Archive of SID

فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۶، شماره ۲، صفحه ۳۱۱-۲۹۵، (۱۳۹۹)

شناسایی و بررسی اثرهای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار مقاوم به سرب و روی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گونه محلب (*Cerasus mahaleb* L. Mill.)

بهمن زمانی کبرآبادی[۱]، سیدمحمد حجتی[۲]، فرهاد رجالی[۳]، مسعود اسماعیلی شریف*[٤] و حمیدرضا رحمانی[۵]

۱- دانشجوی دکتری، جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (zamanikebrabadi67@gmail.com)
۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (s_m_hodjati@yahoo.com)
۳- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات آب‌وخاک کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران. (rejali@yahoo.com)
٤- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. (m.esmaeilisharif@areeo.ac.ir)
۵- استادیار پژوهش، تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. (hr_rahmani@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۷

چکیده

در این آزمایش نهال‌های یک‌ساله محلب با شش تیمار قارچ میکوریز (*Diversispora versiformis*، *Claroideoglomus etunicatum*، *Rhizophagus irregularis*، *Funneliformis mosseae*، یک تیمار ترکیبی) گونه‌های مذکور تلقیح شده و همراه با تیمار شاهد در پنج نوع خاک (شاهد یا بدون آلودگی، آلوده طبیعی، آلوده‌شده با سرب، آلوده‌شده با روی و آلوده‌شده با سرب و روی) کاشته شدند. بیشترین مقدار کلونیزاسیون در تیمار سویه ترکیبی به مقدار ۵۱ درصد و کمترین مقدار در تیمار شاهد ۲٤ درصد بود. رویش قطری، ارتفاع نهال و شاخص سطح برگ در تلقیح با سویه ترکیبی به ترتیب ۱/٤۲ میلی‌متر، ۱۱/۹۱ سانتی‌متر و ۱۹/۰۱ واحد نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار سویه ترکیبی به‌ترتیب ٤۲/۰٤ و ۲۱/۳٦ گرم و کمترین مقدار آن در شاهد به ترتیب ۲۲/۳٤ و ۱۱/۳۳ گرم بود. تیمار سویه ترکیبی و تیمار خاک غیرآلوده موجب بیشینه رشد در گونه محلب شد. در گیاهانی که با قارچ میکوریز تلقیح شده بودند، میانگین همه متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در مقایسه با گیاهان شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. تیمار سویه ترکیبی در تجمع ماده خشک بیشترین تأثیر را داشته است.

واژه‌های کلیدی: آربوسکولار، آلودگی خاک، زیست پالایی، ویژگی‌های مورفولوژیکی.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۳۳۲۹۳۵۸۳

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

خاک به‌عنوان جزئی از بیوسفر نقش مهمی در تولید غذا و پایداری محیط‌زیست دارد. امروزه آلودگی خاک با فلزات سنگین به دلیل پایداری طولانی‌مدت فلزات سنگین در خاک و دارا بودن پتانسیل تأثیرات مضر بوم‌شناختی تبدیل به یک بحران زیست‌محیطی شده است (Bojarczuk & Kieliszewska-Rokicka, 2010). فلزات سنگین عناصر فلزی با وزن مخصوص بیشتر از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند (Torresday *et al.*, 2005). آلودگی اکوسیستم با فلزات سنگین از طریق فرسایش طبیعی سنگ‌ها و فعالیت‌های بشر از قبیل احتراق سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، تصفیه سنگ‌های حاوی فلز، دفع کنترل‌شده و نشده پساب‌ها، استفاده از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و مواد رنگی انجام می‌شود (Abdullahi *et al.*, 2009). با توجه به نقش فلزات سنگین در گیاه می‌توان آنها را به دو دسته تقسیم کرد: ۱) عناصر ضروری (روی، مس، منگنز، آهن و نیکل) که برای فرآیندهای متابولیکی گیاه ضروری هستند و ۲) عناصر غیرضروری (کادمیم، سرب و جیوه) (Taiz & Zeiger, 1998، Sebastiani *et al.*, 2004). فلزات بالقوه سمی بر فراوانی، غنای و تنوع گونه‌ای و میکروبی خاک‌ها اثر می‌گذارند. به‌طورکلی همه موجودات خاک‌زی به‌طور یکسان و یکنواخت از آلودگی فلزات سنگین متأثر نمی‌شوند. از اثرهای اصلی فلزات سرب و روی در گیاهان چوبی و علفی می‌توان به کاهش تولید کلروفیل و رشد گیاه، افزایش سوپراکساید دیسموتاز، کاهش سمیت نیکل و جوانه‌زنی بذر، افزایش نامنظم رشد گیاه و کاهش نسبت ATP به کلروفیل اشاره کرد (Jorge *et al.*, 2005، Lone *et al.*, 2008). فلزات سنگین می‌توانند به‌عنوان عامل انتخابی قوی، در ظهور سویه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار متحمل یا مقاوم، نقش مهمی داشته باشند. از این‌رو، حضور اکوتیپ‌های مختلف قارچ میکوریز آربوسکولار در خاک‌هایی با آلودگی شدید به فلزات سنگین امکان‌پذیر است. روش‌های فیزیکی و شیمیایی متعددی برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین وجود دارد که اغلب آنها علاوه بر هزینه زیاد منجر به تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک می‌شوند (Kramer, 2005). در سال‌های اخیر گیاه‌پالایی به‌عنوان روشی مؤثر، ارزان قیمت و دوستدار محیط‌زیست برای حذف، جابجایی و یا غیرفعال کردن آلاینده‌ها از خاک‌های آلوده توصیه شده است (Rafati *et al.*, 2011،Susarla *et al.*, 2002). در واقع، گیاه‌پالایی فناوری استفاده از گیاهان در پالایش بسترهای آلوده است (Arriagada *et al.*, 2005). Majidi و همکاران (2015) طی پژوهشی به مقایسه شش گونه چوبی اقاقیا، زبان‌گنجشک، سپیدار، تبریزی، رُز و بید برای انتخاب بهترین گونه چوبی جاذب عناصر سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب پرداخته و گزارش دادند بهترین گونه برای گیاه‌پالایی روی و کادمیوم گونه سپیدار است. عوامل متعددی در حفظ و پایداری گونه‌های درختی تأثیر می‌گذارند. علاوه بر آب و عناصر غذایی موجود در خاک، حضور ریز موجودات مفید مانند قارچ‌های میکوریزی نیز به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر بقای بوم نظام‌ها و همچنین گسترش گونه‌های گیاهی مطرح هستند. یکی از راه‌کارهای پیشنهادی برای موفقیت در برنامه‌های احیایی، استفاده از روش‌های زیستی، مانند تلقیح نهال‌ها با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار است (Caravaca *et al.*, 2003). قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا از شناخته‌شده‌ترین انواع قارچ‌های میکوریز هستند که پراکنش وسیع‌تری داشته و با اغلب

www.SID.ir

Archive of SID

گونه‌های گیاهی (بیش از ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی) به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همزیستی دارند (Sheng *et al.*, 2008). در مورد اثرهای تغذیه‌ای و فیزیولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر جوامع گیاهی و میکروبی اکوسیستم‌های کشاورزی و منابع طبیعی پژوهش‌های زیادی انجام شده، ولی در مورد اهمیت این قارچ‌ها در خاک‌های آلوده، مکانیسم‌های قارچی و نقش آنها در تحمل‌پذیری این موجودات نسبت به فلزات بالقوه سمی اطلاعات کمتری در دسترس است.

محلب با نام علمی (*Cerasus mahaleb* L. Mill.) از خانواده Rosaceae از درختان بومی منطقه اروپای جنوبی و قفقاز بوده و محل رویش آن جنوب اروپا، آسیای کوچک، ایران و پاکستان است. محلب از نظر قانون ملی شدن جنگل‌ها از درختان و درختچه‌های خودرو ایران محسوب شده است که در عرصه‌های منابع طبیعی کشور همراه با گونه‌هایی چون زربین، ارس، شمشاد، سرخدار و غیره در دسته اول از اهمیت حفاظت قرار گرفته است، از این‌رو کارهای زیادی از نظر تشکیل باغ بذر نسل سوم درختان جنگلی با استفاده از ژنوتیپ‌های منتخب، شناخت توانمندی ژنتیکی جمعیت‌ها و کلن‌های موجود محلب در عرصه‌های فعلی، شناسایی پایه‌های برتر و نخبه از بین پایه‌های موجود محلب، ایجاد باغ بذر پیوندی و بذری محلب که در نهایت منجر به اصلاح نژاد درخت محلب برای جنگلکاری و توانمندسازی جوامع محلی و جنگلداری مشارکتی شده است (Khatamsaz, 1992، Sabeti, 1976)، همچنین این گونه دارای ویژگی مقاومت به شرایط خشکی و خاک‌های فقیر است که خود نشان‌دهنده اهمیت توسعه و افزایش جنگلکاری با گونه محلب است، این گونه در خاک‌های سبک، آهکی و سنگلاخی، همچنین نسبت به زمستان‌های سرد از سازگاری خوبی برخوردار است. انتشار جغرافیایی محلب در ایران بسیار وسیع و در نواحی معتدله کشور پراکنده است. باوجودآنکه استفاده از قارچ‌های میکوریزی در مدیریت احیای منابع طبیعی تخریب یافته بسیار دارای اهمیت است، تاکنون در کشور ما گام‌های مؤثری در این خصوص برداشته نشده است. امروزه استفاده و کاربرد فنون پیشرفته همچون استفاده از میکروارگانیسم‌های همزیست با گیاه، می‌تواند سبب افزایش کارایی گیاه‌پالایی، کاهش مدت‌زمان لازم برای زدودن آلودگی و توسعه کاربرد آن شود (Khademi & Kord, 2010).

گونه‌های مناسب زیست‌پالایی دارای ویژگی‌هایی مانند سیستم ریشه‌ای گسترده، نرخ تعریق بالا، رشد سریع و تولید زی‌توده بالا هستند. برخی از مزایای زیست‌پالایی با استفاده از درختان شامل: تولید زی‌توده بالا، تنوع ژنتیکی بالا، قابل‌استفاده در انواع سامانه‌های جنگلداری، توانایی زیبا کردن چشم‌انداز و توانایی پایدار کردن و تثبیت رویشگاه‌ها است. از طرفی ارزیابی گونه محلب به‌عنوان یک گونه در زیست-پالایی برای ما از نظر حفاظت از ذخایر توارثی نیز دارای اهمیت بود. گونه محلب یک گونه در حال انقراض در جنگل‌های زاگرس محسوب می‌شود و عملکرد آن نسبت به پالایش فلزات سنگین اگر مثبت بود می‌توان با کاشت و گسترش آن در اطراف کارخانه‌ها، شهرک‌های صنعتی و مناطق آلوده به فلزات سنگین هم در کاهش آلودگی خاک از آن استفاده کرد و هم با گسترش آن از انقراض یک گونه مهم جنگل‌های زاگرس جلوگیری کرد. گونه محلب گونه‌ای مقاوم در مقابل سرما و یخبندان است پس با توجه به اینکه یک گونه زیست‌پالا اگر بتواند مقاوم به این شرایط نیز باشد دارای ویژگی مهمی است پس هدف این پژوهش رد یا قبول این فرضیه بود که آیا

www.SID.ir

Archive of SID

محلب گونه مناسبی برای زیست‌پالایی است؟ همچنین آیا می‌توان گونه‌های بومی میکوریزی را به‌عنوان یک ابزار بیوتکنولوژیکی موفق برای کمک به کاهش آلودگی خاک به فلزات سنگین استفاده کرد؟ بنابراین هدف این پژوهش، معرفی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار مقاوم به سرب و روی و تأثیر آنها بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گونه محلب است.

مواد و روش‌ها

برای اجرای پژوهش، نهال‌های یک‌ساله و با مورفولوژی یکسان حاصل از بذر پایه‌ی مادری یکسان، هدف‌گذاری شد. سپس از گونه درختی محلب با متوسط ارتفاع ۷۰-۵۰ سانتی‌متر، حداقل قطر ۱/۵-۱ سانتی‌متر و تعداد برگ حداقل تا ۳۰ عدد (سعی شد تمامی نهال‌های مورد استفاده دارای میانگین شرایط ارتفاع، قطر، شادابی، تعداد برگ و ... یکسان باشند)، از نهالستان جبل عاملیان وابسته به اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان انتخاب و تهیه شد. نهال‌های تهیه‌شده به گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان منتقل و به مدت بیست روز برای سازگاری با شرایط جدید، در آنجا نگهداری شدند.

در این پژوهش نیاز به جمع‌آوری خاک آلوده به عناصر سنگین سرب و روی و خاک غیر آلوده به عناصر سنگین در شرایط طبیعی بود. به همین منظور مقدار خاک آلوده موردنیاز از معدن سرب و روی باما به مقدار کافی برای گلدان‌ها از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر برداشت شد (Samani Majd *et al.*, 2007) و پس از خشک‌شدن در هوای آزاد و عبور از الک هشت میلی‌متری، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن به همراه مقدار عناصر سنگین سرب و روی بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد (Carter, 1993). همچنین جمع‌آوری خاک غیرآلوده به عناصر سنگین سرب و روی به مقدار کافی برای گلدان‌ها از نهالستان جبل عاملیان وابسته به اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان تهیه شد. نحوه آلوده کردن تیمارهای خاک نیز به این صورت بود که ابتدا ۸ کیلوگرم خاک برای هر تیمار توزین و سپس غلظت ۵۳۵ گرم بر کیلوگرم سرب به‌صورت نمک نیترات سرب ۹۹ درصد ($Pb(NO_3)_2$ (Merck)) و غلظت ۲۲۰ گرم بر کیلوگرم روی به‌صورت کلرید روی ($ZnCl_2$(Merck)) به ازای هر کیلوگرم خاک محاسبه و با خاک مخلوط و در گلدان ریخته شد. تفاوت در نیترات تیمارهای آلوده و شاهد از طریق کود اوره محاسبه و اعمال شد. آلودگی خاک غیر آلوده به فلزات سنگین در دو مرحله انجام شد: ۱- نیترات سرب و کلرید روی به شکل محلول و از طریق پاشش روی خاک، به‌نحوی‌که ایجاد آلودگی تا حد ممکن به‌صورت یکنواخت در لایه‌لایه خاک باشد، انجام شد (Motesharezadeh & Savaghebi, 2010) و سپس خاک کاملاً مخلوط شد تا آلودگی در کل خاک یکنواخت شود. ۲- خاک آلوده‌شده به شکل مصنوعی به مدت چند ماه (۳ تا ۵ ماه) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در شرایط گرما گذاری قرار گرفت و در طول گرما گذاری، با توجه به خشک شدن خاک سطح گلدان‌ها، آبیاری با آب مقطر، در حد ظرفیت مزرعه (با توجه به حجم خاک گلدان‌ها آبیاری به شکلی انجام می‌شد که از قسمت ته گلدان خروج آب وجود نداشته باشد) انجام شد تا به املاح خاک اجازه داده شود با آبیاری به عمق گلدان رفته و با انجام عمل تبخیر به سطح خاک بازگردند و به‌این‌ترتیب در کل خاک به‌طور یکنواخت توزیع شوند (Yizong *et al.*, 2009). لازم به ذکر است که در این پژوهش عملکرد گونه‌های گیاهی مورد بررسی در شرایط نزدیک به

www.SID.ir

Archive of SID

طبیعت (خاک‌های با آلودگی طبیعی در شرایط غیر- استریل) بررسی شده، مقدار ایجاد آلودگی به سرب و روی در خاک مورد استفاده، برابر با مقدار سرب و روی موجود در خاک آلوده (معدن) شده است.

در این مرحله نهال‌های محلب در گلدان همراه با شش تیمار از قارچ میکوریز آربوسکولار غیربومی از نوع اندومیکوریزا که معمولاً با گونه‌های پهن‌برگ چوبی همزیستی خوبی برقرار می‌کنند، کشت شدند. گونه‌های قارچی از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور واقع در کرج تهیه شد. به‌منظور اعمال تیمار قارچ میکوریزی آربوسکولار، مقدار ۵۰ تا ۶۰ گرم زادمایه در اطراف ریشه‌های نهال پخش و روی آنها با خاک پوشانده شد (Li *et al.*, 2012). کشت گلخانه‌ای در این مرحله به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل، در سه تکرار، با ۹۰ گلدان اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل (۱) قارچ غیربومی میکوریز آربوسکولار در شش سطح (حاوی چهار گونه قارچ میکوریز آربوسکولار *Rhizophagus irregularis*، *F. mosseae*، *C. etunicatum*، *D. versiformis* یک تیمار ترکیبی از گونه‌های مذکور و شاهد تلقیح نشده) (۲) نوع خاک با پنج سطح (خاک آلوده طبیعی، خاک آلوده‌شده با سرب، خاک آلوده‌شده با روی، خاک آلوده شده با سرب و روی، خاک شاهد یا بدون آلودگی) بود. غلظت فلزات سرب و روی در تیمارهای مختلف خاک مطابق جدول ۱ است. لازم به ذکر است خاک غیرآلوده هنگام اضافه کردن فلزات سنگین، به غلظت سرب و روی معدن (۲۲۰ گرم بر کیلوگرم روی و ۵۳۵ گرم بر کیلوگرم سرب) رسیده‌اند.

جدول ۱- غلظت فلزات سرب و روی در تیمارهای مختلف خاک

Table 1. Concentration of lead and zinc metals in different soil treatments

سرب lead ($mg.kg^{-1}$)	روی zinc ($mg.kg^{-1}$)	متغیر Variable
535	220	خاک آلوده (معدن) Contaminated soil (mine)
64	53	خاک غیرآلوده Unpolluted soil
220	53	خاک غیرآلوده + روی Unpolluted soil + lead
53	535	خاک غیرآلوده + سرب Unpolluted soil + zinc
535	220	خاک غیرآلوده + سرب و روی Unpolluted soil + lead and zinc

بعد از کشت و تلقیح قارچ با ریشه نهال‌ها، در شرایط گلخانه‌ای در مرکز تحقیقات منابع طبیعی استان اصفهان که با نور طبیعی نیاز گیاهان را تأمین می‌کند، نهال‌ها به مدت سه ماه نگهداری شدند. طی این مدت، آبیاری گلدان‌ها تا ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه با آب مقطر انجام شد. در پایان دوره رویش (۶ ماه) برخی صفات مهم مورفولوژیکی مثل رویش قطری، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام زیرزمینی، افزایش ارتفاع و سطح برگ نهال‌ها اندازه‌گیری شد. به‌منظور مقایسه متغیرهای اندازه‌گیری

www.SID.ir

Archive of SID

شده در تیمارهای مختلف قارچ و تیمارهای مختلف خاک از آزمون واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و برای مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan-Compare Means Test) استفاده شد. برای بررسی مقدار تأثیر توأم تیمارهای قارچ و خاک بر روی متغیرهای اندازه‌گیری شده نیز از آزمون تجزیه واریانس تک‌متغیره (Univariate) استفاده شد.

نتایج

در جدول ۲ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (شامل عمق، قابلیت هدایت الکتریکی، اسیدیته، ازت کل، کربن آلی، فسفر، پتاسیم، مس، روی، منگنز، آهن، شن، سیلت، رس و بافت) خاک آلوده (معدن) و خاک غیرآلوده آزمایش ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آلوده (معدن) و خاک غیر آلوده آزمایش

Table 2. Physical and Chemical Properties of Contaminated Soil (Mine) and Non-Contaminated Soil

متغیر Variable	خاک آلوده Contaminated soil	خاک غیر آلوده Unpolluted soil	متغیر Variable	خاک آلوده Contaminated soil	خاک غیر آلوده Unpolluted soil
عمق Depth (cm)	10-20	10-20	روی قابل‌جذب Absorbable zinc ($mg.kg^{-1}$)	7.2	5.5
قابلیت هدایت الکتریکی Electrical conductivity	1.6	1.5	منگنز قابل‌جذب Absorbable manganese ($mg.kg^{-1}$)	2.52	3.88
اسیدیته pH	7.62	7.72	آهن قابل‌جذب Absorbable iron($mg.kg^{-1}$)	0.9	1.1
ازت کل (درصد) N total (%)	0.03	0.16	شن (درصد) Sand (%)	54	50
کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	0.27	1.6	سیلت (درصد) Silt (%)	26	30
فسفر قابل‌جذب Absorbable phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	8.22	182.5	رس (درصد) Clay (%)	20	20
پتاسیم قابل‌جذب Absorbable potassium ($mg.kg^{-1}$)	350	457	بافت Texture	لوم رسی شنی Lumens Clay Sandy	لوم Lumens
مس قابل‌جذب Available copper ($mg.kg^{-1}$)	2.44	1.8			

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج آزمون تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در تیمارهای مختلف قارچ میکوریز در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین همه متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در تیمارهای مختلف وجود دارد.

جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف قارچ میکوریز

Table 3. The results of the analysis of variance of variables measured in different treatments of mycorrhiza fungi

منابع تغییر Sources Change	df	میانگین مربعات Mean Square							
		کلونیزاسیون Colonization	رویش قطری Diameter growth	وزن تر اندام هوایی Fresh body weight	وزن خشک اندام هوایی Dry body weight	افزایش ارتفاع Increase altitude	وزن تر ریشه The fresh weight of the root organ	وزن خشک ریشه The Dry weight of the root organ	سطح برگ Leaf area
قارچ Fungi	5	1625.6**	5.41**	953.56**	245.65**	441.48**	2144.97**	501.01**	653.93**
خاک Soil	4	185.25^{ns}	1.15*	119.37^{ns}	29.92^{ns}	566.89**	176.54^{ns}	40.83^{ns}	133.54*
قارچ × خاک Soil × Fungi	20	5.5*	0.38*	18.41*	6.1*	7.5*	8.5*	0.36^{ns}	5.2*
خطا error	60	0.17	0.15	1.2	0.38	0.57	0.5	1.01	0.64

نتایج مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده بین تیمارهای مختلف قارچ میکوریز در جدول ٤ ارائه شده است. از نظر مقدار کلونیزاسیون و سطح برگ، اختلاف معنی‌داری در همه تیمارهای بررسی‌شده قارچ میکوریز وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که بین میانگین متغیر افزایش قطر در چهار تیمار شاهد (بدون قارچ)، *C. etunicatum*، *R. irregularis* و *D.versiformis* اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی بین این تیمارها با دو تیمار سویه ترکیبی و *F. mosseae* اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج افزایش ارتفاع نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای شاهد (بدون قارچ)، *C. etunicatum* و *D. versiformis* با دیگر تیمارها وجود دارد. بیشترین مقدار کلونیزاسیون مربوط به تیمار سویه ترکیبی به مقدار ۵۰/۵۵ درصد و کمترین مقدار در تیمار شاهد ۲٤ درصد بود. همچنین سویه ترکیبی، رویش قطری، ارتفاع و شاخص سطح برگ را به ترتیب ۱/٤۲ میلی‌متر، ۱۱/۹۱ سانتی‌متر و ۱۹/۰۱ واحد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده نشان داد که بین میانگین متغیرهای وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه اختلاف معنی‌داری در همه تیمارهای بررسی شده قارچ میکوریز وجود دارد (شکل‌های ۱ و ۲). بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی نیز در تیمار سویه ترکیبی به ترتیب ۱۰۸/٤ و ۵۵ گرم و کمترین مقدار آن در شاهد به ترتیب ۵۹/٤ و ۳۰/۳ گرم بود.

www.SID.ir

Archive of SID

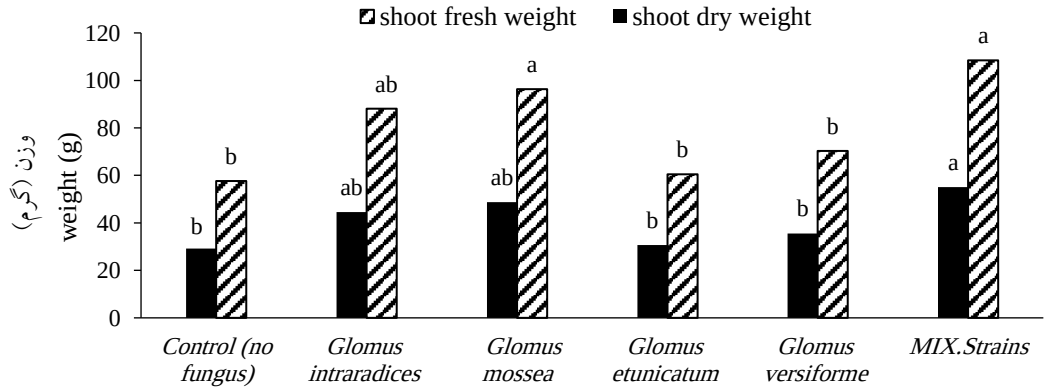
جدول ٤- مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده بین تیمارهای مختلف قارچ میکوریز

Table 4. Mean of the measured variables among different treatments of mycorrhiza fungi

تیمارهای مختلف قارچ میکوریز Different treatments of mycorrhizal fungus	متغیرهای اندازه‌گیری‌شده Measured variables			
	کلونیزاسیون Colonization	رویش قطری Diameter growth	افزایش ارتفاع Increase altitude	سطح برگ Leaf area
شاهد Control	24 ±0.85 a	0.066±0.08 b	19.3±2.40 b	8.3±0.43 a
R. irregularis	37.94±0.92 a	0.246±0.21 b	22.93±2.14 ab	18.47±1.80 a
F. mosseae	46.69±1.4 a	0.973±0.02 a	27.74±0.2 a	21.5±0.72 a
C. etunicatum	28.16±1.06 a	0.073±0.25 b	16.7±1.83 b	13.26±0.40 a
D.versiformis	32.88±0.79 a	0.1±0.22 b	20.92±2.4 b	16.29±0.52 a
سویه ترکیبی Combination strain	50.55±0.73 a	1.49±0.20 a	31.21±1.55 ab	27.39±1.01 a

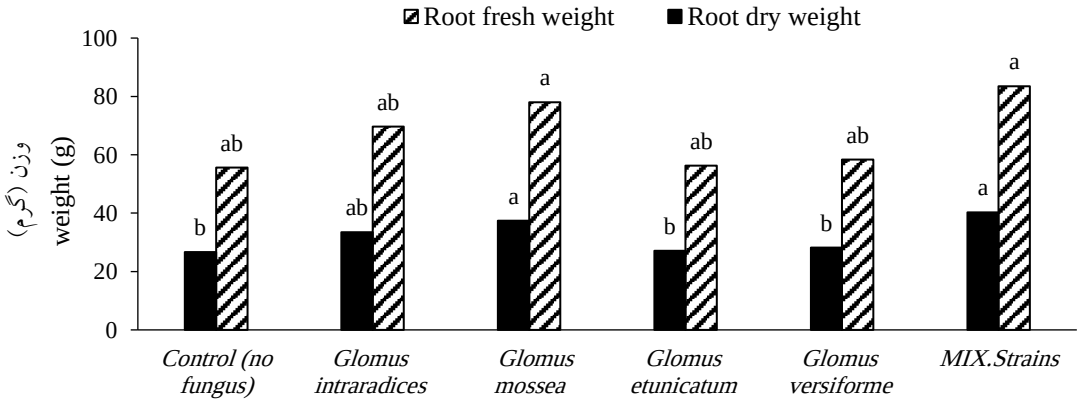
* مقادیر دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون آماری دانکن هستند.

* Values in each column followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.



شکل ۱- مقایسه میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی تحت تأثیر تیمارهای مختلف قارچ میکوریز

Figure 1. Mean Comparison of fresh and dry weight of Shoots affected by different treatments of mycorrhiza fungi



شکل ۲- مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه تحت تأثیر تیمارهای مختلف قارچ میکوریز

Figure 2. Mean Comparison of fresh and dry weight of roots affected by different treatments of mycorrhiza fungi

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج آزمون تجزیه واریانس متغیرهای اندازه-گیری‌شده در تیمارهای مختلف خاک نشان داد اختلاف معنی‌داری بین متغیرهای سطح برگ، رویش قطری و ارتفاع وجود دارد. درحالی‌که بین میانگین متغیرهای کلونیزاسیون، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در تیمارهای مختلف خاک اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. نتایج آزمون تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف خاک بررسی شده در جدول ۵ ارائه شده است.

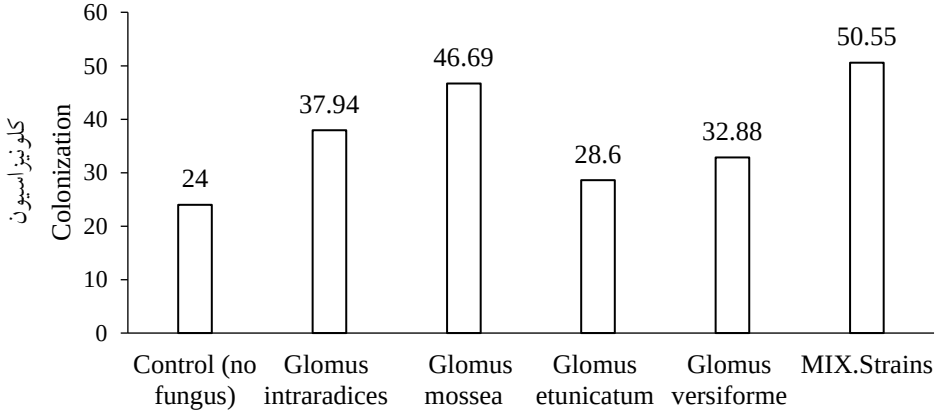
جدول ۵- نتایج آزمون تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف خاک

Table 5. Analysis of variance of variables measured in different soil treatments

F	میانگین مربعات Mean Square	متغیر Variable
1.91	185.25^{ns}	کلونیزاسیون Colonization
2.89	1.15*	رویش قطری Diameter growth
2.06	119.37^{ns}	وزن تر اندام هوایی Fresh body weight
2.008	29.92^{ns}	وزن خشک اندام هوایی Dry body weight
1.37	176.54^{ns}	وزن تر اندام ریشه The fresh weight of the root organ
1.35	40.83^{ns}	وزن خشک ریشه The Dry weight of the root organ
19.93	566.89**	افزایش ارتفاع Increase altitude
3.36	133.54*	سطح برگ Leaf area

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

** Significant difference at the level of 0.01, ns there is no significant difference in the level of 0.05.

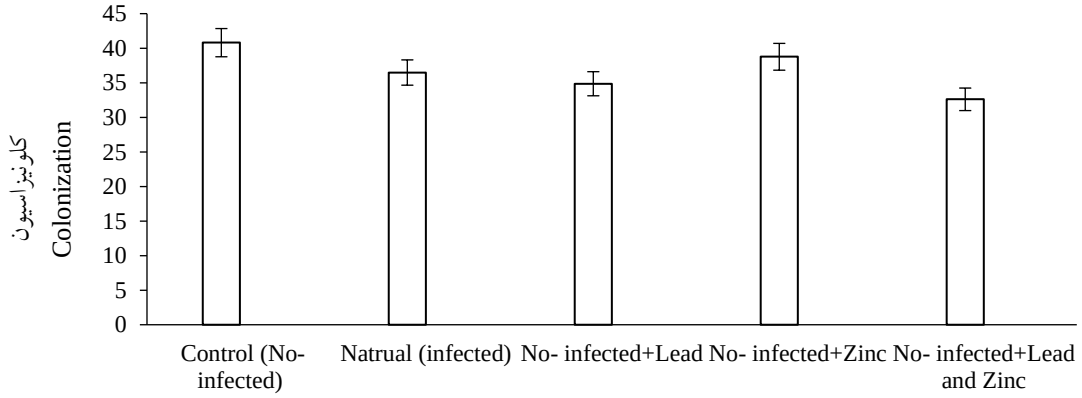


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف قارچ بر درصد کلونیزاسیون

Figure 3. Mean Comparison of the effect of different treatments on colonization

www.SID.ir

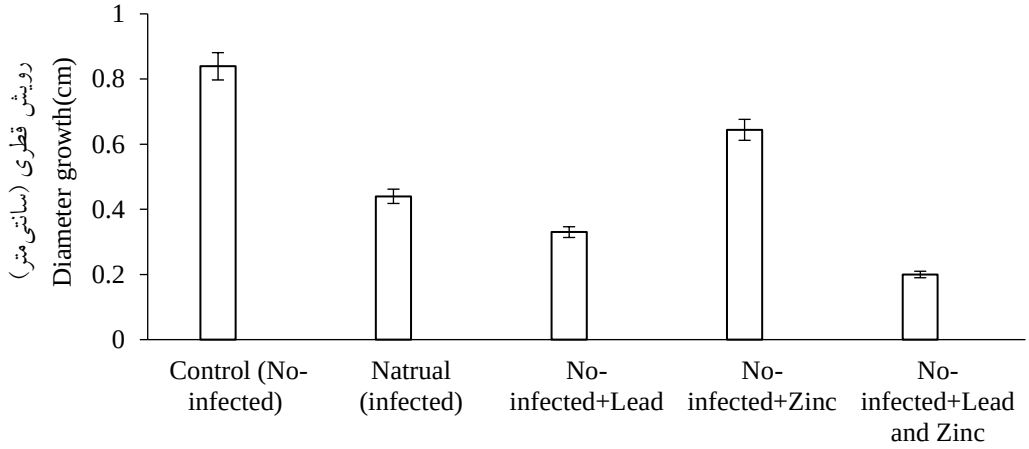
Archive of SID



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف خاک بر درصد کلونیزاسیون

Figure 4. Mean Comparison of the effect of different treatments on colonization

بر اساس نتایج درصد کلونیزاسیون قارچ، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خاک ملاحظه نشد (شکل ٤). با این وجود بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون به ترتیب ٤٠/٨ و ٣٢/٦١ گرم در تیمار شاهد و خاک آلوده به سرب و روی ملاحظه شد (شکل ٤).



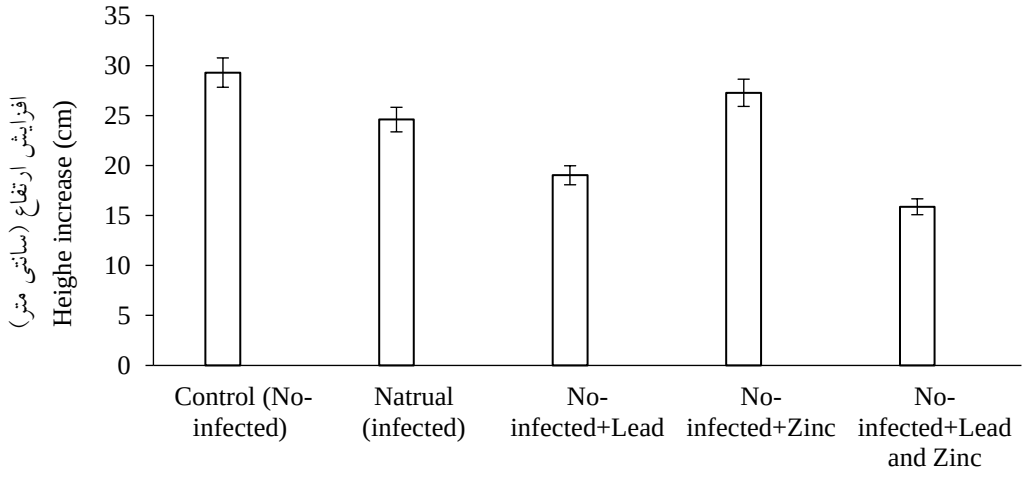
شکل ٥- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف خاک بر رویش قطری

Figure 5. Mean Comparison of the effect of different soil treatments on diameter Growth

اختلاف معنی‌داری بین میانگین متغیر رویش قطری در دو تیمار خاک آلوده‌شده با سرب و خاک آلوده شده با سرب و روی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. درحالی‌که بین میانگین رویش قطری در تیمار شاهد با تیمار خاک آلوده‌شده با سرب و خاک آلوده شده با سرب و روی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین و کمترین رویش قطری به ترتیب ٠/٨٣٩ و ٠/٢ میلی‌متر در تیمار شاهد و خاک آلوده به سرب و روی ملاحظه شد (شکل ٥). همچنین از نظر میانگین افزایش ارتفاع بین تیمارهای مختلف خاک، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری‌که بین دو تیمار خاک آلوده شده با سرب و خاک آلوده‌شده با سرب و روی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و بیشترین و کمترین رویش ارتفاعی به ترتیب ٢٩/٢٩ و ١٥/٨٧ سانتی‌متر در تیمار شاهد و خاک آلوده به سرب و روی ملاحظه شد (شکل ٦).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف خاک بر افزایش ارتفاع

Figure 6. Mean Comparison of the effect of different soil treatments on height growth

نتایج آزمون تجزیه واریانس تک‌متغیره نشان داد که تأثیر توأم تیمارهای مختلف قارچ و خاک بر متغیرهای کلونیزاسیون، رویش قطری، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، افزایش ارتفاع و سطح برگ معنی‌دار بوده است (جدول ٦).

بحث

ریشه‌ها به‌عنوان سطوح جذب‌کننده آب و مواد غذایی تأثیر بسیار زیادی در جذب آب و املاح گوناگون دارند و عوامل مختلف محیطی از طریق تأثیر بر ریشه بر رشد گیاه اثر می‌گذارند. تنش فلزات سنگین مانند عوامل محدودکننده رشد ریشه است و کاهش رشد ریشه فعالیت‌های رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد. عدم توسعه و گسترش مناسب سیستم ریشه‌ای باعث کاهش سطوح جذب‌کننده مواد غذایی، تغییر در ساختار غشاء سلولی و کاهش جذب و محتوی آب می‌شود که این امر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تعرق، تنفس و فتوسنتز اثر گذاشته و در نهایت موجب کاهش رشد در سایر قسمت‌های گیاه مانند کاهش زی‌توده و سطح برگ می‌شود (Sharma & Dubey, 2005). نتایج این پژوهش نشان داد که در گیاهانی که با قارچ میکوریز تلقیح شده بودند، میانگین همه متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در مقایسه با گیاهان شاهد (بدون قارچ) به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و افزایش متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در مورد گیاهان تلقیح شده با تیمارهای قارچی سویه ترکیبی و *F. mosseae* در مواردی حتی بیش از یک‌ونیم برابر گیاهان غیرتیمار بود (شکل‌های ١ و ٢). نتایج بررسی مقدار کلونیزاسیون نشان داد که بیشترین مقدار کلونی‌زایی در اثر تیمار سویه ترکیبی ایجاد شد (شکل ٣). ایجاد کلونی‌زایی علاوه بر نوع گیاه و سیستم ریشه‌ای به غلظت فسفر خاک نیز بستگی دارد. سطوح بسیار بالا و پایین فسفر خاک ممکن است سبب کاهش آلودگی و کلونی زایی میکوریزایی شود (Ledig *et al.*, 1976). سطوح بیش از موردنیاز فسفر خاک برای رشد گیاه سبب حذف آربسکول‌های میکوریزایی VAM شد. آربسکول‌ها ساختارهایی هستند که در داخل سلول گیاه میزبان به‌وسیله قارچ‌های میکوریزا VAM تولید می‌شوند. این اندام مسئول انتقال عناصر غذایی جذب‌شده از قارچ به گیاه هستند (Abbott & Robson, 1979). پژوهش‌های زیادی همبستگی بین

www.SID.ir

Archive of SID

فسفر قابل‌جذب را با درصد کلونیزاسیون نشان داده‌اند و تا حدودی ثابت شده است که همبستگی مثبت یا منفی بین این دو مؤلفه وجود دارد (Bouamri *et al.*, 2004). Revel و همکاران (1999) با پژوهش‌های خود نشان دادند که کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار همبستگی منفی با فسفر کل و فسفر قابل‌جذب خاک دارند. نتایج دیگر پژوهشگران نیز نشان می‌دهد که هم‌زیستی و آلودگی میکوریزایی ریشه‌ها در سطوح بالاتر از این مقدار کاهش یافته و تلقیح گیاهان در این شرایط کمکی به گیاه نمی‌کند (Swift, 2004). برخی محققین نیز کاهش کلونیزاسیون ریشه را یک مکانیسم برای محدودکردن جذب اضافی برخی از فلزات سنگین از طریق هیف‌های قارچی و یا به دلیل اثرهای متقابل قارچ و گیاه در سطوح بالای فلز سنگین عنوان کرده‌اند (Oudeh *et al.*, 2002). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر متغیر وزن اندام هوایی مربوط به تیمار تلقیح‌شده با تیمار قارچی سویه ترکیبی بوده که این موضوع بیان‌کننده این است که تیمار قارچی سویه ترکیبی در جذب آب و مواد غذایی به‌ویژه فسفر به گیاه کمک بیشتری کرده و سبب تجمع ماده خشک بیشتری شده است و از کارایی بیشتری در تولید زی‌توده اندام هوایی محلب برخوردار است. همچنین بیشترین وزن اندام هوایی مربوط به تیمار قارچی سویه ترکیبی بود که ممکن است ناشی از سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر و جذب مقادیر بالای فسفر و آهن به اندام هوایی و بهبود رشد گیاه و در نتیجه افزایش وزن خشک اندام هوایی باشد. علاوه بر این، بیشترین مقادیر متغیر وزن ریشه مربوط به تیمار تلقیح شده با قارچ تیمار قارچی سویه ترکیبی بوده (شکل ۲) که می‌تواند ناشی از تأثیر تیمار قارچی سویه ترکیبی بر رشد بیشتر ریشه‌های فرعی و جانبی باشد که این امر احتمالاً به دلیل افزایش نسبت ریشه‌های ریز و میسلیوم‌های میکوریزی توسط تیمار قارچی سویه ترکیبی است که سبب تحریک رشد ریشه‌های جانبی و فرعی می‌شود (Glick *et al.*, 1998). همچنین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با تولید آنزیم، تنش در ریشه گیاهان را کاهش می‌دهند و به این ترتیب بر رشد و توسعه ریشه گیاه کمک می‌کنند که توانایی تیمار قارچی سویه ترکیبی در کاهش تنش بیشتر بوده است. برخی از پژوهشگران نیز بیان کردند گیاهانی که همزیستی بیشتری با قارچ‌های میکوریز دارند، در جذب عناصر غذایی از خاک تواناتر بوده و از رشد بهتری برخوردار بودند (Camargo-Ricalde *et al.*, 2010)، زیرا قارچ‌ها می‌توانند از فواصل دور، آب و مواد غذایی را در دسترس گیاه میزبان قرار دهند (Allen *et al.*, 2003). در کل بهبود رشد و تولید زی‌توده و در نتیجه افزایش مقاومت گیاهان همزیست شده با قارچ‌های میکوریزی، تحت تنش‌های زیست‌محیطی از قبیل حضور غلظت‌های بالای فلزات سنگین در خاک مورد انتظار است. همچنین Mirzaei (2016) نشان داد که میانگین متغیرهای وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و رویش قطری در نهال‌های کنار (*Ziziphus spina-christi* L.) تلقیح‌شده با قارچ‌های میکوریز *F. mosseae* و *G. fasciculatum* بیشتر از نهال‌های غیرمیکوریزی بود که می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد که هرچه تنوع و فراوانی قارچ میکوریز بیشتر باشد تأثیر بیشتری بر صفات مورفولوژیکی گونه گیاهی دارد.

اثر تیمارهای خاک بر متغیرهای اندازه‌گیری شده نشان داد که بین میانگین متغیر رویش ارتفاعی و قطری در تیمار شاهد با تیمارهای خاک آلوده‌شده با سرب و خاک آلوده شده با سرب و روی اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل‌های ۵ و ٦). به‌طورکلی

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج نشان داد که میانگین همه متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در تیمار شاهد (خاک غیرآلوده) بیشتر از تیمارهای خاک آلوده شده با عناصر سنگین سرب و روی بود. با افزایش غلظت فلزات سنگین تنوع مورفولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار کاهش می‌یابد همچنین فلزات سنگین ممکن است رشد و تکثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین کاهش دهند، به تأخیر بیاندازند و یا به‌طور کامل حذف کنند. کاهش مقدار کلونیزاسیون و عدم توسعه هیف‌های خارج ریشه‌ای می‌تواند منجر به عدم کارایی همزیستی در جذب و انتقال فسفر شود کاهش مقدار فسفر موجود در اندام هوایی احتمالاً به دلیل کمپلکس شدن فسفات با فلزات سنگین در ریشه و عدم انتقال آن به بخش هوایی و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود. (Joner & Leyval, 2001)؛ که به‌طورکلی نتایج بیانگر این مورد بود که فلزات سنگین منجر به کاهش درصد کلونیزاسیون شده که کاهش فراوانی قارچ میکوریز نیز سبب کاهش و ضعف صفات مورفولوژیکی در گیاه می‌شود که با نتایج این پژوهش هم‌سو بود. از دلایل افزایش فراوانی قارچ میکوریز آربوسکولار و شرایط بهتر گیاه در خاک آلوده معدن نسبت به خاک غیرآلوده که سرب و روی به آن اضافه شده است می‌توان به (۱) وجود قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بومی در خاک آلوده که نسبت به شرایط آلوده مقاومت بیشتری دارند، (۲) کمبود عنصر فسفر در خاک آلوده که خود می‌تواند دلیلی بر افزایش درصد کلونیزاسیون قارچ باشد و (۳) همچنین اثر متقابل عناصر و فلزات سنگین نسبت به هم که می‌تواند در خاک آلوده معدن این اثر متقابل شدیدتر باشد، اشاره کرد. Van و همکاران (1998) گزارش کرد که اکوتیپ‌های قارچ‌های میکوریز آربوسکولار منشأ گرفته از خاک‌های آلوده نسبت به سویه‌های قارچی بومی خاک‌های غیرآلوده، تحمل‌پذیری و مقاومت بیشتری نسبت به آلودگی فلزات سنگین دارند. بر اساس گزارش Tinker and Ney (2000) افزایش غلظت فسفر سبب کاهش فعالیت قارچ و مقدار کلینیزاسیون می‌شود. Weissenhorn و همکاران (1995) جذب فلزات سنگین به‌وسیله گیاه ذرت میکوریزی را در خاک‌های آلوده به کادمیوم، روی، سرب، مس و منگنز بررسی کردند، ولی به دلیل اینکه فلزات با یکدیگر برهمکنش دارند، نتایج آنها به‌طور دقیق نقش قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را بر جذب هر یک از فلزات، مشخص نکرده است. Karimi و همکاران (2013) نیز نشان دادند مسمومیت با سرب در درجه اول بازدارنده رشد ریشه است و کاهش توسعه سیستم ریشه‌ای به محدود شدن رشد بخش هوایی هم منتهی می‌شود. کاهش رشد ریشه و بخش هوایی تحت تنش عناصر سنگین سرب و روی می‌تواند به دلیل تجمع زیاد این عناصر در ریشه، لیگنینی شدن دیواره تحت تأثیر فلز سنگین (Almeida *et al.*, 2007)، تأثیر مستقیم فلز سنگین بر هسته سلولی (Dauda *et al.*, 2009) و برهم‌کنش فلزات سنگین با گروه‌های سولفیدریل غشا سلول‌ها و غیرفعال‌کردن آنها (Khudsar *et al.*, 2000) باشد. Zarei و همکاران (2008) در بررسی تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های آلوده به سرب و روی ده گونه قارچ را شناسایی کردند که گونه‌های قارچی، *F. mosseae*، *R. irregularis* و *D.versiformis* نسبت به دیگر گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار فراوانی بیشتری داشته‌اند که خود تنوع بیشتر قارچ‌های میکوریز و تأثیر بیشتر آنها را بیان می‌کند.

هم‌زیستی میکوریزایی بر بسیاری از جنبه‌های بیولوژیک سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان تأثیر می‌گذارد. به‌طورکلی گونه‌هایی که توانایی بیشتری در افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

سطح جذب ریشه دارند، قادر به ایجاد هم‌زیستی با میزبان و جذب آب، مواد غذایی، افزایش فتوسنتز و رشد گیاهان هستند. تلقیح گیاهان با گونه‌های قارچی مقاوم به فلزات سنگین و شناسایی مناسب‌ترین گونه قارچی می‌تواند راه‌حل بسیار مناسب و ارزان‌قیمتی برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات باشد در این پژوهش سویه ترکیبی که ترکیبی از گونه‌های قارچی بود، شرایط مورفولوژیکی نهال‌های گونه گیاهی محلب در خاک‌های آلوده به فلزات سرب و روی با ضعف چشمگیری روبه‌رو نشد، برای دستیابی به بیشینه بهره‌گیری از پتانسیل مفید سامانه‌های میکوریزی ضروری است که مناسب‌ترین گونه قارچ برای هر واریته گیاهی و شرایط محیطی موردنظر انتخاب شود؛ پس می‌توان برای کشت وسیع گونه محلب در خاک‌های آلوده از تلقیح سویه ترکیبی با این گونه گیاهی استفاده کرد.

References

- Abbott, L. K. & A. D. Robson, 1979. A quantitative study on the spores and anatomy of mycorrhizas formed by a species of *Glomus*, with special reference to its taxonomy. *Australian Journal of Botany*, 27: 363-375.
- Abdullahi, M. S., A. Uzairu & O. J. Okuno, 2009. Quantitative determination of heavy metal concentration in onion leaves. *International Journal of Environmental Research*, 3: 271-274
- Allen, M.F., W. Swenson, J. I. Querejeta, L. M. Egerton-Waburton & Treseder, K.K., 2003.Ecology of mycorrhiza: a conceptual framework for complex interactions among plants and fungi. *Annual Reviews in Phytopathology*, 41: 271-303.
- Almeida, A.F., A.A. Valle, M.S. Mielke, F. P. Gomes & J. Braz, 2007. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. *Plant Physiology*, 19: 83-98.
- Arriagada, C.A., M. A. Herrera & J. A. Ocampo, 2005. Contribution of arbuscular mycorrhizal and saprobe fungi to the tolerance of Eucalyptus globulus to Pb. *Water, Air, and Soil Pollution*, 166: 31-47.
- Bouamri, R., Y. Dalpe, M.N. Serrhini & A. Bennani, 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi species associated with rhizosphere of Phoenix dactylifera L.inMorocco, *African Journal of Biotechnology*, 5(6): 510-516.
- Bojarczuk, K. & B. Kieliszewska-Rokicka, 2010. Effect of ectomycorrhiza on Cu and Pb accumulation in leaves and roots of silver birch (Betula pendula Roth.) seedlings grown in metal-contaminated soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 207: 227-240.
- Camargo-Ricalde, S.L., N.M. Montano, I. Reyes-Jaramillo, C. Jimenez-Gonzalez & S. S. Dhillion, 2010. Effect of mycorrhizae on seedlings of six endemic *Mimosa* L. species (Leguminosae–Mimosoideae) from the semi-arid Tehuacan–Cuicatlan Valley, Mexico. *Trees*, 24: 67-78.
- Caravaca, F., J. M. Barea, J. Palenzuela, D. Figueroa, M.M. Alguacil, & A. Roldan, 2003. Establishment of shrubs species in a degraded semiarid site after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology*, 22: 103-111.
- Carter, M. R. (ED), 1993. Soil sampling and method of analysis, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers. 823 p.
- Daneshvar, H.A. & B. Kiani, 2004. Effect of Salinity on some local cultivars of Russian olive (*Elaeagnus angustifolia*) in Isfahan province. *Pajouhesh and Sazandegi*. 65:76-83. (In Persian)
- Dauda, M. K., M. K. Variatha, A. Shafaqat, U. Najeeba, M. Jamilb, Y. Hayat, M. Dawooda, M. I. Khand, M. Zaffar, S. A. Cheemad, X.H. Tonga & S. Zhua, 2009. Cadmium-induced ultramorphological and physiological changes in leaves of two transgenic cotton cultivars and their wild relative, *J. Hazard Mater*, 168: 614-625.
- Gildon, A. & P. B. Tikner, 1983. Interaction of vesicular arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. The effect of heavy metals on the development of vesicular arbuscular mycorrhizas. *New Phytologist*, 95: 247-261.
- Glick, B.R., D.M. Penrose & J. Li, 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting

www.SID.ir

Archive of SID

bacteria. *Journal of Theoretical Biology*, 190: 63-68.
- Gaur, A. & A. Adholeya, 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal-contaminated soils, *Current Science*, 86: 528-534.
- Hosseinzadeh, H., M. Ramezani & N. Namjo, 2003. Muscle relaxant activity of *Elaeagnus angustifolia* L. fruit seeds in mice, *Journal of Ethnopharmacology*, 84: 275. (In Persian)
- Joner EJ & C. Leyval, 2001. Time course of heavy metal uptake in maize and clover as affected by root density and different mycorrhizal inoculation regimes, *Biol Fert Soils*, 33: 351-357.
- Jorge, L., B. Gardea-Torresdeya, R. Jose, G. Peralta-Videab, & J.G. De la Rosaa, 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by Xray absorption spectroscopy, *Coordination Chemistry Reviews*, 249: 1797–1810.
- Karimi, N., M. Khanahmadi, & B. Moradi, 2013. The effects of lead on some physiological parameters of Artichoke. *Journal of Plant Production*, 20(1): 49-62. (In Persian)
- Khademi, A. & B. Kord, 2010. The role of Broad Leaf tree species (the Plane tree and the ash) in reducing pollution from lead, *Journal of Sciences and Techniques in Natural*, 1:1-12. (In Persian)
- Khudsar, T., M. Uzzafar, W.Y. Soh, & M. Iqbal, 2000. Morphological and anatomical variations of *Cajanus cajan* (Linn. Huth) raised in cadmium-rich soil, *Journal of Plant Biology*, 43: 149-157. (In Persian)
- Klich, M.G., 2000. Leaf variations in Elaeagnus angustifolia related to environmental heterogeneity, *Environmental and Experimental Botany*, 44(3): 171-183.
- Kramer, U., 2005. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils, *Current Opinion in Biotechnology*, 16: 133-141.
- Ledig, F.T., A.P. Drew, & J.G. Clark, 1976. Maintenance and constructive respiration, photosynthesis, and net assimilation rate in seedlings of pitch pine (*Pinus rigida* Mill.), *Annual Botany*, 4: 289-300.
- Lone, M.I., H. Li, P.J. Zhen, E. Stoffella & X. Yang, 2008. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives, *Journal of Zhejiang University Science*, 9: 210-220.
- Majidi, T., M. Taheri, F. Aqajanlou, A. Mousavi, M. Shojaei, M. Tokas, P. Moradi & F. Heidari, 2015. A study on the adsorption of zinc, copper, cadmium and lead elements in leaves of some woody species, Journal of Forest Research and Development, 1(4): 271-284. (In Persian)
- Mirzaei, J., 2016. Effects of *Glomus fasciculatum* and *Funneliformis mosseae* on growth, photosynthesis and some nutrient absorption of *Ziziphus spina-christi* L. seedlings, *Journal of Forest and Wood Product*, 69(2): 259-268. (In Persian)
- Oudeh, M., Khan, M. & Scullion J. 2002. Plant accumulation of potentially toxic elements in sewage sludge as affected by soil organic matter level and mycorrhizal fungi, *Environmental Pollution*, 116: 293-300.
- Rafati, M., N. Khorasani, F. Moattar, A. Shirvany, F. Moraghebi & S. Hosseinzadeh, 2011. Phytoremediation potential of *Populus alba* and *Morus alba* for cadmium, chromuim and nickel absorption from polluted soil, *International Journal of Environmental Research*, 5: 961-970.
- Revel, J.C., P. Morard, J. R. Bailly, H. Labbe, C. Berthout & M. Kaemmere, 1999. Utilization by plants of leachate derived from municipal solid waste, *Journal of Environmental Quality*, 28: 1083-1089.
- Samani Majd, S., Sabeti, A. and Afiouni, M. 2007. Soil pollution of urban roadsides to lead and cadmium, *Journal of Environmental studies*, 33(43): 1-10.
- Sebastiani, L., F. Scebba & R. Tognetti, 2004. Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides x maximowiczii*) and I-214 (*P. X euramericana*) exposed to industrial waste, *Environmental and Experimental Botany*, 52: 79-88
- Sharma, P. & R. S. H. Dubey, 2005. Lead toxicity in Plants, *Plant Physiology*, 17: 35-52.
- Sheng, M., M. Tang, H. Chen, B. Yang, F. Zhang, & Y. Huang, 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress, *Mycorrhiza*, 18: 287-296.
- Susarla, S., V. F. Medina & S. C. McCutcheon, 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination, *Ecological Engineering*, 18: 647-658.

www.SID.ir

Archive of SID

- Swift, C. E., 2004. Mycorrhiza and soil phosphorus levels. Area Extension Agent. http://www.colostate.edu/Depts/CoopExt/TRA/PLANTS/mycorrhiza.
- Taiz, L. & E. Zeiger, 1998. Mineral nutrition. In: Taiz, L., Zeiger, E. (Eds.), Plant Physiology. Sinauer Associates Inc., Sunderland, pp. 103-124.
- Tasang, A. & M. A. Maum, 1999. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of Strophostyles helvola in coastal foredunes. *Plant Ecology*, 144:159–166.
- Tinker, P.B., & P. H. Ney, 2000. Solute movement in the rizospher. Oxford University Press, Oxford, pp. 444.
- Torresday, J.L., J. R. P. Videa, G.D. Rosa & J. Parsons, 2005. Phytoremediatoin of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*, 249: 1797-1810.
- Van der Heiden, M. G. A., J. N. Klironomose, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwoif-Engel, T. Boller, A. Wiemken, I. R. Sanders, 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, Ecosystem variability and productivity, *Nature*, 396: 69-72.
- Vivas, A., I. Voros, B. Biro, J. M. Barea, J. M. Ruiz-Lozano, & R. Azco´n, 2003. Beneficial effects of indigenous Cd-tolerant and Cdsensitive *Glomus mosseae* associated with a Cd-adapted strain of Brevibacillus brevis in improving plant tolerance to Cd contamination. *Applied Soil Ecology*, 24: 177–186.
- Weissenhorn, I., C. Leyval, G. Belgy & J. Berthelin, 1995. Arbuscularmycorrhizal contribution to heavy metaluptake by maize (Zea mays L.) in pot culture with contaminated soil, *Mycorrhiza*, 5: 245–252.
- Zarei M., N. Saleh-Rastin, Gh. Salehi Jouzani, Gh. Savaghei & F. Buscot, 2008. Arbuscular mycorrhizal abundance in contaminated soils around a zinc and lead deposit, *European Journal of Soil Biology*, 44: 381-390.

www.SID.ir

Archive of SID

Effects and identification of inoculated Arbuscular Mycorrhizal fungi of resilience to lead and zinc on some morphological treats of *Cerasus mahaleb* L. Mill.

B. Zamani Kebrabadi[1], S. M. Hojati[2], F. Rejali[3], M. Esmaeili Sharif[*4], and H. R. Rahmani[5]

1- PhD student, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Mazandran, I. R. Iran. (zamanikebrabadi67@gmail.com)
2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, I. R. Iran. (s_m_hodjati@yahoo.com)
3- Associate Professor, Research Institute of Water and Soil, Education and Extension Organization, AREEO, Tehran, I. R. Iran. (rejali@yahoo.com)
4- Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Isfahan, I. R. Iran. (m.esmaeilisharif@areeo.ac.ir)
5- Research Division of Water & Soil, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Isfahan, I. R. Iran. (hr_rahmani@yahoo.com)

Received: 28.01.2019 Accepted: 28.05.2019

Abstract

In this experiment, one year old *Cerasus mahaleb* seedlings were inoculated with six treatments of mycorrhizal fungus (*Diversispora versiformis*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae*, and a combination of these species) and control, then were planted in five soil treatments (control or No contamination, normal contaminated, contaminated with lead, zinc contaminated and contaminated with lead and zinc) were cultivated. The highest amount of colonization in combination treatment was 51% and lowest in control treatment was 24%. Diagonal growth, Seedling height and leaf area index in inoculation with combination strain were 1.42, 11.9 and 19.01, respectively. The highest fresh and dry weight of shoot in the treatment of strain Recipes were 42.04 and 21.36 grams and the lowest in the control were 22.34 and 11.33 grams, respectively. Combination strains and non-contaminated soil treatment caused maximum growth in Mahleb, in plants grown with mycorrhizal fungi were inoculated, mean of all measured variables was significantly higher than that of control plants. Combined strain treatment had the highest effect on dry matter accumulation.

Keywords: Arbuscular, Soil pollution, Bioremediation, Morphological treats.

[*] Corresponding author Tel: +989133293583

www.SID.ir