فصلنامه علوم محیطی، دوره سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴

۳۷-۴۸

تاثیر قارچ میکوریزا بر رشد و عملکرد گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) در شرایط تنش سرب و کادمیوم

لیلا تبریزی[۱*]، سیاوش محمدی[۲]، مجتبی دلشاد[۳] و بابک متشرع‌زاده[۴]

[۱] استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۲] دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۳] دانشیار گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۴] دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۸

چکیده

گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) گیاهی چندساله و از تیره نعناعیان (Lamiaceae) است که در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی، غذایی و نوشابه‌سازی استفاده می‌شود. برای بررسی رشد و عملکرد گیاه دارویی رزماری در همزیستی با قارچ میکوریزا آربسکولار تحت تنش فلزات سنگین سرب و کادمیوم، تحقیقی در سال ۱۳۹۱ بر اساس یک آزمایش گلدانی در گلخانه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارها شامل قارچ میکوریزا در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح میکوریزا و فلز سنگین در پنج سطح بدون فلز، سرب ۱۵۰، سرب ۳۰۰، کادمیوم ۴۰ و کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بودند. صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی در بوته، طول ساقه فرعی، تعداد برگ، سطح برگ، قطر یقه، وزن‌تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک برگ، نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک اندام هوایی، درصد اسانس و عملکرد اسانس اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک میزان رشد و عملکرد در رزماری کاهش یافت. اما تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا باعث افزایش آن‌ها در شرایط تنش فلزات سنگین شد و رشد و عملکرد را در چنین شرایطی بهبود بخشید. بیشترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاهان میکوریزی و عدم کاربرد فلزات سنگین و کمترین میزان این صفات در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک حاصل شد که به ترتیب به میزان ۵۷/۶۳ و ۷۹/۴۶ درصد نسبت به گیاهان میکوریزی و عدم کاربرد فلزات سنگین کاهش یافت. همچنین بالاترین درصد و عملکرد اسانس رزماری به ترتیب در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به سرب ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و گیاهان میکوریزی غیر آلوده به فلزات سنگین به دست آمد.

کلمات‌کلیدی: تنش‌های محیطی، فلزات سنگین، گیاهان دارویی، نهاده زیستی.

The Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth and Yield of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Under Lead and Cadmium Stress

Leila Tabrizi,[1]* Siavash Mohammadi,[2] Mojtaba Delshad [3] & Babak Moteshare Zadeh[4]

[1] *Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran*
[2] *Ph.D. Student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran*
[3] *Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agricultural Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran*
[4] *Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran*

Abstract

Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L., Lamiaceae) is a perennial medicinal plant used in pharmaceutical, cosmetic, food, and beverage industries. In order to study growth and yield of this plant in symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi under Pb and Cd stress, a two-factored pot experiment was carried out based on a randomized complete block design with 4 replications in greenhouse of Department of Horticultural Sciences, University of Tehran, Karaj, Iran in 2011-2012. The first factor was arbuscular mycorrhiza (inoculation and non-inoculation), and the second factor was heavy metal contamination as listed here per mg/kg of soil: Without contamination, Pb 150, Pb 300, Cd 40, and Cd 80. The parameters plant height, number of lateral branches per plant, length of lateral stem, number of leaves, leaf area, crown diameter, shoot fresh and dry weights, leaf dry weight, leaf dry weight/shoot dry weight ratio, and essential oil content and yield were measured. The results showed that growth and yield of rosemary diminished with increasing concentration of the heavy metals in the medium; however, mycorrhizal inoculation donated a tolerance to the heavy metal stress, thereby improving growth and yield of rosemary in such a stressful situation. The highest fresh and dry weights were observed in mycorrhizal plants grown in non-pollution medium, whereas non-mycorrhizal plants grown under Cd 80 had the worst values, which were decreased respectively by 57.6% and 79.5% as compared to those of mycorrhizal plants grown on non-polluted medium. Moreover, the highest content of essential oil was recorded in non-mycorrhizal plants grown under Pb 300; nevertheless, the highest essential oil yield was found in mycorrhizal plants grown on non-contaminated medium.

Keywords: Abiotic Stresses, Biologic Inputs, Heavy Metals, Medicinal Plants.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: L.tabrizi@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) با نام فارسی اکلیل‌کوهی، گیاهی همیشه‌سبز، خشبی، چندساله و از تیره نعناعیان (Lamiaceae) است. رزماری از قدیمی‌ترین گیاهان مورد استفاده بشر است و در منابع معتبر علمی برگ‌ها و اسانس آن به عنوان دارو یاد شده و خواص درمانی آن مورد تاکید قرار گرفته‌است. مواد موثره این گیاه ضد باکتری و ضد قارچ بوده و خواص آنتی‌اکسیدانی قوی دارد. در حال حاضر از این گیاه و مواد موثره آن در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی، عطر و ادکلن، غذایی و نوشابه‌سازی استفاده می‌شود. همچنین این گیاه در اکثر باغ‌ها و پارک‌ها به صورت یک گیاه زینتی و معطر کشت می‌شود و گیاهی بسیار مقاوم به شرایط مختلف محیطی است و خشکی و دمای بالا را به‌خوبی تحمل می‌کند [۱]. امروزه آلودگی محیط‌زیست از مسائل مهمی است که جوامع مختلف با آن رو به رو هستند و آلاینده‌ها از عوامل ایجاد کننده اختلال در محیط‌زیست به شمار می‌روند. آلودگی خاک با عناصر سرب و کادمیوم یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های زیست‌محیطی در بسیاری از کشورها است که به بروز خطرات جدی در محیط‌زیست و تهدید سلامت بشر منجر می‌شود [۲].

یکی از ارکان اصلی در نظام‌های مبتنی بر کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های کشاورزی با هدف کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی است [۳]. از انواع کودهای بیولوژیک که امروزه کاربرد فراوانی در سیستم‌های کشاورزی پایدار به منظور دستیابی به افزایش کیفیت و پایداری عملکرد محصولات زراعی و باغی به‌ویژه در گیاهان دارویی دارند، می‌توان به قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار اشاره کرد. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار به عنوان یکی از مفیدترین میکروارگانیسم‌های خاک، دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان هستند و از طریق جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا و کاهش اثرات منفی ناشی از تنش‌های محیطی از جمله تنش فلزات سنگین، سبب بهبود رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان به‌ویژه در گیاهان دارویی می‌شوند [۴]. چنین تصور می‌شود که اثر میکوریزا بر تغذیه‌ی گیاهی در مورد عناصر دارای انتشار محدود در اطراف ریشه‌های گیاه از جمله فسفات و اکثر فلزات سنگین، بیشتر قابل توجه باشند. با وجود تفاوت در قابلیت تحرک یون‌های فلزی مختلف در گیاهان، به‌طور کلی مقدار فلز در ریشه‌ها، بیشتر از بافت‌های موجود در خاک است. مسمومیت با فلزات آلوده کننده، تنش اکسیداتیو را القا می‌کند و می‌تواند به عنوان تولید کننده‌ی گونه‌های فعال اکسیژن، عمل کند. قرینه و همکاران[۵] در بررسی خود روی گیاه دارویی زعفران (*Crocus sativus* L.) به این نتیجه رسیدند که غلظت روی و مس در اندام هوایی زعفران، در گیاهان میکوریزی بیشتر، غلظت آهن مشابه و غلظت کادمیوم و منگنز در گیاهان میکوریزی کمتر از غیرمیکوریزی بوده‌است. الغمدی و همکاران [۶] مشاهده کردند که در برگ‌های سروکوهی (*Juniperus procera*) با افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه، غلظت عناصر کادمیوم، مس، روی، کبالت، سرب و اورانیم در برگ کاهش یافت و با افزایش کلونیزاسیون ریشه، میزان فلاونوئیدها در برگ افزایش یافتند.

نتایج تحقیق ژیانفنگ و همکاران [۷] حاکی از آن است که میکوریزا میزان جذب آرسنیک را در اندام‌های توتون (*Nicotiana tabacum*) کاهش ولی جذب فسفر را افزایش داد. و بین سه نوع قارچ فقط گونه *Glomus versiforme* توانست رشد را افزایش دهد. ویتفیلد و همکاران [۸] مشاهده کردند که قارچ میکوریزا باعث افزایش جذب فلز روی و بهبود رشد گیاه آویشن (*Thymus polytrichus*) تحت تنش فلزات سنگین شد. در تحقیق دیگری بر روی گیاه شاهدانه (*Cannabis sativa*) عنوان شد که میکوریزا در خاک آلوده، غلظت سه فلز کروم، نیکل و کادمیوم را در اندام هوایی گیاه افزایش داد و می‌تواند در گیاه‌پالایی اهمیت بالایی داشته باشد ولی میکوریزا اندکی رشد را کاهش داد [۹]. در پژوهش دیگری اثر قارچ میکوریزا گونه‌ی *G. intraradices* بر عملکرد، ترکیبات شیمیایی و تجمع فلزات در ریحان، نشان داد که عملکرد اندام‌هوایی، میزان اسانس و وزن خشک ریشه ریحان، در غلظت کم کادمیوم، سرب و نیکل در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد. در غلظت پایین فلزات سنگین، قارچ میکوریزا به‌طور معنی‌داری، غلظت فلزات را در اندام‌هوایی ریحان افزایش داد و تأثیر منفی روی عملکرد داشت. علاوه بر این در سطوح بالای فلزات در خاک، تلقیح قارچ میکوریزا غلظت فلزات را در شاخه کاهش داد و تاثیر مفیدی بر عملکرد ایجاد کرد [۱۰]. اورلوسکا و همکاران [۱۱] تاثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر رشد و تجمع آرسنیک را در گیاه دارویی بارهنگ کاردی (*Plantago lanceolata*) بررسی کردند. نتایج نشان داد که در گیاهان تلقیح شده با قارچ

Archive of SID
www.SID.ir

میکوریزا زیست‌توده ریشه و اندام‌هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در مجموع در بسیاری از منابع علمی به این نکته اشاره شده‌است که کلونیزاسیون قارچ میکوریزا می‌تواند سبب محافظت گیاه میزبان در مقابل فلزات سمی شود. وقوع این وضعیت به بهبود جذب فسفر و درنتیجه آن، رقیق‌تر شدن فلزات سمی در بافت گیاهان ارتباط داده می‌شود [۴]. با توجه به اهمیت گیاه دارویی رزماری و لزوم تحقیق درباره تنش فلزات سنگین و تاثیر قارچ میکوریزا در کاهش اثرات ناشی از این تنش روی این گیاه دارویی مهم، در این تحقیق تاثیر تنش دو فلز سرب و کادمیوم بر رشد، عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی رزماری در همزیستی با قارچ میکوریزا برای تعیین پتانسیل این گیاه درگیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۹۱-۱۳۹۰ (اسفندماه ۱۳۹۰ تا دی ماه ۱۳۹۱) بر اساس یک آزمایش گلدانی در گلخانه پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل قارچ میکوریزا در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح میکوریزا و فلز سنگین در پنج سطح بدون فلز، سرب ۱۵۰، سرب ۳۰۰، کادمیوم ۴۰ و کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بودند. خاک مورد استفاده در گلدان‌ها مخلوطی از خاک مزرعه، خاکبرگ و ماسه بود که پس از عبور از الک ۴ میلی‌متری با نسبت‌های مساوی (۱:۱:۱) مخلوط شدند و یک نمونه از مخلوط خاک نهایی مورد استفاده در آزمایش، به آزمایشگاه گروه خاکشناسی پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران جهت تجزیه ارسال شد. نتایج حاصل از تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

ویژگی‌های فیزیکی					ویژگی‌های شیمیایی					
شن	سیلت	رس	کلاس بافت	کربن آلی	هدایت الکتریکی	pH	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
(٪)				(٪)	زیمنس بر متر)(دسی		(٪)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	
۷۰	۱۴	۱۶	لومی شنی	۵	۳/۳۵	۸/۲	۰/۲۰۱	۲۵/۵	۱۶۳

جهت اعمال تیمارهای سرب و کادمیوم به ترتیب از نمک‌های نیترات سرب ($Pb(NO_3)_2$) و نیترات کادمیوم ($Cd(NO_3)_2$) استفاده شد. مقادیر مورد نظر نمک، توزین و پس از حل شدن در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، از طریق اسپری کردن به‌طور کامل با خاک هر گلدان مخلوط شد به‌طوری که فلزات سنگین تا حد امکان به‌طور یکنواخت در خاک پخش شوند. باتوجه به آلوده کردن خاک‌ها به‌طور مصنوعی و به منظور نزدیک شدن به شرایط طبیعی و ایجاد تعادل در خاک آلوده، گلدان‌ها به مدت ۱۰۰ روز در دمای گلخانه در شرایط گرماگذاری قرار گرفتند. در طول گرماگذاری رطوبت گلدان‌ها در حدود ظرفیت زراعی حفظ شد و به املاح خاک و به ویژه فلزات سنگین استفاده شده، اجازه داده شد تا با عمل آبیاری به عمق گلدان‌ها رفته و با انجام عمل تبخیر به سطح خاک انتقال یابند و بدین ترتیب در کل خاک به‌طور یکنواخت توزیع شوند [۱۲]. همزمان با این مرحله، از پایه‌های مادری گیاه رزماری واقع در باغ گیاه‌شناسی پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران، قلمه‌هایی به طول ۲۰-۱۵ سانتی‌متر و قطر حدود ۰/۵ سانتی‌متر تهیه و در گلخانه در بستر ماسه و در زیر سیستم مه‌افشان جهت ریشه‌زایی کشت شدند. پس از اتمام دوره گرماگذاری (انکوباسیون) حدود ۱۰۰ روز، قلمه‌های ریشه‌دار شده رزماری تا حد امکان یکنواخت انتخاب شدند. عملیات کشت گیاهچه‌ها در تاریخ اول تیرماه ۱۳۹۱ در گلدان‌های پلاستیکی ۱/۵ کیلوگرمی با ارتفاع و قطر دهانه ۱۷ سانتی‌متر صورت گرفت و در هر گلدان یک گیاه کاشته شد.

اسپور (زادمایه) قارچ میکوریزا آربوسکولار شامل دو گونه‌ی *G. mossea* و *G. intraradicens* با نسبت‌های مساوی بود که از آزمایشگاه بیولوژی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، واقع در کرج تهیه شد. جهت اعمال تیمار قارچ میکوریزا آربوسکولار، مقدار ۳۰ گرم زادمایه در اطراف ریشه نشاها پخش و روی آن‌ها با خاک پوشانیده شد. در طول عملیات داشت، روزانه دما و نور گلخانه کنترل شد. آبیاری روزانه گلدان‌ها با آب مقطر به صورت وزنی صورت گرفت و رطوبت در حد ظرفیت زراعی برای گلدان‌ها اعمال شد. با توجه به نتایج اولیه آزمون خاک عناصر در حد مورد نیاز به خاک هر گلدان اضافه شد. همچنین در طول این دوره

Archive of SID
www.SID.ir

گیاهان از نظر آفات و بیماری‌های گیاهی کنترل شدند. پس از دوره‌ی هفت ماهه کشت رزماری، اندام هوایی بوته‌های رزماری از محل یقه برداشت شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه، صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی در بوته، طول ساقه فرعی، تعداد برگ در بوته، سطح برگ، قطر یقه، وزن‌تر و خشک اندام‌هوایی، وزن خشک برگ و نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک اندام‌هوایی اندازه‌گیری شدند. بوته‌های تازه برداشت شده جهت تعیین میزان اسانس در سایه و در دمای اتاق خشک شدند. استخراج اسانس از برگ‌های گیاه رزماری به روش تقطیر با آب توسط دستگاه کلونجر بر اساس فارماکوپه بریتانیا (۱۹۹۸) به مدت چهار ساعت پس از جوشیدن و در شرایط یکسان انجام شد. سپس میزان اسانس به صورت حجمی‌وزنی، بر حسب میلی‌لیتر در ۱۰۰ گرم برگ خشک رزماری و عملکرد اسانس بر حسب میلی‌لیتر در گیاه، محاسبه شد. داده‌های حاصل از این تحقیق بر اساس طرح آماری مورد استفاده، با نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ ٪ انجام گرفت. رسم نمودارها و جداول و برخی از محاسبات نیز، با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات رشدی رزماری در جدول ۲ نشان داده شده است. اغلب صفات رشدی رزماری به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر میکوریزا، فلزات سنگین و اثر متقابل بین آن‌ها قرار گرفتند ($P\leq ۰/۰۱$) اما اثر متقابل بین آن‌ها بر صفاتی از قبیل طول ساقه فرعی و قطر یقه تأثیر معنی‌داری نداشت ($P>۰/۰۵$).

۳-۱- ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی در بوته و طول ساقه فرعی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، ارتفاع بوته در گیاه رزماری به‌طورمعنی‌داری تحت تاثیر میکوریزا، فلزات سنگین و اثر متقابل بین آن‌ها قرار گرفت ($P\leq ۰/۰۱$). بیشترین ارتفاع بوته در گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلزات سنگین مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. ارتفاع بوته در گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک معنی‌دار نشد ولی به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی غیرآلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. هم‌چنین کم‌ترین ارتفاع بوته در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد که ۴۳/۶۲٪ نسبت به گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلزات سنگین کاهش پیدا کرد (شکل ۱).

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تاثیر قارچ میکوریزا و فلزات سنگین ($P\leq ۰/۰۱$) و اثر متقابل بین آن‌ها ($P\leq ۰/۰۵$) بر تعداد ساقه فرعی در رزماری معنی‌دار شد. گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلزات سنگین بیشترین تعداد ساقه فرعی را داشتند که به میزان ۳۷۵/۱۴ ٪ نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (کم‌ترین تعداد ساقه فرعی)، افزایش پیدا کرد. تعداد ساقه فرعی در گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی داری نداشت. ولی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۲).

تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین بر طول ساقه فرعی رزماری معنی‌دار شد ($P\leq ۰/۰۱$) اما اثر متقابل بین آن‌ها روی این صفت معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$) (جدول ۲). گیاهان میکوریزی به‌طور معنی‌داری دارای طول ساقه فرعی بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی بودند به‌طوری‌که این صفت به میزان ۲۳/۲۱ ٪ نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی افزایش یافت (شکل ۳- الف). با افزایش سطوح سرب و کادمیوم خاک، از طول ساقه فرعی رزماری کاسته شد به‌طوری‌که کم‌ترین طول ساقه فرعی در گیاهان رشد یافته در کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد که به میزان ۷۰/۴۱ ٪ نسبت به عدم کاربرد فلزات سنگین (شاهد) کاهش پیدا کرد (شکل ۳- ب).

۳-۲- تعداد برگ، سطح برگ و قطر یقه

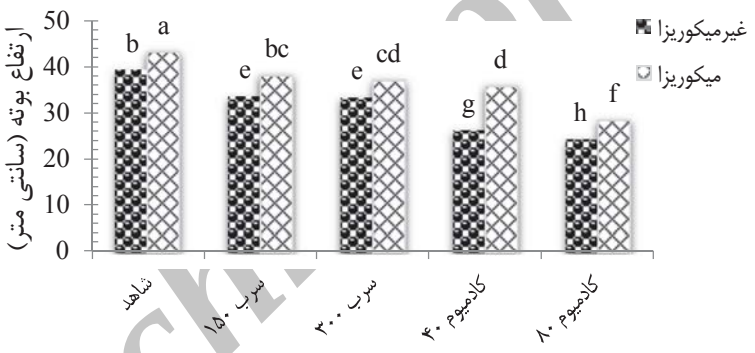
بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، تاثیر قارچ میکوریزا، فلزات سنگین و اثرمتقابل بین آن‌ها بر تعداد برگ رزماری معنی‌دار شد ($P\leq ۰/۰۱$). همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بیشترین تعداد برگ در گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلزات سنگین مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. تعداد برگ در گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. هم‌چنین کمترین تعداد برگ در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد که به میزان ۷۳/۱۶ ٪ نسبت به گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلزات سنگین کاهش پیدا کرد.

Archive of SID
www.SID.ir

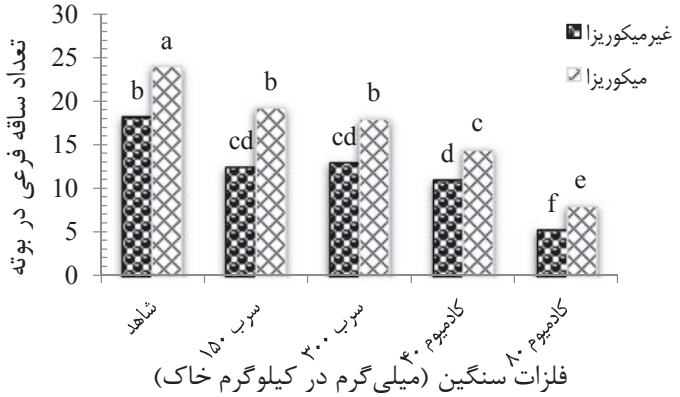
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس برخی صفات ارزیابی شده در رزماری تحت تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین

		میانگین مربعات									
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد ساقه فرعی در بوته	طول ساقه فرعی	تعداد برگ در بوته	سطح برگ	قطر یقه	وزن تر اندام‌هوایی	وزن خشک اندام‌هوایی	وزن خشک برگ	نسبت وزن برگ به اندام هوایی
تکرار	۳	۲/۴۲۷	۲/۱۵۸	۰/۱۰۱	۲۳۸/۴۲	۵۰/۳۴۰	۰/۰۰۲۱	۰/۲۴۱	۰/۰۹۸۸	۰/۰۳۸	۲/۴۲۵
میکوریزا	۱	۲۶۸/۸۴**	۲۲۵/۶۲**	۱۷/۱۰۸**	۴۲۶۶۷/۰**	۱۲۲۹۳/۷**	۶/۷۲۴**	۹۰/۷۲۱**	۲۷/۰۶۰**	۷/۳۷۹**	۹۹/۲۲۵**
فلزات سنگین	۴	۲۴۶/۷۳**	۲۲۳/۵۶**	۵۶/۳۲۴**	۴۲۹۲۰/۰**	۱۷۴۴۹/۲**	۳/۵۲۹**	۱۵۵/۷۲۷**	۳۶/۶۵۲**	۱۳/۶۲۹**	۵۹/۰۸۷**
میکوریزا × فلزات سنگین	۴	۱۲/۵۱۹**	۵/۳۱۳*	۰/۶۳۱^{ns}	۹۹۳/۹۷**	۸۳/۵۳۱*	۰/۰۱۲۴^{ns}	۲/۹۶۱**	۰/۷۳۸**	۰/۳۴۶۶**	۳۷/۰۳۸**
خطای آزمایش	۲۷	۰/۸۱۷	۱/۸۴۴	۰/۲۸۰	۱۳۵/۲۰۲	۲۷/۲۹۷	۰/۰۷۳	۰/۲۵۴	۰/۱۱۴	۰/۰۴۵	۱/۴۰۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۲/۶۵	۹/۴۵	۸/۴۹	۵/۱۲	۳/۹۵	۷/۸۲	۴/۶۵	۷/۶۱	۸/۱۷	۲/۰۵

*، ** و ^{ns}به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و عدم معنی‌داری می‌باشند.

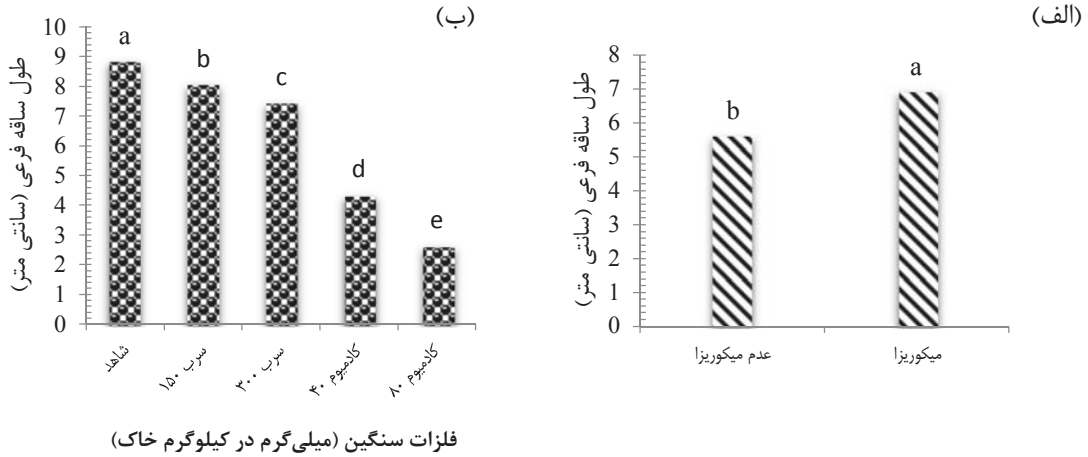


شکل ۱- میانگین ارتفاع بوته رزماری تحت تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین

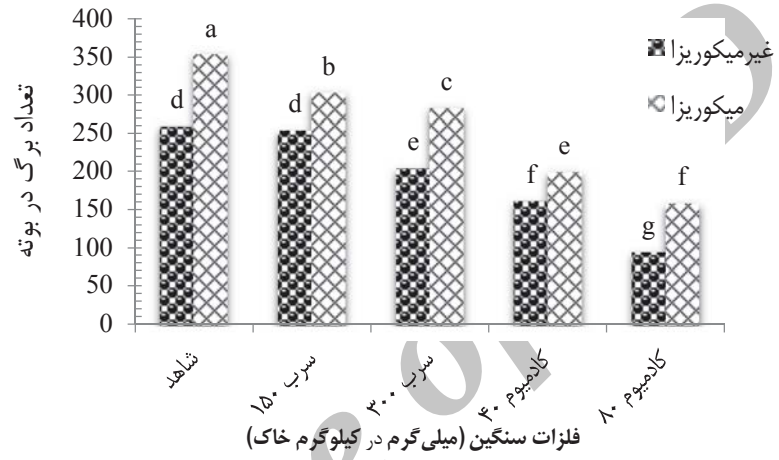


شکل ۲- میانگین تعداد ساقه فرعی رزماری تحت تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین

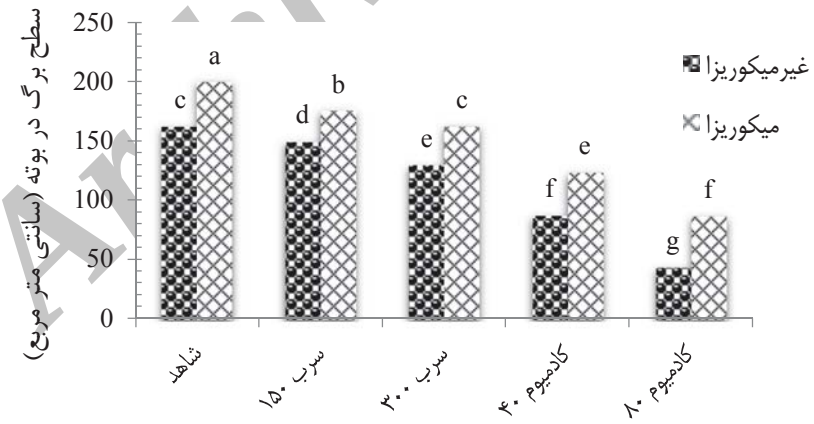
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳- تاثیر میکوریزا (الف) و فلزات سنگین (ب) بر طول ساقه فرعی رزماری



شکل ۴- میانگین تعداد برگ رزماری تحت تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین.



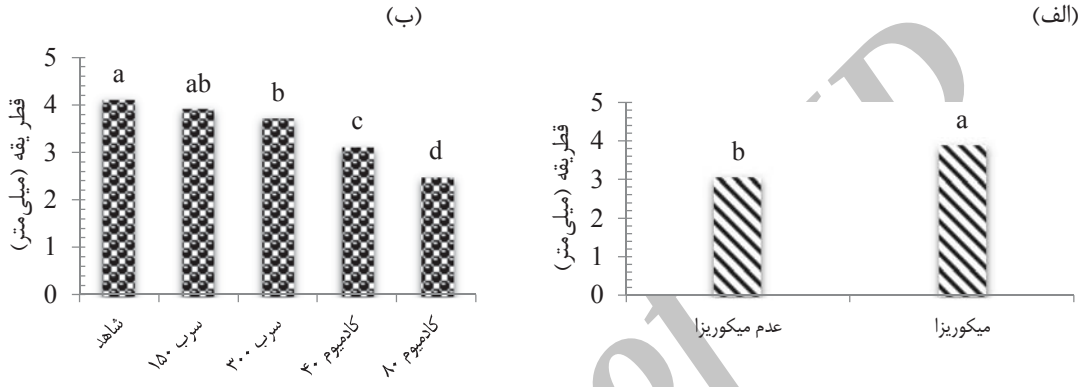
شکل ۵- میانگین سطح برگ در بوته رزماری تحت تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین

نتایج تجزیه واریانس (جدول۲) نشان داد که سطح برگ رزماری به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین ($P\leq ۰/۰۱$) و اثرات متقابل بین آن‌ها ($P\leq ۰/۰۵$) قرار گرفت. بیشترین سطح برگ در گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلزات سنگین مشاهده شد که نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. کم‌ترین میزان سطح برگ در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک حاصل شد که به میزان ۸۲/۶۰ ٪ نسبت به

www.SID.ir

گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلزات سنگین کاهش یافت. هم‌چنین میزان سطح برگ در گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود (شکل ۵).

همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، میکوریزا و فلزات سنگین سرب و کادمیوم تاثیر معنی‌داری بر قطر یقه رزماری داشتند (P≤۰/۰۱) اما اثرات متقابل بین آن‌ها بر قطر یقه معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). قطر یقه در گیاهان میکوریزی به میزان ۲۶/۸۰ ٪ بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی بود (شکل ۶- الف). با افزایش غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک قطر یقه کاهش پیدا کرد و کم‌ترین میزان آن در کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد به‌طوریکه اختلاف معنی‌داری با کادمیوم ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک وجود داشت اما اختلاف معنی‌داری بین سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده نشد (شکل۶- ب).



شکل ۶- تاثیر میکوریزا (الف) و فلزات سنگین (ب) بر قطر یقه رزماری

۳-۳- وزن تر و خشک اندام‌هوایی

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی رزماری به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر میکوریزا، فلزات سنگین و اثرات متقابل بین آن‌ها قرار گرفت (P≤۰/۰۱). گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلزات سنگین دارای بیشترین وزن تر اندام‌هوایی بودند که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. وزن تر اندام‌هوایی در گیاهان میکوریزی رشد یافته در هر غلظت از فلز سنگین، به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی رشد یافته در همان غلظت فلز بود. وزن‌تر اندام‌هوایی در گیاهان میکوریزی آلوده به کادمیوم ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. کم‌ترین میزان وزن تر اندام‌هوایی در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد که به میزان ۷۷/۰۶ ٪ نسبت به گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلزات سنگین کاهش پیدا کرد (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا همراه با عدم کاربرد فلزات سنگین، بیشترین وزن خشک اندام‌هوایی را به دنبال داشت به‌طوریکه نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی در تلفیق با کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (کم‌ترین مقدار وزن خشک اندام‌هوایی)، منجر به ۵۵۳/۷۸٪ افزایش در وزن خشک اندام‌هوایی رزماری شد. هم‌چنین وزن خشک اندام‌هوایی رزماری در گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به میزان ۳۲/۸۴ و ۲۶/۲۹٪ به ترتیب نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک افزایش یافت.

۴-۳- وزن خشک برگ و نسبت برگ به اندام‌هوایی

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲)، وزن خشک برگ و نسبت برگ به اندام‌هوایی رزماری به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر میکوریزا، فلزات سنگین و اثر متقابل بین آن‌ها قرار گرفت (P≤۰/۰۱). بیشترین وزن خشک برگ در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا همراه با عدم کاربرد فلزات سنگین حاصل شد و کم‌ترین آن در گیاهان غیرمیکوریزی

Archive of SID
www.SID.ir

آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد. وزن خشک برگ در گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. هم‌چنین در گیاهان میکوریزی آلوده به کادمیوم ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک وزن خشک برگ به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک افزایش یافت (جدول ۳). بیشترین نسبت برگ به اندام‌هوایی در گیاهان غیرمیکوریزی همراه با عدم کاربرد فلز سنگین بدست آمده است هرچند که اختلاف معنی‌داری با گیاهان غیرمیکوریزی در تلفیق با کادمیوم ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نداشت. کم‌ترین نسبت برگ به اندام‌هوایی نیز در گیاهان میکوریزی آلوده به کادمیوم۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد.

جدول ۳- میانگین صفات اندازه‌گیری شده رزماری تحت تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین

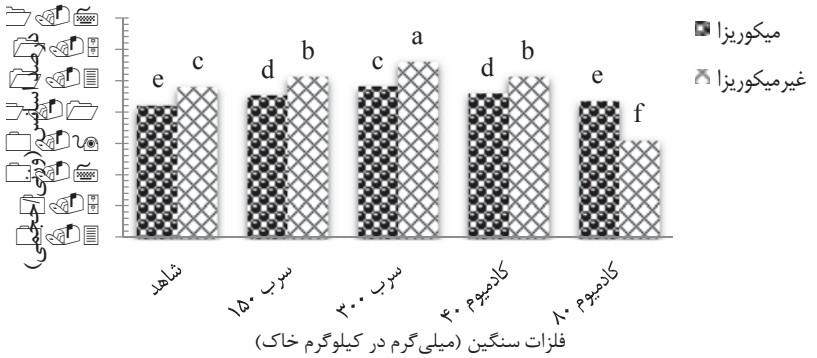
قارچ میکوریزا	فلزات سنگین (میلی‌گرم در کیلوگرم)	وزن تر اندام‌هوایی (گرم)	وزن خشک اندام‌هوایی (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)	نسبت برگ به اندام‌هوایی (٪)
عدم تلقیح با میکوریزا	شاهد	۱۲/۹۸^{c}	۵/۸۹^{c}	۳/۷۴^{c}	۶۳/۵۰^{a}
	سرب ۱۵۰	۱۲/۲۱^{d}	۴/۶۸^{d}	۲/۶۵^{e}	۵۶/۷۵^{ed}
	سرب ۳۰۰	۱۰/۶۹^{e}	۴/۰۵^{e}	۲/۲۶^{f}	۵۵/۷۵^{e}
	کادمیوم ۴۰	۶/۷۴^{g}	۲/۲۸^{g}	۱/۴۱^{h}	۶۳/۰۰^{a}
	کادمیوم ۸۰	۴/۰۰^{i}	۱/۱۹^{h}	۰/۷۰^{i}	۵۸/۷۵^{bc}
تلقیح با میکوریزا	شاهد	۱۷/۴۴^{a}	۷/۷۸^{a}	۴/۵۹^{a}	۵۹/۰۰^{b}
	سرب ۱۵۰	۱۶/۲۲^{b}	۷/۲۰^{b}	۴/۱^{b}	۵۷/۰۰^{cde}
	سرب ۳۰۰	۱۳/۵۰^{c}	۵/۷۰^{c}	۳/۳۱^{d}	۵۸/۰۰^{bcd}
	کادمیوم ۴۰	۹/۰۳^{f}	۳/۳۸^{f}	۱/۹۴^{g}	۵۷/۵۰^{bcde}
	کادمیوم ۸۰	۵/۵۰^{h}	۲/۲۱^{g}	۱/۱۲^{h}	۵۰/۵۰^{f}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند (P≤۰/۰۵).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس درصد و عملکرد اسانس رزماری تحت تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین

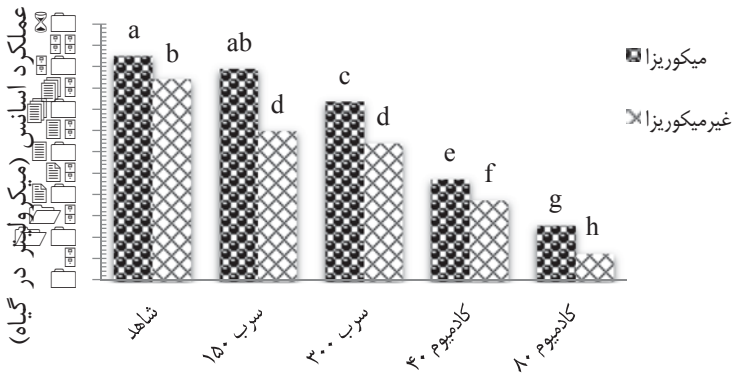
	میانگین مربعات		
منابع تغییر	درجه آزادی	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار	۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱
میکوریزا	۱	۰/۰۱۴۴**	۰/۰۰۰۷۲**
فلزات سنگین	۴	۰/۰۹۹۳**	۰/۰۰۲۱۴**
میکوریزا×فلزات‌سنگین	۴	۰/۰۶۰۳**	۰/۰۰۰۰۲۹**
خطای آزمایش	۲۷	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۸۷	۸/۰۳

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ می‌باشند.



شکل ۷- درصد اسانس رزماری تحت تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۸- عملکرد اسانس رزماری تحت تاثیر میکوریزا و فلزات سنگین

۳-۵- درصد و عملکرد اسانس رزماری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان داد که تاثیر میکوریزا، فلزات سنگین و اثر متقابل بین آن‌ها بر درصد اسانس و عملکرد اسانس رزماری معنی‌دار شد ($P\leq ۰/۰۱$).

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، بیشترین درصد اسانس رزماری در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به سرب ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک حاصل شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. در کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بر خلاف سایر غلظت‌های فلزات سنگین، گیاهان میکوریزی به‌طور معنی‌داری دارای درصد اسانس بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی بودند. کمترین میزان اسانس نیز در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد.

بیشترین عملکرد اسانس به میزان ۵۳/۸ میکرو لیتر در گیاه، در گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلز سنگین حاصل شد هرچند که با گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری نداشت. هم‌چنین درصد اسانس در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. کم‌ترین عملکرد اسانس به میزان ۶/۵ میکرو لیتر در گیاه، در گیاهان غیرمیکوریزی در تلفیق با کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد که به میزان ۸۷/۹۲ ٪ نسبت به گیاهان میکوریزی غیرآلوده به فلز سنگین (بیشترین عملکرد اسانس) کاهش پیدا کرد (شکل ۸).

نتایج بررسی صفات رشدی و عملکرد رزماری در سطوح مختلف فلزات سنگین و تلقیح قارچ میکوریزا نشان داد که با افزایش غلظت فلز سنگین در خاک، صفات رشدی و عملکرد رزماری کاهش یافت و افزایش غلظت فلز در خاک تاثیر منفی بر این صفات داشت. هم‌چنین اثرات منفی فلز کادمیوم بر رشد گیاه بسیار بیشتر از فلز سرب بود. بنظر می‌رسد تغییرات مشاهده شده در صفات مورفولوژیکی گیاه ممکن است از علائم اثرات سمی فلزات سنگین بر غشای پلاسمایی باشد که می‌تواند کاهش عملکرد را در این شرایط توجیه کند. هم‌چنین تغییر کلروپلاست در گیاهان رشد یافته در شرایط تنش فلزات سنگین نیز مشاهده شده است [۱۰]. کاهش جذب عناصر غذایی و کاهش رشد گیاه ممکن است به دلیل ممانعت از فعالیت آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در نتیجه تنش فلزات سنگین باشد که ممکن است سیستم فعالیتی آنتی اکسیدانی را تضعیف کرده و در نهایت رشد گیاه را کاهش دهد [۱۳]. هم‌چنین تاثیر مستقیم فلزات در متابولیسم سلولی اندام‌هوایی، ممکن است منجر به کاهش ارتفاع بوته و سایر صفات رشدی در گیاهان تحت تاثیر تنش فلزات سنگین شود. بناویدس و همکاران [۱۴] اظهار داشتند که کاهش رشد گیاهان در معرض سرب و کادمیوم احتمالاً به دلیل مهار فعالیت‌های متابولیکی مهم نظیر تنش اکسیداتیو، فتوسنتز و تنفس است.

همان‌طور که بیان شد در این پژوهش با افزایش سطح کادمیوم و سرب برخی شاخص‌های رشدی و عملکرد گیاه رزماری، نظیر زیست توده، ارتفاع بوته، سطح برگ و دیگر صفات رشدی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت اما تلقیح گیاهان مورد بررسی با قارچ میکوریزا آربوسکولار در شرایط تنش فلزات سنگین سرب و کادمیوم، منجر به افزایش این صفات در مقایسه با شاهد بدون تلقیح قارچ شد. افزایش وزن خشک اندام‌هوایی و دیگر صفات رشدی، با جذب بالای

Archive of SID
www.SID.ir

فسفر در گیاه و پتانسل کلونیزاسیون مطلوب ریشه و به تبع آن رشد میسیلیوم‌های خارجی و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه مرتبط است. ثابت شده است که کلونیزه شدن ریشه توسط قارچ میکوریزا بسیاری از خصوصیات مورفولوژیکی ریشه و اندام‌هوایی گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد که ریشه‌های بیشتر، عمومی‌ترین اثری است که معمولا توضیح داده می‌شود و بیشتر محققان بر این عقیده اند که قارچ میکوریزا با ایجاد تغییرات هورمونی و فعال سازی مریستم ریشه باعث تحریک ریشه‌زایی می‌شود [۱۲]. بیشترین سطح برگ در هر گیاه، در گیاهان میکوریزی مشاهده شد و با افزایش سطح فلزات سرب و کادمیوم، سطح برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. استدلال برخی محققان این است که مکانیسم حفاظت گیاهان میکوریزی در برابر تجمع فلزات سنگین می‌تواند به‌طور غیرمستقیم افزایش تغذیه فسفری گیاه و افزایش رشد گیاه در اثر رقت فلزات سنگین باشد. هم‌چنین قارچ میکوریزا رشد، عملکرد اندام هوایی و عملکرد ریشه ریحان را در غلظت کم کادمیوم، سرب و نیکل در مقایسه با شاهد افزایش داد [۱۰]. آریاگادا و همکاران [۱۵] نشان دادند که تلقیح گیاهان با میکروارگانیسم‌های خاک مانند قارچ میکوریزا می‌تواند استقرار گیاه را بهبود بخشد. مقادیر بالای فلزات سنگین در خاک می‌تواند رشد گیاه و جذب عناصر غذایی را کاهش دهد و نتایج تحقیقات مختلف نشان داده که قارچ میکوریزا گیاه را درمقابل اثرات سمی فلزات سنگین حفاظت می‌کند [۱۰، ۱۱، ۱۶، ۱۷].

درصد اسانس رزماری در گیاهان میکوریزی کمتر از گیاهان غیرمیکوریزی بود (شکل ۷) اما عملکرد اسانس در گیاهان میکوریزی به میزان قابل توجهی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی حاصل شد (شکل ۸). بدلیل عملکرد بالاتر پیکر رویشی، گیاهان میکوریزی رزماری عملکرد اسانس بیشتری از گیاهان غیرمیکوریزی داشتند. اثرات مثبت میکوریزا بر رشد گیاهان حاوی اسانس مانند ریحان (*Ocimum basilicum*) نیز توسط گوپتا [۱۸] گزارش شده است. نتایج تحقیقات گوپتا نشان داد که گونه‌های قارچ میکویزا می‌توانند اثرات متفاوتی را در گیاهان یکسان القا کنند و عملکرد اسانس می‌تواند بر اساس گونه‌های میکوریزا متفاوت باشد. کاراجینادس و همکاران [۱۹] اثر قارچ میکوریزا را بر تولید اسانس دو گیاه مرزنجوش (*Origanum* sp.) و نعناع (*Mentha* sp.) بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد که گیاهان میکوریزی میزان اسانس بالاتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی داشتند. علاوه بر این ترکیبات اسانس در گیاهان میکوریزی نسبت به غیرمیکوریزی متفاوت بود. هم‌چنین بر اساس تحقیق دف و همکاران [۲۰] با کاربرد فلز سنگین مس در خاک درصد اسانس رزماری افزایش یافت و باعث ایجاد تغییراتی در ترکیبات اسانس رزماری شد. از فسفر معدنی به عنوان عامل تاثیرگذار در بیوسنتز اسانس یاد می‌کنند. بنابراین به نظر می‌رسد که میکوریزا از طریق زیست‌فراهمی عناصر، برقراری تعادل سطوح و مواد غذایی خاک و بهبود تغذیه معدنی گیاه، تاثیر مثبتی بر مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه داشته و از این طریق در میزان مواد موثره تولیدی، تاثیرگذار بوده است و احتمال دارد فراهمی و تعادل عناصر غذایی موجود، واکنش‌های آنزیمی و عوامل دخیل در هدایت این مسیرهای بیوسنتزی را در گیاه، تحت تاثیر قرار دهند [۲۱].

در نهایت نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که عملکرد اسانس رزماری در گیاهان میکوریزی افزایش یافت. همزیستی قارچ‌های میکوریزا با گیاهان دارویی نه تنها رشد آن‌ها را بهبود می‌بخشد، بلکه تولید ترکیبات دارویی را نیز افزایش می‌دهد. بنابراین نیاز امروزتولیدکنندگان گیاهان دارویی تحقیق درباره بهبود کیفیت و کمیت داروهای تولید شده از گیاهان دارویی، در زمان نسبتا کوتاه با هزینه پایین توسط قارچ میکوریزا است.

۴- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر قارچ میکوریزا آربوسکولار بر رشد وعملکرد کمی و در گیاه دارویی رزماری در شرایط تنش فلزات سنگین سرب و کادمیوم انجام شد. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک میزان رشد و عملکرد در رزماری کاهش یافت اما تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا باعث افزایش تحمل این گیاه در شرایط تنش فلزات سنگین شد و رشد و عملکرد را در چنین شرایطی بهبود بخشید. قارچ میکوریزا علاوه بر افزایش میزان رشد و زیست‌توده گیاه، باعث افزایش عملکرد نهایی ماده موثره (عملکرد اسانس رزماری) شد که از اهداف اصلی در تولید گیاهان دارویی است. استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید خاک مانند قارچ میکوریزا می‌تواند نقش بسیار مهمی در تحریک رشد گیاه در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش فلزات سنگین سرب و کادمیوم داشته باشد. پایداری در تولید گیاهان دارویی و بهره‌گیری از سیستم‌های کشاورزی پایدار تا حد زیادی به استفاده مجدد از نهاده‌های طبیعی در سیستم تولید و متعاقباً افزایش

Archive of SID
www.SID.ir

کارایی نهاده‌ها بستگی دارد. بنابراین شناسایی راهبرد عملی و موثر در افزایش بازده کودهای شیمیایی و کاهش تلفات آن‌ها به منظور کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی به ویژه آلودگی فلزات سنگین و بهره گیری از میکروارگانیسم‌ها و موجودات خاکزی مانند قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار برای توسعه سیستم‌های پایدار در کشورهای در حال توسعه مانند ایران امری اساسی و کلیدی است.

سپاسگزاری

بدینوسیله از جناب آقایان دکتر فرهاد رجالی و دکتر احمد اصغر زاده، اعضای محترم هیئت علمی مرکز تحقیقات خاک و آب کشور، بخش بیولوژی خاک، تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

[1] گرماگذاری Incubation

[2] مه‌افشان Mist

منابع

[1] Omidbaigi R. Production and Processing of Medicinal Plants. Astane Ghodse Razavi Publication. Iran. Volum 4; **2010**. P. 489. **[In Persian]**.

[2] Garbisu C, Alkorta I. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. Bioresource Technology Journal; **2001; 77**: 229-236.

[3] Tabrizi L. Ecological characteristics of Khorasan Thyme (*Thymus transcaspicus* Klokov) in natural habitats and evaluation of possibility for domestication under low input cropping systems. Ph.D.: Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran; **2007**. P. 225. **[In Persian]**.

[4] Bethlenfalvay G J, RP, Schreiner K L, Mihara McDaniel H. Mycorrhizae, biocides and biocontrol. Mycorrhizal fungi enhance weed control and crop growth in a soybean-cocklebur association treated with the herbicide bentazon. Soil Ecology Journal; **1996; 3**: 205-214.

[5] Gharineh M H, Haydari M, Nadian H. Interactive Effects of Salinity and Mycorrhizal Colonization on Some Heavy Metals Uptake by Saffron Plant (*Crocus sativus* L.). International Conference on Agriculture, Chemical and Environmental Sciences; **2011;** 103-106.

[6] AL-Ghamdi A, Jais H, Khogali A. Relationship between the status of arbuscular mycorrhizal colonization in the roots and heavy metal and flavonoid Incubation contents in the leaves of *Juniperus procera*. Journal of Ecology and the Natural Environment; **2012; 4**: 212-218.

[7] Jianfeng H, Xiangui L, Rui Y, Yufang S. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on arsenic accumulation by tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). Journal of Environmental Sciences; **2009; 21**: 1214–1220.

[8] Whitfield, L, A J, Richards D, L. Rimmer. Relationships between soil heavy metal concentration and mycorrhizal colonisation in *Thymus polytrichus* in northern England. Mycorrhiza Journal; **2004; 14**(1): 55-62.

[9] Citterio S, Prato N, Fumagalli P, Aina R, Massa N, Santagostino A, Sgorbati S, Berta G. The arbuscular mycorrhizal fungus Glomus mosseae induces growth and metal accumulation changes in *Cannabis sativa* L. Journal of Chemosphere; **2005; 59:** 21–29.

[10] Prasad A, Kumar S, Khaliq A, Pandey A. Heavy metals and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi can alter the yield and chemical composition of volatile oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Biology and Fertility of Soils Journal; **2011; 47**(8): 853-861.

[11] Orłowska E, Godzik B, Turnau K. Effect of different arbuscular mycorrhizal fungal isolates on growth and arsenic accumulation in *Plantago lanceolata* L. Environmental Pollution Journal; **2012; 168:** 121-130

[12] Kamalpoor S. Study of the effect of biological factors on eucalyptus phytoremediation efficiency in a lead and cadmium polluted soil. M.Sc. Thesis. University of Tehran. Karaj, Iran. **2013**. P. 149. **[In Persian]**.

[13] Dey SK, Dey J, Patra S, Pothal D. Changes in the antioxidative enzyme activities and lipid peroxidation in wheat seedlings exposed to cadmium and lead stress. Brazilian Journal of Plant Physiology; **2007; 19**: 53–60.

[14] Benavides M P, Gallego S M, Tomaro M L. Cadmium toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology**; 2005; 17**(1): 21-34.

[15] Arriagada C A, Herrera M A, F. Borie J A. Contribution of Arbuscular Mycorrhizal and Saprobe Fungi to the Aluminum Resistance of *Eucalyptus globulus*. Water, Air and Soil Pollution Journal; **2007; 182** :383–394.

[16] Liu L Z, Gong Z Q, Zhang Y L, Li P J. Growth, Cadmium Accumulation and Physiology of Marigold (*Tagetes erecta*L.) as Affected by

Archive of SID

www.SID.ir

Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Pedosphere Journal; **2011; 21**(3): 319-327.

[17] Andrade S A, Silveira A P, Mazzafera P. Arbuscular mycorrhiza alters metal uptake and the physiological response of *Coffea arabica* seedlings to increasing Zn and Cu concentrations in soil. Science Total Environmental Journal; **2010; 408**(22): 5381-5391.

[18] Gupta A P, Dhar J K, Sharma G, Ram G, Bedi Y S. Volatile (As and Hg) and non-volatile (Pb and Cd) toxic heavy metals analysis in rhizome of *Zingiber officinale* collected from different locations of North Western Himalayas by Atomic Absorption Spectroscopy. Food Chemical Toxicology Journal; **2010; 48**(10): 2966-2971.

[19] Karagiannidis N, Thomidis T, Lazari D, Panou-Filotheou E, Karagiannidou, C. Effect of three Greek arbuscular mycorrhizal fungi in improving the growth, nutrient concentration, and production of essential oils of oregano and mint plants. Scientia Horticulturae Journal; **2011; 129**(2): 329-334.

[20] Deef HE. Copper treatments and their effects on growth, carbohydrates, minerals and essential oils contents of *Rosmarinus officinalis* L. World Journal of Agricultural Sciences; **2007; 3**(3): 322-328.

[21] Kapoor R, Bhatnagar AK. Attenuation of cadmium toxicity in mycorrhizal celery (*Apium graveolens* L.). World Journal of Microbiology and Biotechnology; **2007; 23**(8): 1083-1089.

Archive of SID

www.SID.ir