مجله کشاورزی بوم‌شناختی (۲) ۳ (۱۳۹۲) ۵۹- ۴۸

بررسی رشد و عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) در شرایط همزیستی با قارچ میکوریزا آربسکولار و تنش فلزهای سنگین

سیاوش محمدی[۱]، لیلا تبریزی[۱،*]، مجتبی دلشاد[۱]، بابک متشرع زاده[۲]

[۱]گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

[۲]گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

[*]نویسنده مسئول: L.tabrizi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۴

محمدی، س.، ل. تبریزی، م. دلشاد و ب. متشرع زاده. ۱۳۹۲. بررسی رشد و عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) در شرایط همزیستی با قارچ میکوریزا آربسکولار و تنش فلزهای سنگین. مجله کشاورزی بوم شناختی. ۳ (۲): ۵۹- ۴۸.

چکیده

به منظور بررسی تاثیر فلزهای سنگین سرب و کادمیوم و قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های رشد و عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار آزمایشی به صورت عاملیل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصافی با دو عامل و چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. قارچ میکوریزا در دو سطح تلقیح و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین در پنج سطح بدون فلز، سرب ۱۵۰ میلی گرم در کیلو گرم خاک، سرب ۳۰۰ میلی گرم در کیلو گرم خاک، کادمیوم ۴۰ میلی گرم در کیلو گرم خاک و کادمیوم ۸۰ میلی گرم در کیلو گرم خاک در نظر گرفته شدند. ویژگی‌های مورد بررسی شامل زمان آغاز غنچه‌دهی و آغاز گلدهی، ارتفاع بوته، شمار شاخه‌های جانبی در بوته، شمار برگ در بوته، سطح برگ بوته، قطر یقه، شمار گل دربوته، قطر گل، وزن تر و خشک بوته، وزن تر و خشک گل بودند. نتایج نشان دادکه ویژگی‌های اندازه گیری شده در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا به طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان بدون تلقیح با میکوریزا بودند و افزایش غلظت فلزهای سرب و کادمیوم تاثیر منفی بر مقادیر ویژگی‌های مورد بررسی به استثنای ارتفاع گیاه داشت. به گونه ای که با افزایش غلظت سرب ارتفاع گیاه اندکی افزایش یافت اما معنی‌دار نبود. فلز کادمیوم درغلظت ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک تاثیر قابل ملاحظه ای بر رشد رویشی و زایشی همیشه بهار داشت و کمترین مقدار همه‌ی ویژگی‌های مورد بررسی در گیاهان بدون قارچ میکوریزایی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی گرم در کیلو گرم خاک بدست آمد. همچنین در این تیمار، گیاهان وارد مرحله زایشی نشدند. در نهایت تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا همراه با بدون کاربرد فلزهای سنگین منجر به بهبود رشد و عملکرد گیاه شد.

واژه‌های کلیدی: تلقیح، تنش‌های بدون زنده، سرب، رشد زایشی، کادمیوم.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

با مشخص شدن عوارض سوء داروهای شیمیایی، استفاده بشر از گیاهان دارویی افزایش روز افزون یافته است. از طرفی سلامت محصولات کشاورزی به خصوص گیاهان دارویی که از بعد کیفی مطرح می‌باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. افزایش بی رویه در مصرف کودهای شیمیایی منجر به ورود مقادیر زیادی از عناصر مختلف به‌ویژه فلزهای سنگین به منابع خاک، اتمسفر و آب می‌شود که این موضوع می‌تواند سلامت انسان و اکوسیستم‌ها را تهدید کند (Yarkeh Salkhori *et al*., 2010). یکی از ارکان کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در بوم‌نظام‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه‌ای در مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشد (Sharma, 2002) که در نهایت باعث کاهش ورود عناصر سنگین به زمین‌های زراعی خواهد شد. قارچ میکوریزا آربسکولار (AMF)[1] به‌عنوان یکی از انواع کودهای زیستی و یکی از میکروارگانیسم‌های مفید موجود در خاک، دارای رابطه همزیستی با ریشه‌ی اغلب گیاهان می‌باشد و از راه جذب عناصر غذایی، افزایش جذب آب و افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های زنده (عوامل بیماری‌زا) و غیر زنده (خشکی، شوری، فلزهای سنگین و بدونه) سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شود (Sylvia and Williams, 1992). قارچ میکوریزا آربوسکولار از اجزای اصلی زیست توده‌ی میکروبی خاک می‌باشد و همزیستی آنها برای رشد گیاه به‌ویژه از طریق افزایش جذب فسفر، آب و عناصر غذایی حتی تحت شرایط تنش موثر و سودمند می‌باشد (Smith and Read, 1997). همچنین قارچ میکوریزا باعث بهبود رشد گیاه در خاک‌های فقیر شده و می‌تواند در تحمل فلزهای سنگین در گیاهان نقش بسزایی داشته باشد و سبب بهبود عملکرد کمی و کیفی در گیاهان شود (Zhu *et al*., 2001). Nikitas *et al*. (2012) در تحقیقی تاثیر قارچ قارچ میکوریزا (*Glomus lamellosum*) را روی پنج گیاه دارویی مریم‌گلی (*Salvia officinalis*)، اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*)، شمعدانی (*Geranium dissectum*)، مرزنجوش (*Origanum dictamnus*) و سانتولینا (*Santolina chamaecyparissus*) بررسی نموده و گزارش کردند که گیاهان قارچ میکوریزایی شده به طور معنی‌داری، رشد و تولید اسانس و همچنین جذب عناصر غذایی بیشتری نسبت به گیاهان بدون قارچ میکوریزا داشتند. در بررسی دیگری بر روی گیاه شاهدانه (*Cannabis sativa*) گزارش شد که قارچ میکوریزا در خاک آلوده به فلزهای سنگین، غلظت سه فلز کروم، نیکل و کادمیوم را در اندام‌های هوایی شاهدانه افزایش داد هرچند که قارچ میکوریزا اندکی باعث کاهش رشد گیاه شد (Citterio *et al*., 2005). نتایج تحقیق Jianfeng *et al*. (2009) گویای آن بود که قارچ 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 اندام‌های توتون را افزایش دهد. در آزمایشی دیده کردند که در برگهای سروکوهی (*Juniperus procera*) با افزایش درصد قارچ میکوریزایی شدن ریشه، غلظت عناصر کادمیوم، مس، روی،کبالت، سرب و اورانیم در برگ کاهش یافت و با افزایش کلونیزاسیون میزان فلاونوئیدها در برگ افزایش یافت (Al-Ghamdi *et al*., 2012). میسیلیوم‌های خارجی قارچ‌های قارچ میکوریزا عمدتا حاوی هیف و اسپورهای خارجی هستند. هیف‌های خارجی در خاک گسترده شده و سطح جذب بالایی را برای فسفر و مس (Li *et al*., 1991) و روی (Chen *et al*., 2003) ایجاد می‌کنند. همچنین قارچ میکوریزا باعث بهبود رشد گیاه در خاک‌های فقیر شده و در تحمل به فلزهای سنگین و تجمع آنها نقش دارد (Zhu *et al*., 2001).

گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) از تیره‌ی کاسنی (Asteraceae)، گیاهی یک ساله و به ندرت دو ساله و دارای ساقه‌ی منشعب می‌باشد که متحمل به خشکی و دمای پایین بوده و منشا آن مدیترانه و غرب آسیا می‌باشد. از مواد موثره آن می‌توان به فلاونوئیدها، کارتنوئید، موسیلاژ، اسانس و روغن موجود در بذرها اشاره کرد که در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی و صنایع غذایی کاربرد فراوان دارد. از خواص دارویی آن می‌توان، مداوای بیماری‌های گوارشی، التیام زخم‌های پوستی و سوختگی، آرامبخشی و ضد تشنج بودن را نام برد (Omidbaigi, 2007). هدف از انجام این تحقیق، بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف فلزهای سنگین سرب و کادمیوم

[1] Arbuscular mycorrhizal fungi

Archive of SID

www.SID.ir

و اثر قارچ میکوریزا در این شرایط بر روی ویژگی‌های مختلف رویشی و زایشی گیاه دارویی همیشه بهار بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ در گلخانه‌ی تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به‌صورت عاملیل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و چهار تکرار اجرا شد. عامل اول قارچ میکوریزا در دو سطح تلقیح و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا و عامل دوم فلز سنگین در پنج سطح بدون فلز، سرب ۱۵۰ میلی گرم در کیلو گرم خاک، سرب ۳۰۰ میلی گرم در کیلو گرم خاک، کادمیوم ۴۰ میلی گرم در کیلو گرم خاک و کادمیوم ۸۰ میلی گرم در کیلو گرم خاک بودند. به منظور تهیه بستر کشت، مخلوطی از خاک مزرعه، خاکبرگ و ماسه (۱:۱:۱) استفاده شد. نتایج تجزیه خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. نمک‌های مورد استفاده فلزهای سنگین سرب و کادمیوم به ترتیب نیترات سرب و نیترات کادمیوم (مِرک) بودند. به منظور آلوده سازی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها، مقادیر نمک‌های فلزهای سرب و کادمیوم با ترازوی دیجیتال به طور دقیق توزین شد و به صورت محلول پاشی به خاک گلدان‌ها به صورت لایه لایه اضافه شد. دوره‌ی نهفتگی یا خواباندن (انکوباسیون) به‌منظور به تعادل رسیدن و قابل جذب شدن فلزهای سنگین به مدت ۱۰۰روز در نظر گرفته شد. در بهار بذرهای همیشه بهار در گلدان‌های استکانی کشت شدند و نشاها پس از دو هفته در مرحله‌ی دو تا چهار برگی به گلدان‌های اصلی منتقل شدند. قارچ میکوریزا از موسسه‌ی تحقیقات خاک و آب کشور، واقع در کرج تهیه شد که شامل دو گونه *Glomus mosseae* و *G.intraradice* با نسبت‌های برابر بودند. قارچ میکوریزا به میزان ۳۰ گرم برای هر گلدان ۱/۵ کیلوگرمی (قطر دهانه و ارتفاع به ترتیب ۱۷و ۱۶سانتیمتر) در چاله کاشت نشا مورد استفاده قرار گرفت. گیاهان با آب مقطر (دیونیزه شده) آبیاری شدند و عناصر غذایی باتوجه به نتایج تجزیه خاک (جدول ۱)، در حد بهینه برای گیاهان مورد استفاده قرار گرفت. زمان آغاز غنچه‌دهی و آغاز گلدهی نیز ثبت شد. با توجه به این‌که رشد گیاه همیشه بهار نامحدود است، هفته ای دو بار برداشت گل‌ها صورت گرفت و شمار گل، قطرگل، وزن تر و وزن خشک گل‌ها در هر بوته اندازه‌گیری شد. برداشت گل به مدت حدود دو ماه (پایان دوره اوج گلدهی) به طول انجامید و گلها درسایه و در دمای اتاق خشک شدند. سپس کل بوته برداشت شد و ویژگی‌هایی نظیر: ارتفاع بوته، شمار برگ در بوته، شمار شاخه جانبی در بوته، قطر یقه، سطح برگ و وزن تر و خشک بوته اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رشدی و عملکردی همیشه بهار، در جدول ۲ و جدول ۴ نشان داده شده‌است. تاثیر قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین سرب و کادمیوم بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد گیاه همیشه‌بهارمعنی‌دار شد ($P\leq ۰/۰۱$). درحالیکه اثر متقابل آنها بر ویژگی‌هایی مانند شمار ساقه فرعی، وزن خشک گل و شمار گل در گیاه تاثیر معنی‌داری نداشت ($P>۰/۰۵$).

زمان آغاز غنچه‌دهی و آغاز گلدهی همیشه‌بهار

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، نتایج گویای تاثیر معنی‌دار قارچ میکوریزا، فلزهای سنگین و اثرات متقابل بین آنها بر زمان آغاز غنچه‌دهی و آغاز گلدهی همیشه‌بهار می‌باشد ($P\leq ۰/۰۱$). گیاهان میکوریزی رشد یافته در خاک بدون آلوده به فلزهای سنگین سریعتر وارد مرحله زایشی شدند و کمترین زمان را از انتقال نشا تا آغاز غنچه‌دهی و آغاز گلدهی به خود اختصاص دادند. در گیاهان میکوریزی و بدون میکوریزی، افزایش غلظت فلزهای سنگین، باعث تاخیر در زمان آغاز غنچه‌دهی و گلدهی همیشه‌بهار شد. گیاهان میکوریزی در تمام

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

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

Archive of SID

www.SID.ir

سطوح فلزهای سنگین سریعتر از گیاهان بدون میکوریزی آلوده به فزات سنگین وارد مرحله زایشی شدند. زمان آغاز گلدهی و غنچه‌دهی گیاهان میکوریزی رشد یافته در سطح صفر فلزهای سنگین به ترتیب ۵۹/۵ و ۶۶/۳ روز پس از انتقال نشا بود درحالی‌که گیاهان بدون میکوریزی آلوده به سرب ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، دیرتر از دیگر گیاهان وارد مرحله زایشی شدند و زمان آغاز غنچه‌دهی و گلدهی در این تیمار به ترتیب ۱۱۲/۵ و ۱۱۹/۰ روز پس از انتقال نشا دیده شد. همچنین گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک هرگز وارد مرحله زایشی نشدند (جدول ۳).

ارتفاع بوته و شمار شاخه جانبی در بوته

همان‌گونه که در جدول ۴ نشان داده شده است، تاثیر قارچ میکوریزا، فلزهای سنگین و اثرات متقابل بین آنها بر ارتفاع بوته همیشه‌بهار معنی‌دار شد ($P\leq ۰/۰۱$). بیشترین ارتفاع بوته در گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمده شد، هرچند که با گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلزهای سنگین اختلاف معنی‌داری نشان نداد. همچنین کمترین ارتفاع بوته در گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به میزان ۱۱/۳۵ سانتیمتر دیده شد (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین بر شمار شاخه جانبی در بوته معنی‌دار بود ($P\leq ۰/۰۱$) اما اثرات متقابل بین آنها بر شمار شاخه جانبی در بوته معنی‌دار نشد ($P>۰/۰۵$). شمار شاخه جانبی در بوته در گیاهان میکوریزی به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان بدون میکوریزی بود (شکل ۱الف). با افزایش غلظت سرب و کادمیوم شمار شاخه جانبی در بوته کاهش پیدا کرد و کمترین شمار شاخه جانبی در کادمیوم غلظت ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم دیده شد. هرچند بین غلظت سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱ب).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس زمان آغاز مرحله زایشی همیشه‌بهار تحت تاثیر قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		زمان آغاز غنچه‌دهی	زمان آغاز گلدهی
تکرار	۳	۳۱/۳۷	۳۰/۳۳
قارچ میکوریزا	۱	۴۹۰/۰۰**	۶۵۶/۱۰**
فلزهای سنگین	۴	۳۷۰۰/۷۲**	۴۰۰۶/۸۱**
میکوریزا × فلزهای‌سنگین	۴	۴۱۵۴/۰۰**	۴۸۰۴/۴۱**
خطای آزمایش	۲۷	۸/۲۶	۹/۴۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۳/۹۶	۳/۹۱

جدول ۳- زمان آغاز غنچه‌دهی و گلدهی همیشه‌بهار تحت تاثیر قارچ میکوریزا و غلظت‌های فلزهای سنگین.

قارچ میکوریزا	فلزهای سنگین (میلی‌گرم در کیلوگرم)	آغاز غنچه‌دهی (شمار روز از انتقال نشا)	آغاز گلدهی (شمار روز از انتقال نشا)
بدون تلقیح با قارچ میکوریزا	شاهد	۸۵/۰d	۹۲/۰d
	سرب ۱۵۰	۹۳/۸e	۹۹/۸e
	سرب ۳۰۰	۱۱۲/۵f	۱۱۹/۰f
	کادمیوم ۴۰	۸۸/۳d	۹۵/۵de
	کادمیوم ۸۰	بدون غنچه‌دهی	بدون گلدهی
تلقیح با قارچ میکوریزا	شاهد	۵۹/۵a	۶۶/۳a
	سرب ۱۵۰	۶۸/۰b	۷۴/۸b
	سرب ۳۰۰	۶۸/۵b	۷۴/۰b
	کادمیوم ۴۰	۷۹/۸c	۸۶/۵c
	کادمیوم ۸۰	۷۰/۸c	۷۷/۳b

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

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- تجزیه واریانس ویژگی‌های ارزیابی شده گیاه همیشه بهارتحت تاثیر قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		ارتفاع بوته	شمار شاخه جانبی در بوته	شمار برگ در بوته	قطر یقه	سطح برگ	وزن تر بوته	وزن خشک بوته	شمار گل در بوته	قطر گل	وزن تر گل	وزن خشک گل
تکرار	۳	۳/۹۸۴	۴/۰۲۵	۱۷۰/۰۹	۰/۰۳۸	۱۸۸/۸	۳/۴۰۱	۰/۱۷۵	۱/۲۶۶	۰/۷۳۲	۰/۵۲۹	۰/۰۲۳
قارچ میکوریزا	۱	۶۴۰/۸۰**	۹۳/۰۲۵**	۹۲۱۱/۲**	۷/۴۸۲**	۹۰۹۱۶/۲**	۳۹۱/۲۵**	۳۲/۰۲۳**	۲۰۲/۵۰**	۳۹۶/ ۰۱**	۶۴/۸۹۷**	۱/۹۴۴**
فلزهای سنگین	۴	۵۶۴/۵۵**	۱۹۵/۹۰**	۹۸۲۷/۳**	۷/۵۹۸**	۴۸۵۰۷/۹**	۲۶۹/۱۷**	۳۴/۱۸۷**	۲۹۰/۶۸**	۱۰۵۲/۰**	۸۵/۶۴۵**	۳/۴۲۹**
قارچ میکوریزا × فلزهای سنگین	۴	۱۰۱/۶۴**	۴/۵۲۵^{ns}	۶۳۶/۱۶**	۱/۴۸۶**	۱۸۱۱/۴۲*	۱۳/۰۴۸**	۲/۶۲۷**	۲/۶۸۷^{ns}	۵۵۹/۶۲**	۴/۰۸۱**	۰/۰۱۲^{ns}
خطای آزمایش	۲۷	۵/۸۰۵	۱/۷۴۷	۱۴۸/۷۲	۰/۰۸۶	۶۵۳/۹۲	۲/۵۸۹	۰/۲۷۲	۲/۱۵۶	۲/۰۰۰۵	۰/۸۴۱	۰/۰۰۸۹

*، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و بدون معنی‌داری می‌باشند.

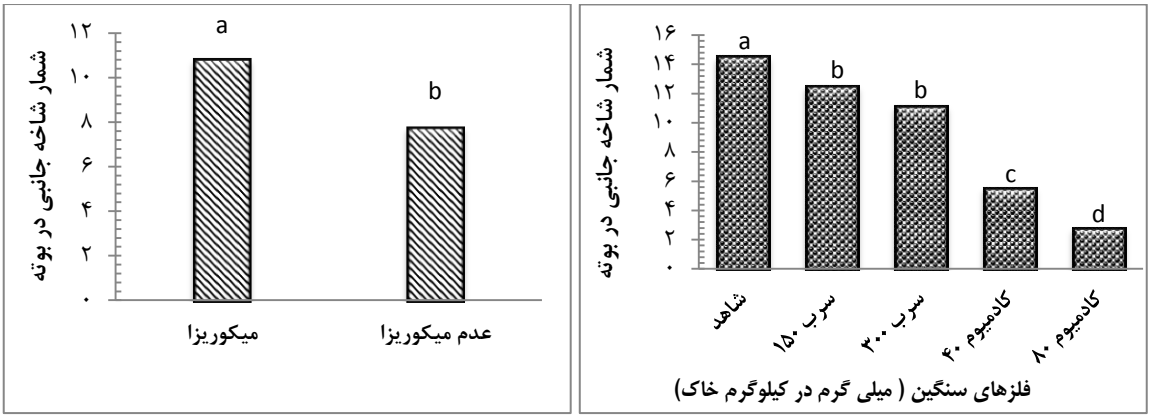
جدول ۵- مقایسه میانگین ویژگی‌های اندازه گیری شده همیشه‌بهار تحت تأثیرقارچ میکوریزا و فلزهای سنگین

قارچ قارچ میکوریزا	فلزهای سنگین (میلی‌گرم در کیلوگرم)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	شمار برگ در بوته	سطح برگ (سانتیمترمربع)	قطر یقه (میلی‌متر)	وزن تر بوته (گرم)	وزن خشک بوته (گرم)
بدون تلقیح با قارچ میکوریزا	شاهد	۳۸/۶۰bc	۱۲۸/۷۵b	۲۸۵/۶۳bc	۵/۱۷bc	۲۴/۵۵b	۷/۸۱cb
	سرب ۱۵۰	۴۰/۳۲ab	۱۱۰/۵۰bc	۲۴۵/۰۰d	۵/۰۲bc	۲۰/۳۲de	۷/۲۵bcd
	سرب ۳۰۰	۳۶/۳۲c	۱۰۳/۵۰c	۱۹۱/۴۸e	۴/۷۲cd	۱۸/۲۸ef	۶/۵۴d
	کادمیوم ۴۰	۳۰/۰۷d	۶۰/۵۰e	۱۸۴/۷۳e	۳/۳۵f	۱۵/۰۷g	۴/۱۵e
	کادمیوم ۸۰	۱۱/۳۵e	۲۵/۷۵f	۶۱/۷۵f	۱/۹۲g	۶/۰۲h	۱/۵۵f
تلقیح با قارچ میکوریزا	شاهد	۴۰/۸۵ab	۱۵۹/۵۰a	۳۹۷/۲۰a	۵/۶۵a	۲۹/۵۲a	۸/۸۹a
	سرب ۱۵۰	۴۳/۰۷a	۱۲۴/۲۵b	۳۲۱/۷۵b	۵/۳۰ab	۲۴/۸۵b	۸/۰۱b
	سرب ۳۰۰	۴۴/۰۲a	۱۱۷/۰۰bc	۲۶۰/۸۸cd	۴/۸۷bcd	۲۳/۰۰bc	۷/۵۸bc
	کادمیوم ۴۰	۳۷/۴۷bc	۹۸/۲۵cd	۲۶۳/۱۰cd	۴/۵۵de	۲۱/۵۰cd	۷/۰۷cd
	کادمیوم ۸۰	۳۱/۲۷d	۸۱/۷۵d	۲۰۲/۴۰e	۴/۱۵e	۱۶/۶۵fg	۴/۷۰e

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

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- اثر ساده قارچ میکوریزا (الف) و فلزهای سنگین (ب) بر شمار شاخه جانبی در بوته همیشه‌بهار.

شمار برگ، سطح برگ و قطر یقه

همانطور که در جدول ۴ دیده می‌شود شمار برگ و سطح برگ در بوته همیشه‌بهار به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قارچ میکوریزا، فلزهای سنگین و اثرات متقابل بین آنها قرار گرفتند ($P\leq ۰/۰۱$). براساس نتایج موجود در جدول ۵، کمترین شمار برگ و سطح برگ در گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به دست آمده شد که به ترتیب ۸۴/۹۲ و ۸۴/۴۵ ٪ نسبت به گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلزهای سنگین (بیشترین شمار برگ و سطح برگ) کاهش یافت.

بنابر نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴)، قطر یقه همیشه‌بهار به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قارچ میکوریزا، فلزهای سنگین و اثرات متقابل بین آنها قرار گرفت ($P\leq ۰/۰۱$). بیشترین قطر یقه همیشه‌بهار در گیاهان بدون میکوریزی آلوده به فلزهای سنگین دیده شد درحالی‌که با گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین قطر یقه در گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به دست آمده شد که نسبت به گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلزهای سنگین ۶۶/۰۲ ٪ کاهش نشان داد (جدول ۵).

وزن تر و وزن خشک بوته

نتایج تجزیه واریانس گویای تاثیر معنی‌دار قارچ میکوریزا، فلزهای سنگین و اثرات متقابل بین آنها بر وزن تر بوته همیشه‌بهار می‌باشد ($P\leq ۰/۰۱$) (جدول ۴). بیشترین وزن تر بوته در گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلزهای سنگین دیده شد که به‌طورمعنی‌داری بیشتر از دیگر تیمارها بود. وزن تر بوته در بین گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری نداشت ولی به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان بدون میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بودند. همچنین وزن تر بوته در گیاهان میکوریزی آلوده ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بودند. کمترین وزن تر بوته نیز در گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک دیده شدکه به میزان ۷۹/۶۱٪ نسبت به گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلزهای سنگین کاهش پیدا کرد (جدول ۵).

همان گونه که که در جدول ۴ نشان داده شده است، وزن خشک بوته همیشه‌بهار به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قارچ میکوریزا، فلزهای سنگین و اثرات متقابل بین آنها قرار گرفت ($P\leq ۰/۰۱$). وزن خشک بوته در گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلزهای سنگین به‌طورمعنی‌داری بیشتر از دیگر تیمارها بود. وزن خشک بوته در گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلز سنگین نسبت به گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان بدون میکوریزی آلوده به سرب ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. ضمن اینکه وزن خشک بوته در گیاهان میکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، نسبت به گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. کمترین وزن خشک بوته نیز در گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در

Archive of SID

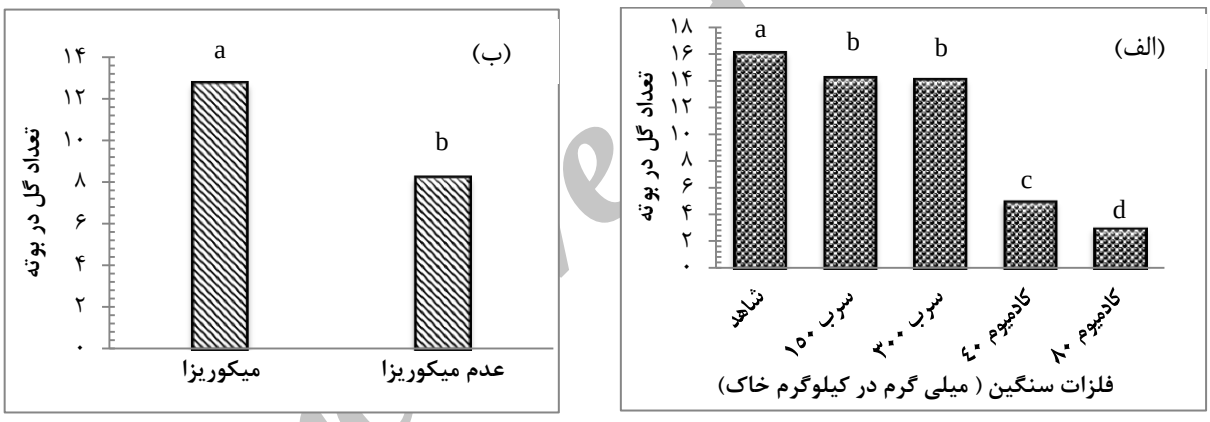
www.SID.ir

کیلوگرم خاک دیده شد که نسبت به گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلزهای سنگین به میزان ۸۲/۵۶٪ کاهش یافت (جدول ۵).

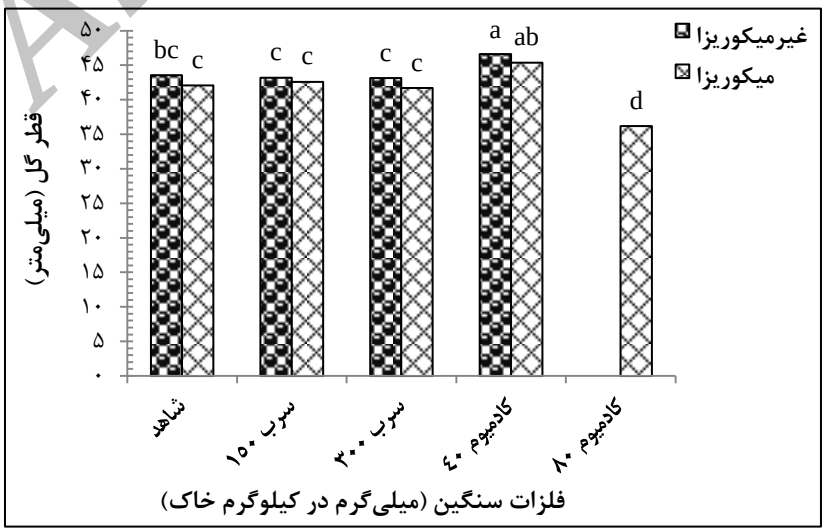
شمار و قطر گل در بوته

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که تاثیر قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین، بر شمار گل در بوته معنی‌دار شد ($P\leq ۰/۰۱$) ولی اثرات متقابل بین آنها بر شمار گل در بوته معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$). گیاهان میکوریزی شمار گل بیشتری نسبت به گیاهان بدون میکوریزی داشتند که به میزان ۵۴/۵۵ ٪ در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی افزایش پیدا کرد (شکل ۲ الف). همچنین شمار گل در بوته با کاربرد فلزهای سرب و کادمیوم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت هرچند بین غلظت سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی دار وجود نداشت درحالی‌که افزایش غلظت کادمیوم از ۴۰ به ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به‌طور معنی‌داری سبب کاهش شمار گل در بوته شد (شکل ۲ ب). همچنین گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک هرگز به گل نرفتند.

قطر گل همیشه‌بهار به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قارچ میکوریزا، فلزهای سنگین و اثرات متقابل بین آنها قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین قطر گل در گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به دست آمده شد هرچند که با گیاهان میکوریزی آلوده به کادمیوم ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری نداشت. قطر گل در گیاهان میکوریزی و بدون میکوریزی بدون آلوده به فلز سنگین و آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین کمترین قطر گل در گیاهان میکوریزی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک دیده شد (شکل ۳).



شکل ۲- تاثیر قارچ میکوریزا (الف) و فلزهای سنگین (ب) بر شمار گل در بوته همیشه بهار.



شکل ۳- میانگین قطر گل همیشه‌بهار تحت تاثیر قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین.

Archive of SID

www.SID.ir

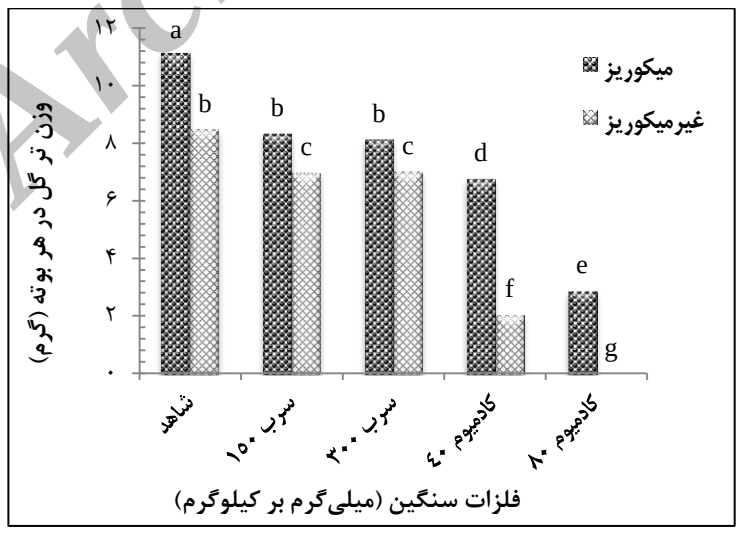
وزن تر و خشک گل در بوته

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که وزن تر گل در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قارچ میکوریزا، فلزهای سنگین و اثرات متقابل بین آنها قرار گرفت (P≤۰/۰۱)، همچنین تاثیر قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین بر وزن خشک گل در بوته در همیشه‌بهار معنی‌دار شد (P≤۰/۰۱) اما اثرات متقابل قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین بر وزن خشک گل در بوته معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵) (جدول ۴). بیشترین وزن تر گل در گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلزهای سنگین به دست آمده شد. وزن تر گل در گیاهان میکوریزی در تمام سطوح فلز، کمتر از گیاهان بدون میکوریزی آلوده به فلز سنگین بود. وزن تر گل در گیاهان میکوریزی آلوده به سرب ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری نشان نداد ولی به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلزهای سنگین کاهش یافت. وزن تر گل در گیاهان میکوریزی و بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نسبت به گیاهان میکوریزی و بدون میکوریزی در تلفیق با سطح صفر فلز، سرب ۱۵۰ و سرب ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. همچنین کمترین وزن تر گل در گیاهان بدون میکوریزی آلوده به کادمیوم ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک دیده شد که به میزان ۸۱/۴۰٪ نسبت به گیاهان میکوریزی بدون آلوده به فلز سنگین کاهش یافت (شکل ۴).

وزن خشک گل در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی به‌طورمعنی‌داری افزایش یافت به‌طوری که وزن خشک گل در گیاهان میکوریزی به میزان ۴۸/۸۹٪ نسبت به گیاهان بدون میکوریزی افزایش پیدا کرد (شکل ۵ الف). با افزایش غلظت سرب و کادمیوم در خاک، وزن خشک گل به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. بیشترین وزن خشک گل در گیاهان رشد یافته در خاک بدون آلوده به فلزهای سنگین به دست آمده شد و کمترین مقدار آن در گیاهان آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک‌دیده شد (شکل ۵ ب).

بحث

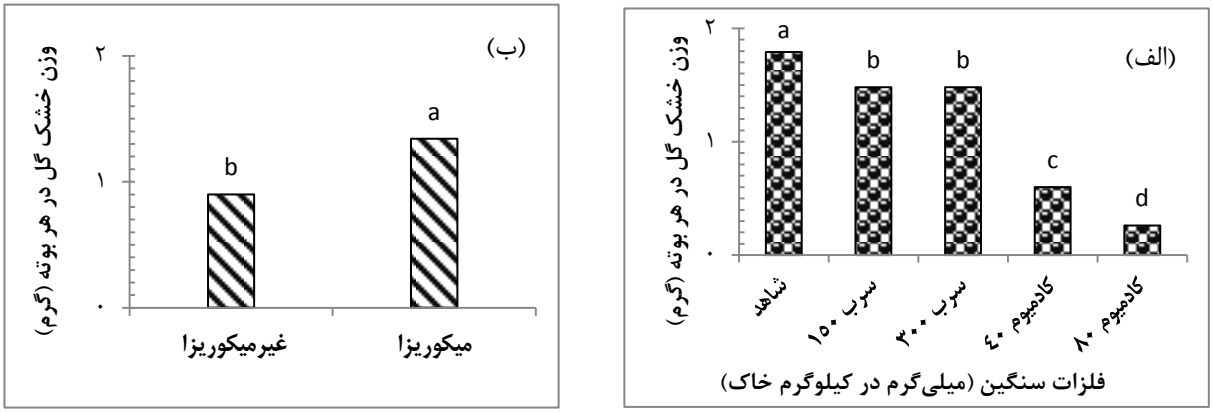
نتایج بررسی ویژگی‌های رشدی همیشه‌بهار در سطوح مختلف فلزهای سنگین و تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد که با افزایش غلظت فلز سنگین در خاک، ویژگی‌های رشدی در گیاه مورد آزمایش کاهش یافت و افزایش غلظت فلز در خاک تاثیر منفی بر این ویژگی‌های داشت. همچنین اثرات منفی فلز کادمیوم بر رشد گیاه بسیار بیشتر از فلز سرب بود به‌طوری که گیاهان همیشه‌بهار بدون قارچ میکوریزایی آلوده به کادمیوم ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، هرگز وارد مرحله زایشی نشدند. بطور کلی، تغییرات دیده شده در ویژگی‌های



شکل ۴- مقایسه میانگین وزن تر گل همیشه‌بهار تحت تاثیر قارچ میکوریزا و فلزهای سنگین.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵- تاثیر قارچ میکوریزا (الف) و فلزهای سنگین (ب) بر وزن خشک گل در بوته همیشه بهار.

رشدی گیاه همیشه بهار ممکن است از علائم اثرات سمی فلزهای سنگین بر غشای پلاسمایی در نتیجه‌ی تولید رادیکال های آزاد باشد. همچنین سرب و کادمیوم ممکن است در جذب آب و عناصر غذایی در همیشه بهار اختلال ایجاد کنند که می‌تواند کاهش عملکرد را در این شرایط توجیه کند. تغییر کلروپلاست نیز در گیاهان رشد یافته در شرایط تنش فلزهای سنگین دیده شده است (Prasad *et al.*, 2011). Shah *et al.* (2011) اظهار داشتند که استفاده از کادمیوم، به شدت رشد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. کاهش جذب عناصر غذایی و کاهش رشد گیاه ممکن است به دلیل بازدارندگی از فعالیت آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در نتیجه تنش فلزهای سنگین باشد که ممکن است سیستم فعالیت آنتی اکسیدانی را تضعیف نموده و در نهایت رشد گیاه را کاهش دهد. همچنین تاثیر مستقیم فلزهای سنگین در سوخت و ساز سلولی اندام‌هوایی، ممکن است منجر به کاهش ارتفاع بوته و دیگر ویژگی‌های رشدی در گیاهان تحت تاثیر تنش فلزهای سنگین گردد (Dey *et al.*, 2007).

Gaida *et al.* (2013) ویژگی‌های رشدی و ریخت‌شناسی (مورفولوژیکی) گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis*) را تحت تاثیر فلزهای سرب، کادمیوم و روی بررسی کردند. با افزایش غلظت این فلزها، ویژگی‌های رشدی (ارتفاع، قطر و توان رشد گیاه) رزماری کاهش پیدا کرد. همچنین Zheljazkov *et al.* (2008) مشاهده کردند که عملکرد پنج گیاه دارویی مریم‌گلی (*Salvia officinalis*)، شوید (*Anethum graveolens*)، ریحان (*Ocimum basilicum*)، بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) و زوفا (*Hyssopus officinalis*) رشد یافته در خاک‌های آلوده به سرب، کادمیوم، مس و روی کاهش پیدا کرد. به عنوان مثال عملکرد اندام‌هوایی بادرنجبویه رشد یافته در این خاک ۳۸ ٪ کاهش یافت. Benavides *et al.* (2005) اظهار داشتند که کاهش رشد گیاهان در معرض سرب و کادمیوم احتمالاً به دلیل مهار فعالیت‌های متابولیکی مهم مانند تنش اکسایشی (اکسیداتیو)، فتوسنتز و تنفس می‌باشد.

در این آزمایش، تلقیح همیشه بهار با قارچ میکوریزا آربوسکولار در شرایط تنش فلزهای سنگین سرب و کادمیوم، منجر به افزایش این ویژگی‌های در مقایسه با شاهد بدون تلقیح قارچ شد. بنظر می‌رسد افزایش وزن خشک اندام‌هوایی و دیگر ویژگی‌های رشدی، در ارتباط با جذب بالای فسفر در گیاه و پتانسل استقرار (کلونیزاسیون) بهینه ریشه و به تبع آن رشد میسیلیوم‌های خارجی و گسترش سیستم ریشه ای گیاه باشد. ثابت شده است که کلونیزه شدن ریشه توسط قارچ میکوریزا بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیکی ریشه و اندام‌هوایی گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد که تولید ریشه‌های بیشتر، عمومی‌ترین اثری است که معمولا بیان می‌شود. همچنین قارچ میکوریزا با ایجاد تغییرات هورمونی و فعال سازی مریستم ریشه باعث تحریک ریشه زایی می‌گردد.

بیشترین سطح برگ در هر گیاه، در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا دیده شد و با افزایش سطح فلزهای سرب و کادمیوم، سطح برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. برخی محققان استدلال کردند که حفاظت گیاهان میکوریزی در برابر تجمع فلزهای سنگین می‌تواند به‌طور غیر مستقیم، با

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش تغذیه فسفری گیاه و افزایش رشد گیاه در نتیجه اثر رقت فلزهای سنگین باشد (Chen *et al.*, 2003). Arriagada *et al.* (2007) نشان دادند که تلقیح گیاهان با میکروارگانیسم‌های خاک مانند قارچ میکوریزا می‌تواند استقرار گیاه را بهبود بخشد. میزان بالای فلزهای 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 فلزهای سنگین حفاظت می‌کند (Andrade *et al.*, 2010; Prasad *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2011; Orłowska *et al.*, 2011).

نتیجه گیری

همان‌گونه که قابل انتظار بود، افزایش غلظت فلزهای سنگین سرب و کادمیوم در خاک، سبب کاهش میزان رشد و عملکرد همیشه‌بهار شد. تاثیر منفی فلز کادمیوم روی رشد و عملکرد همیشه بهار بسیار بیشتر از فلز سرب دیده شد و با این که غلظت کادمیوم در خاک کمتر از سرب بود اما تاثیر شدیدتری در کاهش رشد همیشه بهار نشان داد به طوری که گیاهان بدون میکوریزی در کادمیوم ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک، وارد مرحله زایشی نشدند. تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا توانست تا حدی تحمل این گیاه را در رویارویی با تنش فلزهای سنگین بالا ببرد. به‌طوری‌که گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا رشد و عملکرد بالاتری نسبت به گیاهان بدون میکوریزی در تمام سطوح فلزها داشتند. حتی گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در کادمیوم۸۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک وارد مرحله زایشی شدند. بر اساس یافته‌های این تحقیق، در شرایط تنش های محیطی از جمله تنش فلزهای سنگین استفاده از میکروارگانیسم‌های سودمند خاک مانند قارچ میکوریزا می‌تواند نقش بسیار مهمی در تحریک رشد گیاه در این شرایط داشته باشد و استفاده از این عامل‌ها زیستی می‌تواند به عنوان راهکاری مدیریتی، در مناطق آلوده به فلزهای سنگین در نظر گرفته شود.

منابع

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

Arriagada, C.A., Herrera, M.A.F. and Borie, J.A., 2007. Contribution of arbuscular mycorrhizal and saprobe fungi to the aluminum resistance of *Eucalyptus globulus*. Water, Air and Soil Pollution. 182, 383-394.

Benavides, M.P., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L., 2005. Cadmium toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology. 17, 21-34.

Chen, B.D., Li, X.L., Tao, H.Q., Christie, P. and Wang, M.H., 2003. The role of arbuscular mycorrhiza in zinc uptake by red clover growing in a calcareous soil spiked with various quantities of zinc. Chemosphere. 50, 839-846.

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

Gonzalez-Chavez, M.C., Carrillo-Gonzalez, R., Wright, S.F. and Nichols, K.A., 2004. The role of glomalin, protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. Environmental Pollution. 130, 317–323.

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

Kamalpoor, S., 2013. Study of the effect of biological factors on eucalyptus phytoremediation efficiency in a lead and cadmium polluted soil. MS.c. Thesis. University of Tehran, Karaj, Iran.

Khan, G., Kuek, C., Chaudhry, T.M., Khoo, C.S. and Hayes, W.J., 2000. Role of plants, mycorrhiza and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. Chemosphere Journal. 41, 197–207.

Li, X.L., Marschner, H. and George, E., 1991. Acquisition of phosphorus and copper by mycorrhizal hyphae and root to shoot transport in white clover. Plant and Soil. 136, 49–57.

Liu, L.Z., Gong, Z.Q., Zhang, Y.L. and Li, P.J., 2011. Growth, cadmium accumulation and

Archive of SID

www.SID.ir

physiology of marigold (*Tagetes erecta* L.) as affected by arbuscular mycorrhizal fungi. Pedosphere. 21, 319-327.

Nikitas, K., Thomas, T. and Eleni, P., 2012. Effects of *Glomus lamellosumon*on growth, essential oil production and nutrients uptake in selected medicinal plants. Journal of Agricultural Science. 3, 137-146.

Omidbaigi, R., 2007. Production and Processing of Medicinal Plants, Vol. 2. Astane Ghodse Razavi Publication, Mashhad, Iran.

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

Prasad, A., Kumar, S., Khaliq, A. and Pandey, A., 2011. 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. 47, 853-861.

Sanchesblan, M., Ferrandez, T., Morales, M., Morte, A. and Alarcon, J., 2004. Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plant infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. Journal of Plant Physiology. 161, 675-682.

Sharma, A.K., 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agro-bios, India.

Sylvia, D.M. and Williams, R.G., 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and environmental stress. In: Bethlenfalvay, S.E., and Linderman, G.J. (Eds), Mycorrhiza in Sustainable Agriculture. ASA Special Publication, Madison, USA. pp.101-124.

Theunissen, J., Ndakidemi, P.A. and Laubscher, C.P., 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. International Journal of the Physical Sciences. 5, 1964-1973.

Tonin, C., Vandenkoornhuyse, P., Joner, E.J., Straczek, J. and Leyval, C., 2001. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi diversity in the rhizosphere of *Viola calaminaria* and effect of these fungi on heavy metal uptake by clover. Journal of Mycorrhiza. 10, 161–168.

YarkehSalkhori, N., Ghaemi, N. and Nouhi, A., 2010. Removing heavy metals by microorganisms. The Quarterly Journal of Biological Sciences. 4, 51-60.

Zheljazkov, V.D., Jeliazkova, E.A., Kovacheva, N. and Dzhurmanski, A., 2008. Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter. Environmental and Experimental Botany. 64, 207-216.

Zhu, Y.G., Christie, P. and Laidlaw, A.S., 2001. Uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal white clover from Zn-contaminated soil. Journal of Chemosphere.42, 193-199.

Zolfagari, M., 2013. The effect of bio-fertilizer and chemical fertilizer on the growth, yield and phytochemical content of *Ocimum basilicum*. Ph.D. Thesis. University of Tehran, Karaj, Iran.

Archive of SID

www.SID.ir

Investigation of growth and yield of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis and heavy metal stress conditions

Siavash Mohammadi,[1] Leila Tabrizi,[1,*] Mojtaba Delshad[1] and Babak Moteshare Zadeh[2]
[1]Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
[2]Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

[*]Corresponding author: L.tabrizi@ut.ac.ir

Abstract

In order to study the effects of heavy metals stress and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) symbiosis on the growth and yield of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) as a medicinal plant, a factorial experiment based on randomized complete block design with four replications was conducted at Research Greenhouse of Horticultural Sciences, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, in year of 2012. Experimental factors were two levels of mycorrhizal application (inoculated and non-inoculated with AMF) and five levels of heavy metals [0 (control), 150 and 300 mg Pb, 40 and 80 mg Cd per kg of soil. Criteria such as time of early blooming and early flowering (days after transplanting), herbal fresh and dry weight, plant height, number of lateral branches and total leaves per plant, leaf area, crown diameter, flower number per plant, flower diameter and flower fresh and dry weight were evaluated. The results showed that all the measured parameters improved in mycorrhizal plants compared to non-inoculated plants. Increasing heavy metal concentration had an adverse effect on all the measured criteria and only the plant height increased with an increase in Pb concentration; but this was not statistically significant. Application of Cd (80 mg per kg soil) showed a significantly negative effect on vegetative and generative growth of pot marigold and caused the lowest values of all the parameters in non-mycorrhizal plants. Additionally, using 80 mg/kg Cd, completely inhibited the generative growth in the non-mycorrhizal plants In conclusion, mycorrhizal inoculation of plants with no heavy metal pollution caused an improvement in growth and yield of *C. officinalis*.

Keywords: Cadmium, Environmental stresses, Generative growth, Inoculation, Lead.

Archive of SID

www.SID.ir