد. نتایج نشان داد که در شرایط گلخانه درصد کلونیزه شدن گیاهچه‌های حاصل از کاشت ریزغده‌ها در گونه‌ها و جنس‌های مختلف قارچ متفاوت بود. گونه *G. etunicatum* با میزان ۷۸٪ بالاترین درصد کلونیزه شدن را داشت که نسبت به تمامی تیمارها اختلاف معنی دار نشان داد. میزان وزن تر ریشه در تیمارهای قارچی متفاوت بود. درصد میزان هدررفت میکروتیوبرها در تیمارهای قارچی در مجموع پایین‌تر از شاهد بود اگرچه در برخی گونه‌های قارچ تفاوت معنی داری با شاهد نداشتند. در شرایط مزرعه اثرات استفاده از مخلوط قارچی بسیار چشم گیر و قابل توجه بود. بطوریکه میزان عملکرد در تیمارهای مخلوط قارچ میکوریز ۲۰/۹ درصد بالاتر از شاهد بود. مهمتر اینکه غده های تولیدی در سایز تجاری در تیمارهای قارچی بسیار بالاتر از تیمار شاهد بود. اولین ژن ناقل فسفر ویژه قارچ مایکوریز (StPT3) در سیب زمینی نیز توسط روش و همکاران (۳۰) شناسایی شده است، که نشان دهنده وجود همزیستی بین قارچ مایکوریز و سیب زمینی می‌باشد. همچنین مک آرتور و ناولز (۲۴) گزارش کردند که جذب فسفر در گلدان از طریق تلقیح با قارچ آربوسکولار میکوریز نسبت به عدم تلقیح قارچ افزایش می‌یابد.

یکی از دلایل مرفولوژیکی تحمل پایین گیاه سیب زمینی به شرایط تنش آبی (بویژه در رقم‌های جدید اصلاح شده و سازگار با شرایط کشورهای اروپایی) علاوه بر فیزیولوژی

خاص این گیاه، سیستم ریشهٔ سطحی آن و درصد توسعه یافتگی کمتر ریشه و فعالیت ریشه در افق سطحی خاک می باشد که عملاً جذب بیشتر آب را حتی در تنش‌های ملایم نیز محدود می‌سازد. در شرایط گلخانه و بویژه با در نظر گرفتن نورسته بودن گیاهچه‌های حاصل از ریزغده و تحمل پائین‌تر آن‌ها به تنش آبی، لازم است تدابیری اتخاذ شود که ضمن برقراری استقرار بهتر ، قدرت سازگاری آن‌ها در صورت استفاده از میکوریز در شرایط تنش افزایش یابد. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش بررسی میزان و درجه اثرگذاری استفاده از میکوریز بر پاسخ‌های رشد و قابلیت عملکردی گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی می‌باشد.

مواد و روشها

الف- تیمارها و شیوه اجرای آزمایش: این تحقیق به منظور بررسی تأثیر کاربرد گونه قارچ میکوریز *Glomus intraradices* روی عامل‌های رشدی و فیزیولوژیکی و همچنین عملکرد ریزغده‌های سیب زمینی تحت شرایط تنش خشکی انجام شد. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. دو فاکتور به کار رفته در این طرح شامل سطوح آبیاری (۱۰۰٪ ، ۸۵٪ ، ۷۵٪ و ۶۵٪ ظرفیت مزرعه) و تلقیح ریزغده‌ها با جدایه مایع تلقیح قارچ همزیست میکوریز و عدم تلقیح با قارچ مذکور بود. مایه تلقیح برای هر ریزغده شامل ۴ گرم از محیط کشت (مخلوط پرلیت و پیت ماس) و ریشه‌های کلونیزه شده ذرت با قارچ میکوریز از گونه *Glomus intraradices* با برخورداری از ۸۰ تا ۸۵ عدد اسپور قارچ بود. برای هر تیمار چهار تکرار در نظر گرفته شد. بنابراین تعداد کل واحدهای آزمایشی شامل ۳۲ عدد بود. هر واحد آزمایشی از جعبه هایی به ابعاد ۱۲× ۳۶ × ۵۶ سانتی‌متر تشکیل شد و در هر واحد آزمایشی ۱۵ عدد ریزغده با اندازه یکسان (با وزن متوسط ۴ گرم) و با تراکم ۸۰ ریزغده در هر مترمربع کشت شدند. پس از ضدعفونی گلخانه، جعبه‌های کشت نیز شسته و ضدعفونی شدند. سپس وزن خالی آنها اندازه گیری شد. محیط کشت که ترکیبی از پیت و پرلیت و با نسبت ۳:۱ (پرلیت : پیت) مخلوط شده و به وسیله دستگاه مخصوص ضدعفونی بخار (ابتکاری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان) ضد عفونی گردید. سپس داخل جعبه‌های کشت به مقدار مساوی از محیط کشت ریخته شد. آبیاری محیط کشت تا حد اشباع انجام شد. برای تعیین ظرفیت مزرعه پس از گذشت حدود ۲۴ ساعت از زمان آبیاری تمام جعبه‌های کشت وزن شدند. وزن خالی جعبه‌ها و وزن محیط کشت ریخته شده در داخل آن‌ها از مقدار وزن بدست آمده کم شده در این صورت وزن بدست آمده بیانگر مقدار آب موجود در محیط کشت و در جعبه‌های کشت در ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه می‌باشد و کاهش وزن این آب به نسبت ۱۵٪، ۲۵٪ و ۳۵٪ به ترتیب نشان دهنده ۸۵٪، ۷۵٪ و ۶۵٪ ظرفیت مزرعه می‌باشد. جهت تلقیح ریزغده‌ها از محیط کشت ماسه و پیت ماس و حاوی اندام فعال قارچ میکوریز (اسپور) و از گونه *G. intraradices* استفاده شد. بدین منظور در محل کاشت ریزغده‌ها و در حفره‌های کشت به مقدار ۴ گرم از مایه تلقیح قارچ به هر ریزغده در محل کاشت آن‌ها اضافه شد. نتایج شمارش اندام فعال قارچ از مایه تلقیح مشخص کرد که هر گرم حاوی ۸۰ تا ۸۵ عدد اسپور قارچ در هر گرم می‌باشد. پس از اتمام کشت واحدهای آزمایش آبیاری شدند. تنش آبیاری پس از سبز شدن کامل ریزغده‌ها حدود ۲ هفته پس از تاریخ کشت اعمال شد. بدین منظور جعبه‌های کاشت به صورت مرتب پس از هر ۲۴ ساعت وزن شده و مطابق با کاهش وزن و رسیدن به میزان مورد نظر از ظرفیت مزرعه‌ای (نسبت کاهش وزن) و بر اساس میزان آب مورد نیاز مجددا آبیاری می‌شدند.

ب- محیط گلخانه و شرایط رشد گیاهچه‌ها: شرایط محیط گلخانه از نظر نور و دما به صورت خودکار تنظیم شد. در دو ماه اول کاشت و قبل از غده‌زایی طول روز با

۱۶ ساعت تنظیم شد و دوره نوری بیشتر با روشن نمودن لامپ‌های سدیمی فشار بالا به صورت خودکار با زمان‌سنج مرکزی تأمین شد. در دو ماه آخر دورهٔ رشد، طول روز معمولی ۱۲ ساعته و کمتر برقرار شد. در ارتباط با شدت نور معمولاً با توجه به استفاده از گلخانه با پوشش شیشه‌ای، شدت نوری معادل ۲۰ تا ۲۲ هزار لوکس قابل دریافت بود اما در روزهای ابری و بارانی با روشن کردن لامپ‌های سدیمی فشار بالا (با توزیع ۲ عدد لامپ ۲۵۰ واتی در هر ۱۰ متر مربع از سطح گلخانه) و تأمین شدت نوری معادل ۵۰۰۰ لوکس به ازاء هر لامپ، کمبود نور در گلخانه جبران شد. دمای داخلی گلخانه با تنظیم سیستم تهویه مطبوع و حرارت مرکزی در محدوده ۱۶ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب و ۲۴ تا ۲۶ درجه در روز تأمین شد.

ج- اندازه گیری صفات: اندازه گیری فاکتورهای رشد از ۸ هفته پس از تلقیح شروع شد. بدین منظور متوسط طول میانگره و ساقه (از قاعده تا نوک شاخساره) در تیمار و تکرارهای مختلف بوسیله خط‌کش دقیق اندازه‌گیری شد. قطر ساقه (وسط ساقه) نیز در همین مرحله بوسیله کولیس اندازه‌گیری شد. جهت اندازه گیری سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر وخشک ساقه دو نمونه تصادفی از هر تکرار انتخاب و پس از اندازه‌گیری سطح برگ ضمن شستشوی کامل ریشه‌ها اندام هوایی و ریشه از هم جدا و توزین شدند. سپس اندام‌های مذکور در داخل آون (دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت) قرار داده شدند و در نهایت وزن خشک آن‌ها به طور جداگانه محاسبه گردید. اندازه‌گیری میزان کلروفیل با استخراج عصاره و بر اساس روش گراس (۲۱) انجام گرفت و مقدار آن با روابط زیر محاسبه شد.

$$Chl_a\left(mgml^{-1}\right)=11.64\times(A663)-2.16\times(A645)$$
$$Chl_b\left(mgml^{-1}\right)=20.97\times(A645)-3.94\times(A663)$$
$$Chl_{total}\left(mgml^{-1}\right)=Chl_a+Chl_b$$

که در این روابط A645 و A663 به ترتیب میزان جذب در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر میباشد. برای تعیین شدت کلونیزاسیون قارچ در ریشه از روش فیلیپس و هیمن (۲۹) استفاده شد. براساس روش فوق ابتدا ریشه‌های جدا شده در زیر آب جاری شستشو شده و سپس در ظروف دربدار و در محلول فرمالین، اسید استیک و الکل (FAA) به نسبت حجمی ۹۰:۵:۵ نگهداری شدند. سپس این ریشه‌ها با آب مقطر شستشو شده و برای بی‌رنگ کردن سیتوپلاسم و نرم شدن بافت‌ها در محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد به مدت ۱۲ ساعت در شرایط آزمایشگاه قرار گرفتند. سپس ریشه ها از این محلول خارج شده و سه بار با آب مقطر شستشو داده شدند. ریشه‌ها سپس برای شفاف شدن کامل بافت‌ها به محلول حاوی آب اکسیژنه قلیایی انتقال داده شده و به مدت دوساعت در این محلول نگهداری شدند. نمونه‌ها از محلول آب اکسیژنه قلیایی خارج کرده و با آب مقطر شستشو داده سپس این نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه در محلول اسیدکلریدریک ٪۱ قرار گرفته تا آماده رنگ پذیری اندامهای قارچ شوند. سپس ریشه‌ها مستقیماً از محلول اسیدی به محلول رنگی تریپان‌بلو ۱ درصد و محلول در نیتروگلیسیرین منتقل و به مدت ده دقیقه در این محلول قرارگرفتند. سپس در الکل گلیکول تا زمان بررسی با میکروسکوپ نوری نگهداری شدند. درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها براساس روش گونیکل و همکاران (۲۰) محاسبه شد. بدین منظور برای تعیین درصد آغشتگی میکوریزی ریشه‌ها، از روش تلاقی خطوط مشبک استفاده شد ریشه‌های رنگ آمیزی شده با تریپان بلو بطور تصادفی در داخل ظرف پتری پخش شدند. سپس زیر لوپ آزمایشگاهی و با کمک کاغذ شطرنجی میزان همزیستی ریشه بر حسب طول ریشه همزیست تعیین شد. تعداد نقاطی از ریشه که با خطوط عمودی و افقی برخورد کرده بودند شمرده شدند. سپس نقاطی که آبی پر رنگ تری داشتند و اندامهای قارچ را در برمی‌گرفت، شمارش شدند. در نهایت از تقسیم این عدد بر تعداد کل برخوردها،

درصد طول ریشه همزیست با قارچ تخمین زده شد. این کار برای همه تیمارهای میکوریزی با سه تکرار انجام شد.در هنگام برداشت، گیاهچه‌ها با دقت از محیط کشت خارج شده و طول استولون (بوسیله خط‌کش دقیق) اندازه‌گیری شد. ریزغده‌های تولیدی پس از توزین بر اساس نسبت به گیاهچه موجود در هر جعبه کاشت محاسبه و متوسط تعداد ریزغده در هر گیاهچه و در هر تکرار برآورد گردید. محاسبات آماری و آنالیز داده‌های حاصل از آزمایش از طریق نرم‌افزار SAS (نسخه 9.2) انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای ۵٪ استفاده گردید.

نتایج

با نتایج تجزیه واریانس (جدول۱) مشخص شد که اثر اصلی میکوریز بر طول و قطر ساقه، سطح برگ، میزان کلروفیل، وزن تر و خشک ریشه و ساقه و همچنین در طول میانگره در سطح ۱٪ معنی دار شد. اثر اصلی سطوح آبیاری بر طول ساقه و میانگره، سطح برگ، میزان کلروفیل، درصد کلونیزاسیون ریشه و وزن تر و خشک ساقه و ریشه در سطح ۱٪ ولی در قطر ساقه در سطح ۵٪ معنی دار شد. اثرات متقابل میکوریز و سطوح آبیاری منحصرا در میزان کلروفیل برگ، وزن خشک ریشه و سطح برگ معنی دار شد. هیچکدام از اثرات اصلی تلقیح با میکوریز و سطوح آبیاری و همچنین اثر متقابل آن‌ها در تعداد گره‌ها تفاوت معنی‌دار نشان ندادند. با مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) مشخص شد که بیشترین مقدار طول ساقه (متوسط ۲۱/۳۵ سانتیمتر)و بیشترین طول میانگره (متوسط ۲/۳۵ سانتیمتر) مربوط به تیمار میکوریز با ۸۵٪ آبیاری در ظرفیت مزرعه و کمترین آن به ترتیب با متوسط ۱۵/۲۳ سانتیمتر و ۱/۶۰ سانتیمتر مربوط به تیمار بدون میکوریز با آبیاری ۶۵٪ ظرفیت مزرعه بوده است. بین دو تیمار آبیاری با ۸۵٪ ظرفیت مزرعه و ۱۰۰ نیاز آبی تفاوت معنی‌داری از نظر طول ساقه و میانگره مشاهده نشد. همچنین بیشترین قطر ساقه (متوسط ۰/۶۱ سانتیمتر) با تیمار میکوریزی با آبیاری ۸۵٪ ظرفیت مزرعه و کمترین آن (متوسط ۰/۴۰ سانتیمتر) با تیمار بدون میکوریز و با آبیاری ۶۵٪ ظرفیت مزرعه بدست آمد. از نظر قطر ساقه سه تیمار میکوریزی در سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۸۵ و ۷۵ درصد با وضعیتی مشابه در سطح بالاتری قرار گرفته و با آزمون مقایسه دانکن تفاوت معنی‌داری با همدیگر نداشتند.

تلقیح ریزغده‌های سیب زمینی با میکوریز و در سطح آبیاری ۸۵٪ منجر به تولید بیشترین سطح برگ در گیاهان حاصل شد که با متوسط سطح برگ ۲۹۳/۶۳ سانتی متر مربع در گیاهچه با سایر تیمارهای میکوریزی و فاقد میکوریز تفاوت معنی دار داشت. گیاهچه‌های تلقیح شده با میکوریز و در سطوح آبیاری ۶۵ و ۷۵ درصد از نظر سطح برگ وضعیتی مشابه تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و بدون میکوریز داشتند و تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نشد (شکل ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس شاخص‌های رشد سیب زمینی در اثر تلقیح با میکوریز در سطوح مختلف آبیاری

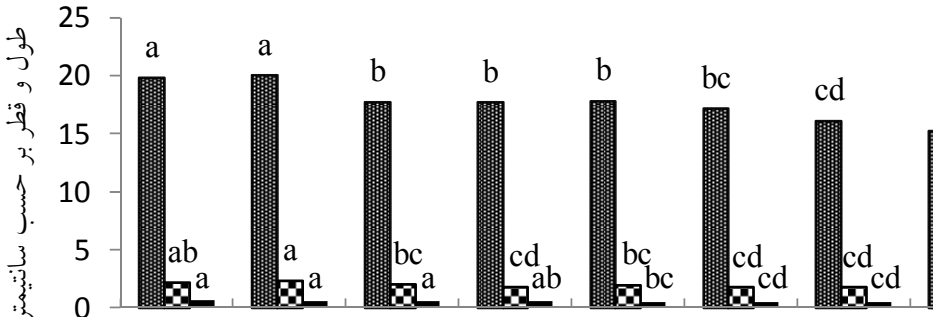
		میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	قطر ساقه	طول میانگره	تعداد گره	سطح برگ	میزان کلروفیل
تکرار	۳	۱/۲۳ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۲۲ ns	۰/۳۶ ns	۱۰۱۹ ns	۰/۰۱۴ ns
میکوریز	۱	۳۳/۲۹ **	۰/۱۲ **	۰/۸۹ **	۱/۵۳ ns	۹۷۰۷/۸۱ **	۰/۱۸ **
سطوح آبیاری	۳	۴/۲۱ ns	۰/۰۱ **	۰/۲۳ **	۰/۳۸ ns	۳۱۲۷/۰۵ **	۰/۱۴ **
میکوریز×آبیاری	۳	۴/۳۶ ns	۰/۰۰۰۶ ns	۰/۰۵ ns	۰/۴۵ ns	۹۰۴/۸۷ *	۰/۰۸ **
خطای آزمایش	۲۱						
ضریب تغییرات(٪)		۸/۳۴	۸/۲۹	۹/۱۲	۷/۱۴	۶/۳۲	۳/۷۱

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس شاخص‌های رشد سیب زمینی و درصد کلونیزاسیون ریشه در اثر تلقیح با میکوریز در سطوح مختلف آبیاری.

		میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	درصد کلونیزاسیون	تعداد ریزغده
تکرار	۳	۶/۷ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۲ ns	۳/۸۶ ns	۱/۵۱ ns
میکوریز	۱	۵۲/۷۱**	۰/۵۲ **	۰/۵۰ **	۰/۱۶ **	۲۳۶/۰۳ **	۷۵/۷۰ **
سطوح آبیاری	۳	۴۶/۷۶ **	۰/۲۶ **	۰/۱۰ **	۰/۰۴ **	۱۶۱/۵۸ **	۳۷/۵۱ **
میکوریز×آبیاری	۳	۱/۲۷ ns	۰/۰۳۴ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۱ **	۲۵/۲۶ ns	۱/۸۸ ns
خطای آزمایش	۲۱						
ضریب تغییرات(٪)		۸/۶	۱۴/۳۵	۱۵/۴۵	۹/۲۷	۲/۱۹	۵/۹۱

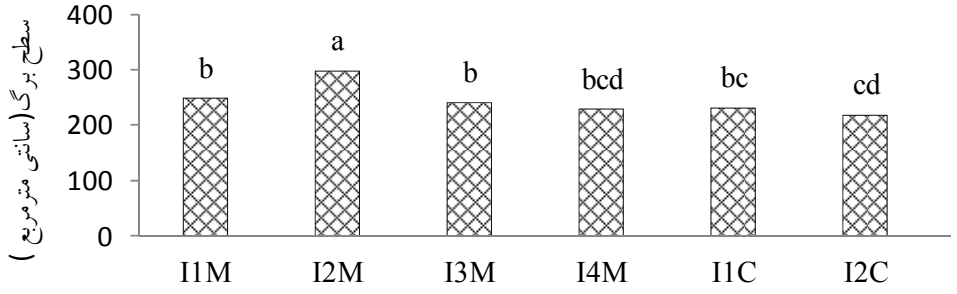
ns، * و **: به ترتیب غیر معنی داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر میکوریز و سطوح آبیاری بر طول ساقه و میانگره و قطر ساقه در گیاهان حاصل از ریزغده در سیب زمینی.

* حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

I1= آبیاری با ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه	I2= آبیاری با ۸۵٪ ظرفیت مزرعه	I3= آبیاری با ۷۵٪ ظرفیت مزرعه	I4= آبیاری با ۶۵ ظرفیت مزرعه
M= تلقیح با میکوریز	C= عدم تلقیح با میکوریز		

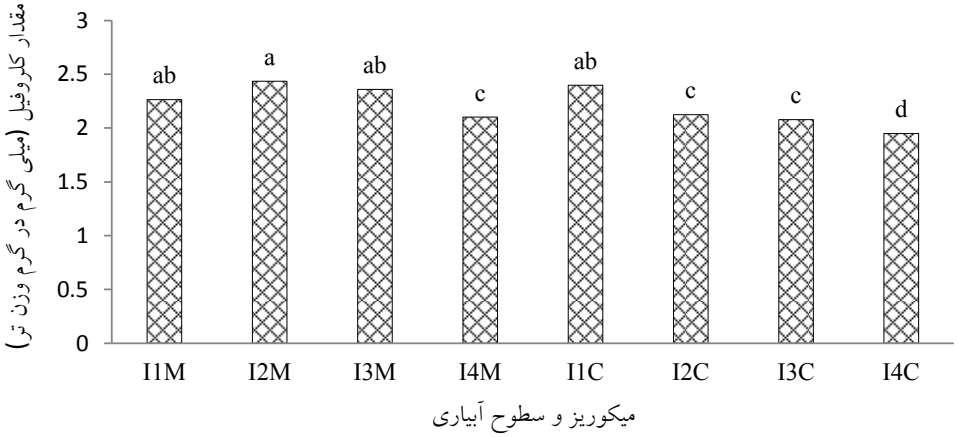


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز و سطوح آبیاری بر سطح برگ در گیاهان حاصل از ریزغده در سیب زمینی.

* حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

I1= آبیاری با ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه	I2= آبیاری با ۸۵٪ ظرفیت مزرعه	I3= آبیاری با ۷۵٪ ظرفیت مزرعه	I4= آبیاری با ۶۵ ظرفیت مزرعه
M= تلقیح با میکوریز	C= عدم تلقیح با میکوریز		

بیشترین میزان کلروفیل (با متوسط ۲/۴۳ میلی گرم در گرم وزن تر) مربوط به تیمار میکوریزی و سطح آبیاری ۸۵ درصد بود، هرچند اختلاف معنی‌داری با دو تیمار میکوریزی ۷۵ و ۱۰۰ درصد و تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و بدون میکوریز نشان نداد. تیمار میکوریزی با سطح آبیاری ۶۵ درصد از نظر میزان کلروفیل وضعیتی مشابه با تیمارهای بدون میکوریز و سطوح آبیاری ۸۵ و ۷۵ درصد داشت (شکل ۳)



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز و سطوح آبیاری بر مقدار کلروفیل در گیاهان حاصل از ریزغده در سیب زمینی.

* حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

آبیاری با ۶۵ ظرفیت مزرعه =I4	آبیاری با ۷۵٪ ظرفیت مزرعه =I3	آبیاری با ۸۵٪ ظرفیت مزرعه =I2	آبیاری با ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه =I1
		عدم تلقیح با میکوریز =C	تلقیح با میکوریز =M

مقایسه میانگین‌ها در وزن تر و خشک ساقه (جدول ۲) نشان داد که بیشترین وزن تر و وزن خشک ساقه به ترتیب با متوسط ۱۲/۶۱ و ۱/۲۹ گرم مربوط به تیمار میکوریزی با آبیاری ۸۵٪ ظرفیت مزرعه بود که با تیمار میکوریزی با آبیاری ۱۰۰٪ تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین میزان به دست آمده در وزن تر و خشک ساقه (با متوسط ۶/۹۴ و ۰/۶۲ گرم) متعلق به تیمار بدون میکوریز (شاهد) با ۶۵٪ آبیاری ظرفیت مزرعه می‌باشد که در وزن تر ساقه با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت اما در وزن خشک ساقه با مقدار آن در تیمارهای ۸۵٪ و ۷۵٪ آبیاری و بدون میکوریز اختلاف معنی داری نشان نداد. میکوریز در هر چهار تیمار آبیاری (در شرایط تنش و عدم تنش) سبب افزایش معنی‌دار در میزان ماده تر و خشک ریشه شد. این اثرات مثبت در تیمارهایی با شدت تنش بیشتر، چشمگیرتر بود (جدول ۲).در میزان تولید کل ریزغده مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تلقیح با قارچ میکوریز باعث افزایش معنی دار تولید کل ریز غده در همه سطوح آبیاری شده است. بیشترین تعداد ریزغده (متوسط ۵/۷۴ عدد در گیاهچه) با تیمار میکوریزی و با سطح آبیاری ۸۵ درصد بدست آمد که با تمامی تیمارهای میکوریز و نیز تیمارهای غیر میکوریزی اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن نشان داد. تلقیح با میکوریز در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۶۵ درصد از نظر تولید ریزغده کل وضعیتی مشابه داشت و اختلاف‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۲). در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۶۵ درصد بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه ایجاد شد و به ترتیب با متوسط ۷۱/۳۳ و ۶۹/۲۵ درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند اما با دو سطح دیگر تفاوت‌ها در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار شد. دو

سطح آبیاری ۱۰۰ و ۸۵ درصد نیز از نظر میزان کلونیزاسیون قارچ میکوریز با ریشه وضعیتی مشابه داشته و از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرات سطوح آبیاری و تلقیح میکوریز بر برخی شاخص‌های رشد، درصد کلونیزاسیون ریشه و تولید ریز غده در گیاهچه‌های سیب‌زمینی.

تیمارهای آزمایش	وزن تر ساقه (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	درصد کلونیزاسیون	متوسط تعداد کل ریزغده در گیاهچه
میکوریز×۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه	۱۱/۴۳ ab	۱/۱۷ ab	۱/۰۹ a	۰/۳۱ a	۶۵/۵۰ b	۵/۳۷ b
میکوریز×۸۵٪ ظرفیت مزرعه	۱۲/۶۱ a	۱/۲۹ a	۱/۱۲ a	۰/۲ a	۶۶/۲۵ b	۵/۷۴ a
میکوریز×۷۵٪ ظرفیت مزرعه	۱۰/۳۲ bc	۰/۸۶ cd	۱/۰۲ ab	۰/۱۱ b	۷۱/۳۳ a	۵/۰۰ cd
میکوریز×۶۵٪ ظرفیت مزرعه	۹/۶۱ cd	۰/۸۴ cd	۰/۹۲ ab	۰/۱۰ bc	۶۹/۲۵ a	۴/۶۸ de
شاهد×۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه	۱۰/۳۳ bc	۱/۰۰ bc	۰/۹۴ ab	۰/۰۹ bc	-	۵/۲۲ bc
شاهد×۸۵٪ ظرفیت مزرعه	۸/۳۷ d	۰/۷۶ de	۰/۸۲ b	۰/۰۷ bcd	-	۴/۴۱ e
شاهد×۷۵٪ ظرفیت مزرعه	۸/۳۰ d	۰/۷۴ de	۰/۸۰ b	۰/۰۴ cd	-	۴/۳۸ e
شاهد×۶۵٪ ظرفیت مزرعه	۶/۹۴ e	۰/۶۲ e	۰/۵۸ c	۰/۰۳ d	-	۳/۷۲ f

میانگین‌هایی که در هر ستون جداگانه با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

بحث

قارچ‌های میکوریز با افزایش محتوای آب نسبی (Relative Water Content) (RWC) می توانند موجب تسهیل در جذب فسفر از خاک شده و در نهایت نقش موثری در افزایش رشد گیاه داشته باشند (۴ و ۱۹). افزایش جذب فسفر به نوبه خود با تأمین انرژی مورد نیاز در دستگاه فتوسنتزی و افزایش فعالیت آنزیم‌های موثر در فتوسنتز به افزایش راندمان فتوسنتز منجر شده و تحریک رشد گیاه را موجب خواهد شد. ثابت شده است که میکوریز با افزایش قندهای محلول و پرولین در محیط ریشه سبب کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه نسبت به محیط خاک شده و از این طریق به انتقال بیشتر آب به محیط ریشه بویژه در شرایط تنش کمک می‌کند (۶). کارآیی بیشتر میکوریز در تحریک رشد گیاه سیب زمینی در شرایط تنش نسبت به شرایط معمول (تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی) می‌تواند دلیل مشخصی بر افزایش طول بیشتر ساقه و متناسب با آن قطر ساقه در هر سه سطح تنش نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد باشد. نسبت افزایش طول و قطر ساقه و همچنین طول میانگره در این سه تیمار نسبت به تأمین آب کامل به مراتب بالاتر بوده است. به نظر می‌رسد نقش دیگر میکوریز در تحریک و توسعه رشد رویشی ناشی از تأثیر آن بر تولید و سنتز فیتوهورمون‌های گیاهی رشد و بویژه اکسین باشد. گزارش‌های زیادی از افزایش مقدار ایندول استیک اسید ، جیبرلین و سیتوکنین در گیاهان همزیست با میکوریز ارائه شده است (۲۲).

با نتایج این پژوهش و تحریکی که در رشد طولی و قطری ساقه ایجاد شده است، معلوم شده است که همزیستی سیب‌زمینی با قارچ میکوریز اثرات تنش آبیاری را کاهش داده و از نقصان رشد گیاه در نتیجه تنش احتمالی جلوگیری کرده است و از این نظر با نتایج تحقیقات مربوطه در ذرت (۳) مطابقت دارد. همچنین اثر همزیستی قارچ با ریشه گیاه در افزایش طول ساقه، طول میانگره و قطر ساقه در این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران در سیب‌زمینی (۱۳) همخوانی داشته و نتایج پژوهش نادیا و

همکاران (۲۵) در گیاه آکاسیا در کاربرد میکوریز تحت شرایط تنش را نیز مورد تأئید قرار می‌دهد. لویزیا و همکاران (۲۳) نیز با اعمال تنش خشکی تا ۴۰٪ ظرفیت مزرعه در توت فرنگی‌های تلقیح شده با میکوریز نتیجه گرفتند که در شرایط کاهش آبیاری به همان اندازه یا بیشتر از تیمارهای تلیقح نشده با آبیاری، رشد رویشی ایجاد شد.

اثرات غیر معنی‌دار میکوریز و سطوح تنش بر تعداد گره در سیب زمینی به این مفهوم می‌باشد که هر چند میکوریز در تیمارهای تنش آبی قادر به افزایش معنی‌دار در طول و قطر ساقه شده است اما به دلیل این که این رشد موزون و متعادل بوده و قطر ساقه نیز افزایش قابل توجهی به موازات طول میانگره داشته است، لذا تعداد گره درنتیجه تلقیح با میکوریز افزایش معنی‌دار نشان نداده است. بنابراین افزایش طول ساقه بیشتر ناشی از افزایش طول میانگره بوده است و کمتر تحت تأثیر رشد انتهایی ساقه و افزایش تعداد گره قرارگرفته است.

در گزارش‌های مختلف دلیل مشخص افزایش سطح برگ در گیاهان میکوریزی با شدت جذب عناصر غذایی و بویژه فسفر مرتبط دانسته شده است. فسفر با افزایش سرعت فتوسنتز و تحریک سنتز فیتوهورمون‌های گیاهی و بخصوص سیتوکنین نقش اساسی در افزایش سطح برگ در شرایط تلقیح با میکوریز دارد (۲۲). علیزاده و همکاران (۳) نیز گزارش کردند که میکوریز در شرایط تنش خشکی سبب افزایش سطح برگ در ذرت شده است.

افزایش میزان کلروفیل کل در تیمارهای تلقیح شده با قارچ میکوریز و مخصوصا در شرایط تنش شدیدتر حاکی از قدرت بالاتر کلونیزه شدن میکوریز در شرایط سخت در گیاه سیب زمینی و گیاهان مشابه از نظر نیاز آبی می‌باشد. بنابراین در شرایطی که محدودیت پتانسیل مکش آب در خاک وجود داشته باشد میکوریز با کارآیی بیشتر به جذب آب و مواد غذایی در گیاه سهولت داده و به طور غیر مستقیم با تأمین شرایط لازم در بیوسنتز کلروفیل، به گیاه در تولید زیست توده (Biomass) لازم برای ادامه فعالیت‌های حیاتی و گذر از تنش کمک می‌کند. از طرفی نیز در بازخورد دو سویه (Bilinear feedback) زمینه مساعدتری را در تأمین مواد کربنی (منبع انرژی) و دریافت آن از گیاه در شرایط سخت‌تر و ادامه حیات خود فراهم می‌کند. همچنین ممکن است بخشی از اثرات مثبت میکوریز در افزایش سنتز کلروفیل در گیاهچه‌های سیب زمینی به دلیل نقش مثبت آن در سنتز فیتوهورمون‌های گیاهی و از جمله سیتوکینین باشد. افزایش سطوح هورمون‌های گیاهی سیتوکینین و مواد شبه جیبرلینی در بافت‌های گیاهان میزبان پس از کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریز در برخی گیاهان به اثبات رسیده است. همچنین مشخص شده است که ریسه‌های قارچ و اسپورهای ثانویه در گونهٔ *G. moseae* قادر به تولید دو ماده شبه جیبرلینی، چهار ماده شبه سایتوکینینی و همچنین چند ماده شبه اُکسینی بوده‌اند (۵ و ۲۲).

با بررسی فاکتورهای رشد می‌توان به وابستگی نزدیکی بین افزایش در وزن تر و خشک ساقه و صفاتی از قبیل طول و قطر ساقه و نیز طول میانگره در تیمارهای میکوریزی پی برد. با این نتایج به خوبی می‌توان دریافت که افزایش وزن تر و خشک ساقه ناشی از اثر مستقیم میکوریز در افزایش مقدار کلروفیل، ارتقاء ظرفیت فتوسنتز و در نتیجه بهبود رشد نسبی در ریزغده‌های تلقیح شده می‌باشد. اثرات مثبت میکوریز در افزایش وزن تر و خشک ساقه در گیاهان حاصل از ریزغده‌های سیب زمینی در شرایط کم آبیاری دراین تحقیق با نتایج پژوهش علیزاده و همکاران(۳) در ذرت هماهنگی دارد. همچنین نتایج پژوهش نادیای و همکاران (۲۶) در کاربرد میکوریز با آکاسیا را در شرایط تنش خشکی را مورد تأئید قرار می‌دهد.

در گیاه سیب زمینی میکوریز به دو دلیل ممکن است نقش مساعدی در افزایش وزن تر و خشک ریشه و در نتیجه زیست توده ریشه داشته باشد، از طرفی با تحریک

انشعابات جانبی به افزایش سطح ریشه کمک نموده و از سوئی هم با کمک به جذب بیشتر فسفر و تحریک سنتز آسیمیلات‌ها، رشدی مضاعف را در ریشه‌ها ایجاد می‌نماید (۲۲). اثر میکوریز در افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی با نتایج ارائه شده توسط چن و همکاران (۱۰) در سیب زمینی، علیزاده و همکاران (۳) در ذرت و همچنین با نتایج پژوهش اسمعیل نژاد خیاوی و خارا (۱) در کدو خورشتی نیز مطابقت دارد. تاثیر مثبت تلقیح با میکوریز در افزایش تولید ریزغده به افزایش جذب عناصر غذایی بویژه فسفر می‌تواند نسبت داده شود. همچنین ممکن است میکوریز در شرایط تنش با افزایش سنتز هورمون‌های رشد و بویژه سیتوکینین و همچنین بالابردن سطوح پلی آمین‌ها اثری دو جانبه در افزایش کارآیی فتوسنتز و تعدیل اثرات تنش و در نتیجه افزایش عملکرد در گیاهان سیب زمینی داشته باشد. اثرات مثبت تلقیح با قارچ میکوریز در افزایش عملکرد کل و تعداد کل ریزغده و توزیع مناسب‌تر ریزغده‌ها با پژوهش دوفی و همکاران (۱۳) نیز مورد تأئید قرار گرفته است. با نتایج این پژوهش در وضعیت کلونیزاسیون میکوریز با ریشه سیب زمینی مشخص می‌شود که در حالت کلی گونه میکوریز از *G. intraradices* باترکیب جمعیت فعال قارچ ذکرشده، قابلیت بالایی در جهت کلونیزاسیون باگیاهچه‌های سیب زمینی دارد. از طرفی شدت کلونیزاسیون این قارچ متناسب با کاهش آب آبیاری و شدت تنش افزایش پیدا کرده است. قابلیت بالای این قارچ در جهت کلونیزه شدن با سیب زمینی قبلا با پژوهش‌های الیزابت و همکاران (۱۵) و پرویزی و همکاران (۲) نیز به اثبات رسیده است.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع با نتایج این پژوهش مشخص شد که تلقیح ریزغده‌های سیب زمینی با قارچ همزیست میکوریز و در سطوح مختلف آبیاری باعث ارتقاء قدرت رشد گیاهچه و همچنین افزایش تولید تعداد ریزغده و در نتیجه ضریب تکثیر بیشتر می‌شود. اثرات مثبت میکوریز در افزایش شاخص‌های رشد به خصوص در تیمارهایی با تنش شدیدتر، بیشتر قابل توجه بوده و به عنوان نقطه قوت کاربرد میکوریز می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

منابع

۱- اسمعیل نژاد خیاوی، نسرین و خارا، جلیل (۱۳۹۳). تأثیر قارچ میکوریز آربوسکولار *Glomus Etunicatum* بر روی رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیک در گیاه کدوی خورشتی تحت سمیت علفکش متری ب وزین. مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران) (جلد ۲۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳)

۲- پرویزی، خسرو. دشتی، فرشاد. اثنی عشری، محمود و رجالی، فرهاد (۱۳۹۲). اثر همزیستی قارچ آربوسکولار میکوریز بر سطوح مواد تنظیم‌کننده رشد، ویژگی‌های رشد و عملکرد گیاهچه‌های سیب‌زمینی در محیط درون‌شیشه‌ای و شرایط طبیعی. پایان نامه دکتری تخصصی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. ۲۵۶ ص.

۳- علیزاده، امید. مجیدی، اسلام. نادیان، حبیب الله. نورمحمدی، قربان و عامریان، محمدرضا (۱۳۸۶). بررسی اثرات تلقیح میکوریز در سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ذرت، مجله یافته های نوین کشاورزی (جلد ۱، شماره ۴، ۳۰۹-۳۱۹)

4- Auge, R.M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. Canadian Journal Soil Science 84:373-381.

5- Allen, M.F. Smith, W.K. Moore, T.S. and Christensen, M. 1981. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal Bouteloua gracilis. New Phytologist. 88: 683-693.

6- Bagheri, V. Shamshiri, M.H. Shirani, H. and Roosta, H. 2012. Effect of Arbuscular Mycorrhizae and drought stress on growth Indexes, water relations and proline as well as Soluble Carbohydrate Content in Pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstock seedlings. Iranian Journal of Horticultural Science. 42 (4), 365-377.

7- Bajaj, Y.P.S. and Sopory S.K. 1988. Biotechnology of potato improvement, In Bajaj, Y.P.S. (eds). Biotechnology in Agriculture and Forestry 2. Springer-Verlag Germany. P 429-454.

8- Bierman, B. and Linderman, R.G. 1980. Quantifying vesicular – arbuscular mycorrhizae: a proposed method toward standardization. New Phytology. 87: 63–67.

9- Brachmann, A. and Parniske, M. 2006. The most important symbiosis on earth. Public Library of Science Biology. 4: 19-31

10- Chen, X. Chunhua, W. Jianjun, T. and Shuijin, Hu. 2005. Arbuscular mycorrhiza enhance metal lead uptake and growth of host plant under a sand culture experiment. Chemosphere Journal. 60: 665-671.

11- David, D. Gerald, N. Carolyn, R. and Paul, R.H. 2007. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. Biological Agriculture Horticulture. 25: 67-78.

12- Davies, J. Calderón, F. T. and Huainan, Z. 2005. Influence of arhuscular on growth, Yield, and leaf elemental concentration of 'Yungay' potatoes. Hort Science. 40: 381-385.

13- Duffy, E.M. Hurley E. and Casseles, A.C. 1999. Weaning performance of potato microplants following bacterization and micorrhization. Potato Research. 42: 521-527.

14- Ekelof, J. 2007. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. Master project in the horticultural Science Programme, Netherland, ED (ECTS). 130 pp.

15- Elizabeth, M. Duffy, A. and Cassele, C. 2000. The effect of inoculation of potato microplant with arbuscular mycorrhizal fungi on tuber yield and tuber size distribution. Applied Soil Ecology. 15: 137-144.

16- Ewing, E.E. 1997. The physiology of vegetable crops. CABI publishing. P. 295-340.

17- Fortin, J.A. Becard G. Dalpe, S. and St- Arnoud, M.Y. 2002. Arbuscular mycorrhiza on root-organ cultures. Canadian Journal Botany 80: 1-20.

18- Gaurav, S.S. Sirohi, S.P.S. Singh, B. and Sirohi, P. 2010. Effect of mycorrhiza on growth, yield and tuber deformity in Potato (*Solanum tuberosum L.*) grown under water stress conditions. Progressive Agriculture Journal. 10: 31-40.

19- Goicoechea, N. Antolín, M.C. and Sánchez-Díaz, M. 1997. Influence of arbuscular mycorrhizae and Rhizobium on nutrient content and water relations in drought stressed alfalfa. Plant and Soil Journal. 192: 261- 268.

20- Gonigle, T. Miller, M. and Swan, J. 1990. A new method that gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytology 115: 495-501.

21- Gross, J. 1991. Pigments in vegetables. 2th Ed. Von Nostrand Rrinhold, New York PP 351.

22- Ludwig-Müller, J.L. 2000 "Hormonal balance in plants during colonization by mycorrhizal fungi". In Kapulnik, M and Douds, J. (eds). "Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function". Kluwer Publishers, Netherlands. P. 263-285.

23- Louisa R.B. Wei Feng, N.G. Klara Hajdu, R.J. Harrison, P. J. and Xiangming Xu. 2016. The use of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to improve strawberry production in Coir Substrate. Plant Science. 7: 1237-1252.

24- McArthur, D.A. and Knowles, N.R. 2003. Influence of species of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus nutrition on growth, development, and mineral nutrition of potato (*Solanum tuberosum L.*). Plant Physiology 102:771-782.

25- Mutetwa, M. Shoko, M.D. and Matiata, T.A. 2010. The effect of super phosphate and planting density on minituber production from true potato seed. Second reform Biennial Meeting, 20-24 September 2010, Entebbe, Uganda. P.120-126.

26- Nadiaye, M. Cavalli, E. Anicet, G.B.M. and Tahir Abdoula, D. 2010. Improved Acacia Senegal Growth after Inoculation with Abuscular Mycorrhizal Fungi under water deficiency conditions. International journal of Agriculture & Biology. 271-274.

27- Otazu, V. 2010. Manual on quality seed potato production using aeroponics. International potato Cenre (CIP). Lima, Peru. 44 pp.

28- Parvizi, K. Dashti, F. Mahmood, E.A. and Rejali, F. 2013. Symbiotic effect of Arbuscular mycorrhiza on growth regulators levels, growth properties and yield in potato plantlets *in vitro* and *ex vitro*. Ph.D dissertation, Faculty of Horticulture, University of Bu-Ali sina, Hamedan, Iran. [In Persian with English Summary]

29- Phillips, J.M. and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Mycology Society Journal 55: 159-161.

30- Rausch, C. Daram, S. Brunner, J. Jansa, M. Laloi, G. Leggewie, N. and Bucher, M. 2001. A phosphate transporter expressed in arbuscule-containing cells in potato. Nature 414: 462-466.

31- Rolot, J. Seutin, H. and Michelant, D. 2002. Production de minitubercules de pomme de terre par hydroponic. Biotechnology Agronomy Society Environment 6(3): 155-161.

32- Ryan, N.A. Deliopoulos T. Jones, P. and Haydock, P.P. 2003. Effects of mixed-isolate mycorrhizal inoculums on the potato- potato cyst nematode interaction. Annual Applied Biology 143: 111-119.

33- Sanchez-Blanco, M.J. Ferrnandez, T. Morales, M.A. Morte, A. and Alarcon, J.J. 2001. Variation in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glumus deserticola* under drought conditions. Journal of Plant Physiology 161:675-682.

34- Smith, S.E. and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. 3rd edit. London Academic Press, 787p.

35- Tobar, R. Azcón, R. and Barea, J.M. 1994. Improved nitrogen uptake and transport from 15N-labelled nitrate by external hyphae of arbuscular mycorrhiza under water-stressed conditions. New Phytologist 126: 119-122.

36- Toro, M. Azcon, R. and Barea, J. 1997. Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate-solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability (sup32)P) and nutrient cycling. Applied Environmental Microbiology 63: 4408-4412.

37- Wu, Q.S. and Xia, R.X. 2006. Arbascular mycorrhiza fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well watered and water stress conditions. Journal of Plant Production 8: 47–55.

Evaluation of potato growth traits by inoculation of mycorrhiza under drought stress conditions.

Parvizi K. and Navaei A.

Dept. of Seed and Plant Improvement, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.

Abstract

This experiment had been carried out to evaluate the potential of mycorrhiza fungus on growth rate and performance of plantlets derived minituber in water deficiency condition. The test was conducted in a factorial experiment based on completely randomized design with four replications. The factors included four level irrigation regimes (100%, 85%, 75% and 65% of water field capacity), inoculation of potato minituber by mycorrhiza sp. *Glomus intraradices* (inoculum containing 4 gram culture medium mixed with colonized corn root having a minimum of 80 fungus spore) and non-inoculated ones. Growth indices such as stem length and diameter, internode number and length, stem and root fresh weight, leaf area and chlorophyll content were measured. Analysis of variance showed that the main effect of mycorrhiza and water irrigation regimes had significant effect by probability of 1% α level on stem length, leaf area, chlorophyll content, colonization percentage, fresh and dry stem weight, fresh and dry root weight and number of minituber. Interaction effect of two factors was significant only in leaf area, chlorophyll content and dry root weight. By mean comparisons demonstrated that the highest internode and stem length, fresh and dry stem weight, fresh root weight, leaf area and chlorophyll content were accomplished in mycorrhizal inoculation with 85% FC providing water. Totally, the results demonstrated that mycorrhization of minituber in two lower water available levels produce plantlets that had same situations as compared with non-inoculated of 100% FC providing water.

Key words: Growth indices, Potato, Mycorrhizal fungus, Water stress.