Archive of SID

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هشتم، شماره دوم، ۱۴۰۰
۱۴۷-۱۶۵
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2021.18012.2674

پاسخ مورفوفیزیولوژیک گیاه *Aeluropus littoralis* به آلاینده بیسفنول ای در همزیستی با قارچ مایکوریزا

میثم نژادصاحبی[۱]، عزیزاله خندان میرکوهی*[۲] و محسن کافی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،
[۲]استادیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،
[۳]استاد گروه علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۰

چکیده

سابقه و هدف: آلوروپوس یکی از هالوفیت‌های بومی ایران است که قابلیت جذب، انتقال و دفع نمک از طریق غدد نمکی را دارد. بیسفنول ای در پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و صنعتی، آب سطحی و زیرزمینی یافت می‌شود و به سبب فعالیت استروژنی موجب افزایش سرطان بیضه و سینه می‌گردد. گونه‌های چمنی به‌دلیل سیستم ریشه‌ای افشان برای انجام عمل گیاه پالایی خاک‌های آلوده مناسب هستند. این آزمایش با هدف بررسی پاسخ مورفوفیزیولوژیک گیاه علفی آلوروپوس بومی ایران به آلاینده بیسفنول ای در همزیستی با قارچ مایکوریزا انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی (۴۸ واحد آزمایشی) انجام شد. تیمارها شامل چهار غلظت آلاینده بیسفنول ای (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر)، دو سطح تلقیح مایکوریزا (گیاهان بدون مایکوریزا و گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا گلوموس موسه) و ۳ تکرار (در هر تکرار ۲ گیاه) بود. بذور در سینی‌های کشت با مخلوطی از ماسه، ورمی‌کولایت و خاک (۱:۱:۱) کشت شدند. در مرحله بعدی گیاهچه‌ها برای انجام تیمارهای قارچ مایکوریزا به گلدان جدید (سطل ٤) انتقال داده شدند و هم‌زمان ۵۰ گرم زادمایه مایکوریزا آربوسکولار به خاک هر گلدان اضافه شد. تیمارهای آلاینده بیسفنول ای به‌مدت دوماه توسط آب آبیاری انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تأثیر بیسفنول ای با توجه به غلظت متفاوت بود. سطح برگ، تعداد ساقه، تعداد برگ و ارتفاع در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت و با افزایش غلظت به ۱۵ میلی‌گرم در لیتر اثر کاهشی بر این صفات مشاهده شد. وزن خشک ریشه، سطح و حجم ریشه تا غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. طول ریشه، غلظت کلروفیل، نشت یونی تا غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌دار نداشت و در غلظت‌های بالاتر طول ریشه و غلظت کلروفیل کاهش و نشت یونی افزایش یافت. وزن تر ریشه و محتوای نسبی آب با افزایش غلظت آلاینده تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش و در غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت. با افزایش غلظت بیسفنول ای درصد جذب بیسفنول ای از خاک توسط گیاه کاهش و میزان بیسفنول ای تجمعی در برگ و ریشه افزایش نشان داد. با افزایش غلظت آلاینده تا سه برابر، بیسفنول ای برگی به میزان دو برابر

* مسئول مکاتبه: khandan.mirkohi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش یافت. تأثیر مایکوریزا بر همه صفات، به غیر از ارتفاع ساقه معنی‌دار شد به‌طوری‌که نشت یونی کاهش و بقیه صفات مورد ارزیابی در گیاهان تلقیح شده افزایش یافت.

نتیجه‌گیری کلی: در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا، بیسفنول ای موجود در برگ و جذب بیسفنول از خاک به‌ترتیب ۳۰ و ۴۰ درصد بیش‌تر از گیاهان بدون تلقیح بود که نشان می‌دهد قابلیت جذب بیسفنول ای در گیاهان تلقیح شده بالاتر است. گیاه آلوروپوس می‌تواند تا ۸۰ درصد بیسفنول ای خاک را توسط سیستم ریشه‌ای خود جذب کند و با انتقال آن‌ها به شاخساره، آلاینده را از طریق غدد نمکی خود دفع کند که نشان‌دهنده سازگاری و مقاومت بالای آلوروپوس نسبت به آلاینده بیسفنول ای است.

واژه‌های کلیدی: غدد نمکی، کلروفیل، گیاه پالایی، نشت یونی، هالوفیت

مقدمه

آلوروپوس (*Aeluropus littoralis*) گیاهی است علفی، وحشی با سیستم فتوسنتزی C4 از خانواده گرامینه، که قادر است در خاک‌های با هدایت الکتریکی ۱۷/۵ تا ۶۲ دسی‌زیمنس بر متر رشد کند. این گیاه یکی از هالوفیت‌های بومی ایران است که در اراضی شور نواحی خشک و نیمه خشک کشور رشد می‌کند (۵). آلوروپوس دارای خصوصیات زیستی و فیزیولوژیک بسیار ارزشمندی است که با توجه به ژنوم کوچک (n=2x=14) می‌تواند به‌عنوان یک منبع ژنتیکی متحمل به تنش‌های محیطی جهت رسیدن به امنیت غذایی به حساب آید (۵۳). با توجه به قابلیت جذب، انتقال و دفع نمک از طریق غدد نمکی، این هالوفیت قابلیت تحمل غلظت ۶۰۰ میلی‌مولار از کلرید سدیم با کم‌ترین آثار سمیت را دارد در حالی‌که قابلیت بقاء تا سطوح بالاتر از ۱۱۰۰ میلی‌مولار را نیز دارا است (۱۳). عباسی (۲۰۰۸) اعلام کرد در دو گونه آلوروپوس شوری در سطح ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی و تعداد پنجه شد (۲).

گیاهان در محیط طبیعی خود با ریزجانداران مختلفی همزیستی برقرار می‌کنند. رحیمی و همکاران (۲۰۲۰) بیان نمودند که قارچ‌های میکوریزا یکی از مهم‌ترین ریزجانداران خاک هستند که با ریشه‌های بیش از ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی خشکی‌زی همزیستی برقرار می‌کنند و با افزایش جذب عناصر غذایی، کاهش جذب سدیم و انتقال آن به اندام هوایی، انباشته شدن تنظیم‌کننده‌های اسمزی آلی، افزایش سرعت فتوسنتز و کارآیی مصرف آب در گیاهان آلوده به مایکورایزا موجب افزایش تحمل تنش‌ها می‌شوند (۳۲). عالی‌پور و همکاران (۲۰۱۹) اعلام کردند که در سرو نقره‌ای بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل، نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ متعلق به گیاهان تلقیح شده با مخلوط دو گونه قارچ و حضور باکتری و کم‌ترین مربوط به گیاهان تلقیح نشده و در شرایط عدم باکتری بود (۱). تولید هورمون‌های رشد گیاهی، اصلاح شرایط ریزوسفر و خاک و افزایش توان دفاع ریشه‌ها در برابر پاتوژن‌های خاک از دلایل دیگر تحمل تنش در گیاهان دارای میکوریزا است (۳۹). بیش‌ترین تعداد برگ و طول ریشه در تلقیح گیاه مرزه با قارچ مایکورایزا و کم‌ترین مقدار برای این صفات در شاهد (بدون قارچ میکوریزا) حاصل شد (۱۴ و ۱۵). همسو با نتایج بالا در گیاه گوجه‌فرنگی توسط وو و زیا (۲۰۰۷) و در نارنج سه برگ توسط سنسوی و همکاران (۲۰۰۶) افزایش صفات رشدی گیاهان تلقیح شده گزارش شده است (۳۷، ۵۰). بیسفنول ای[1] با نام ۲ و ۲- بیس (۴-هیدروکسی فنیل) پروپان، یک مونومر پلی‌کربنات پلاستیکی و اپوکسی رزین و یکی

1- Bisphenol A (BPA): 2, 2,-bis (4-hydroxyphenyl) propane

www.SID.ir

Archive of SID

از بیش‌ترین حجم ترکیبات شیمیایی و نفتی در جهان است (۱۶). بیسفنول ای به‌طور گسترده در تولید و بسته‌بندی مواد غذایی، بطری و لوله‌های آب، بطری‌های شیشه‌ای و پلاستیکی و تجهیزات پزشکی استفاده می‌شود. بیسفنول ای در فاضلاب کارخانه تولید خود، پساب‌های کارخانه کاغذسازی، پلاستیک‌سازی، پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری و صنعتی، آب سطحی و آب زیرزمینی یافت می‌شود (۲۴، ۲۶). بیسفنول ای یکی از مواد زنوژنی است که دارای فعالیت استروژنی ضعیف بوده و قابلیت دخالت در سیستم غدد درونریز انسان و حیات وحش را داشته و موجب افزایش سرطان بیضه و سینه می‌گردد (۴۴). مطالعات کمی در مورد سمیت بیسفنول ای در گیاهان در محیط‌های واقعی خاکی گزارش شده است. استاپلس و همکاران (۲۰۱۰) سمیت بیسفنول ای در گیاهان (*Zea mays*, *Avena sativa*, *Triticum estivum*, *Brassica oleracea* *Glycine max*, *Lycopersicon esculentum*) را در محیط‌های هیدروپونیک مورد بررسی قرار دادند و کاهش وزن اندام هوایی را در بین آن‌ها تأیید کردند (۴۲). جیائو و همکاران (۲۰۱۷) اعلام کردند اثرات مواد شیمیایی موجود در محلول و آن‌هایی که در خاک وجود دارند متفاوت است (۲۲). بنابراین، لازم است ارزیابی‌های سمیت به‌طور مستقیم در خاک و در شرایط واقعی انجام شود (۶، ۱۹، ۳۲، ۴۵، ۴۶، ۴۸). ژیانگ و همکاران (۲۰۱۳) اعلام کردند دانهال‌های سویا تیمار شده با غلظت پایین بیسفنول ای نسبت به گیاهان شاهد رشد بیش‌تری نشان دادند. ارتفاع، سطح برگ و وزن تر و خشک ریشه در این دانهال‌ها در غلظت ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر بیسفنول ای نسبت به شاهد افزایش یافت درحالی‌که در غلظت‌های (۱۲، ۱۷/۲ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) کاهش یافت (۵۲). مشابه همین نتایج در گوجه‌فرنگی و کدو توسط لوفردو و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شده است (۲۷). فرارا و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که تأثیر بیسفنول ای بر رشد اندام‌های هوایی دانهال‌ها بسته به غلظت آن متفاوت است (۱۵). در آزمایش فرارا و همکاران (۲۰۰۶) بیسفنول ای در غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اثرات سمی بر باقلا و کاهو نشان داد که علایم مسمومیت از جمله نکروز برگی و کاهش سایز و تعداد برگ مشهود بود (۱۵). در روز ۱۴ آزمایش در دانهال‌های سویا تیمار شده با دو غلظت ۱۷/۲ و ۵۰ بیسفنول ای سطح برگ به میزان ۲۸/۸۵درصد و ۳۳/۰۳درصد کاهش یافت (۵۲). برگ‌های ماش در معرض ۲۵۰ میلی‌گرم بیسفنول ای در کیلوگرم وزن خشک خاک، کاهش در سطح کلروفیل a نشان دادند درحالی‌که گیاهان تیمارشده با ۷۵۰ میلی‌گرم یا بیش‌تر کاهش در سطوح کلروفیل b نشان دادند (۱۴). ایمران و همکاران (۲۰۱۸) پس از قرار گرفتن آرابیدوپسیس در معرض ۴۰ میکرومولار بیسفنول ای یافتند که کلروفیل a و کلروفیل b به‌ترتیب ۳۳ و ۳۰ درصد کاهش نشان دادند (۲۰). ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) بیان نمودند که محتوای یون اکسیژن و نفوذپذیری غشاء در سه مرحله رشد گندم در غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بیسفنول ای تغییر نکرد اما در غلظت‌های بالاتر افزایش یافت (۵۱).

گیاه‌پالایی یک روش نویدبخش در حذف آلاینده‌ها از خاک است که به‌دلیل ارزانی و ایمنی بیش‌تر محیط، نسبت به سایر روش‌های متداول فیزیکوشیمیایی تصفیه خاک ارجحیت دارد (۷). گیاهان مختلفی وجود دارند که می‌توانند عمل گیاه‌پالایی را در خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی انجام دهند. سایودا و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که در ریشه و ساقه دراسنا میزان بیسفنول ای به‌ترتیب حدود ۵۱۹ و ۷۹۰ میکروگرم در گرم وزن خشک کل گیاه بود که نشان می‌دهد که گیاه دراسنا می‌تواند بیسفنول ای را جذب کند، انتقال دهد و حدود ۸۱ درصد آن را انباشته کند (۳۴). هیروشی و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که تمامی ۲۵ رقم مریم گلی توانایی از بین بردن بیسفنول ای (۵۰ میکرومولار) را از محیط آبی در طی ۳ روز داشتند که از ۷٤ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود اگرچه آن‌ها به سادگی بیسفنول ای را جذب نمی‌کنند، بلکه آن را متابولیزه و یا تخریب می‌کنند (۱۷). در آزمایشی گیاه خرفه در محیط کشت آبی با غلظت ۵۰ میکرومولار بیسفنول ای، به‌طور کامل حذف بیسفنول ای انجام شد (۱۹). کیم و همکاران (۲۰۱۸) اعلام کردند در ماش بعد از ۲۱ روز بیسفنول ای خاک بمیزان ۵۰ درصد تخریب شده است (۲٤). در انگور بعد از ۲۰ روز جذب خاکی بیسفنول ای به ۵۰ درصد و در همزیستی با ریزجانداران تا ۸۵ درصد رسید (۳۵). نتیجه بررسی‌های انجام شده در دنیا نشان می‌دهد که گونه‌های چمنی و لگومی به‌دلیل سیستم ریشه‌ای افشان برای انجام عمل گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی مناسب هستند. لوفردو و همکاران (۲۰۱۰) یافتند که در چاودار با افزایش غلظت بیسفنول ای، بیسفنول ای استخراج شده توسط گیاه سه برابر شد (۲۷) که این میزان بیش‌تر از مقدار بیسفنول ای در گوجه و باقلا بود (۱۵). در دانهال‌های چاودار در دو غلظت (٤/٦ و ٤٦ میلی‌گرم در لیتر) بعد از گذشت هشت روز بیسفنول ای باقی‌مانده ۹۲ درصد بود که در روز یازدهم کاهش چشمگیری از بیسفنول ای در هر دو غلظت ثبت شد (۲۷). داشتن شناخت کامل از گیاهان مقاوم لازمه مدیریت بوم‌سازگان‌های آلوده است و دانش ما در مورد امکان استفاده از گونه‌های علوفه‌ای مرتعی مناطق آلوده بسیار محدود است. به همین دلیل شناخت ویژگی‌های رشد گیاه آلوروپوس همزیست با مایکورایزا از جنبه‌های مختلف و به‌خصوص واکنش‌های فیزیولوژیکی در شرایط تنش آلاینده بیسفنول ای می‌تواند از اهمیت زیادی بر خوردار باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در گلخانه‌های تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی باغبانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج و گلخانه‌ها و آزمایشگاه‌های مرکز تحقیقات گل و گیاه شهرداری منطقه ۲۰ تهران انجام شد. تیمارها شامل چهار غلظت بیسفنول ای (صفر، ۵، ۱۰و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر)، دو سطح تلقیح مایکورایزا (شامل: مایکورایزا *Glomus mosseae*، بدون مایکورایزا) در سه تکرار و با دو گیاه در هر تکرار بود. بیسفنول ای با فرمول شیمیایی $(CH_3)_2C(C_6H_4OH)_2$ از شرکت مرک و مایکوریزا از شرکت زیست فناور توران[1] خریداری شد. بذور اکوتیپ بومی آلوروپوس (*Aeluropus littoralis*) از بانک ژن مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور واقع در پیکانشهر تهیه شد. پس از آزمون‌های اولیه جوانه‌زنی، بذور با هیپوکلریت سدیم برای ده دقیقه استریل سطحی شده و پنج بار با آب مقطر استریل شسته شدند. بذرها در سینی‌های کشت با مخلوطی از ماسه (ابعاد ذره ٤ میلی‌متر)، ورمی‌کولایت (ابعاد ذره کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر) و خاک (۱:۱:۱) قرار داده شدند و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۵۰ درصد و طول روز و شب ۸/۱٦ ساعت کشت و به مدت یک ماه به‌صورت یک روز در میان آبیاری شدند. در مرحله بعدی گیاهچه‌ها به گلدان‌های کوچک (برای یک ماه) و سپس برای انجام تیمارهای قارچ مایکوریزا گیاهان به گلدان جدید (سطل ٤) انتقال داده شدند. حدود ۷-۵ سانتی‌متر از قسمت بالایی خاک هر گلدان برداشته شد و مقدار ۵۰ گرم زادمایه میکوریزا آربوسکولار به‌صورت یک لایه نازک یکنواخت در سطح خاک پخش شد و مقدار خاک برداشت شده از هر گلدان روی زادمایه برگردانده شد.

1- http://turanbiotech.ir/

www.SID.ir

Archive of SID

تیمارهای آلاینده بیسفنول ای به مدت دو ماه توسط آب آبیاری انجام شد و گیاهان هر دو هفته یک مرتبه با کود کامل ۲۰:۲۰:۲۰ با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تغذیه شدند. پس از اعمال تیمارها صفات رویشی و فیزیولوژیک از جمله ارتفاع، تعداد ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک (ریشه و شاخساره)، طول، سطح و حجم ریشه، میزان بیسفنول ای موجود در برگ و ریشه، میزان بیسفنول ای جذب شده از خاک، نشت یونی، محتوای نسبی آب برگ، درصد کلونیزاسیون و میزان کلروفیل مورد ارزیابی قرار گرفت. ارتفاع، طول ریشه و تعداد برگ با استفاده از کولیس دیجیتال و وزن هر قسمت بر حسب گرم با استفاده از ترازوی دیجیتال (مدل GF-1000) اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین میزان کلونیزاسیون ریشه ها، از هر گلدان نمونه ۲ گرمی از ریشه گرفته شد و با استفاده از روش فیلیپس و هایمن (۱۹۷۰) ریشه‌ها رنگ‌آمیزی شدند. برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، از روش تلاقی خطوط مشبک استفاده شد. از تقسیم مجموع ریشه‌های آلوده به‌دست آمده از خطوط عمودی و افقی به مجموع ریشه‌های غیرآلوده به‌دست آمده از خطوط عمودی و افقی ریشه‌ها، ضربدر ۱۰۰، درصد کلونیزاسیون ریشه مشخص شد. سطح ریشه، سطح برگ با استفاده از دستگاه اسکنر اندازه‌گیری سطح (مدل Delta-T) انجام شد. حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج و طول ریشه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD-502) سنجیده شد. برای این پارامتر برگ‌ها ابتدا تمیز شده و سپس در سه نقطه هر برگ یادداشت‌برداری اندازه‌گیری انجام و میانگین‌گیری شد. بر اساس روابط ذیل به‌ترتیب محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی و درصد جذب بیسفنول ای از خاک محاسبه شدند (۴۷، ۳۶ و ۳۴):

(۱) محتوای نسبی آب برگ = [(وزن خشک – وزن تورژسانس) / (وزن خشک– وزن تر)] × ۱۰۰

(۲) درصد نشت یونی = (EC1/EC2) × ۱۰۰

(۳) درصد جذب بیسفنول ای از خاک = (غلظت اولیه /غلظت ثانویه در خاک– غلظت اولیه در خاک)×۱۰۰

برای تعیین کمی بیسفنول ای برگ و ریشه نمونه‌ها از دستگاه کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC) مجهز به ستون تجزیه‌ای C18 و آشکارساز فلورسانس (مدل 1200) استفاده شد. جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه آماری طرح شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با استفاده از نرم‌افزار MINTAB و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

مطابق جدول تجزیه واریانس ۱ تأثیر آلاینده بیسفنول ای بر ارتفاع گیاه معنی‌دار است. با افزایش غلظت آلاینده تا ۵ میلی‌گرم در لیتر ارتفاع به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت و در غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر ارتفاع به نحو معنی‌داری (۱۲ درصد) کاهش یافت (جدول ۲). به احتمال زیاد تعامل بیسفنول ای با سیگنالینگ اکسین و تأثیرش در توسعه دیواره سلولی و سیستم ریشه‌ای، منجر به تأثیر بر ارتفاع گیاه شده است که باید در آینده آزمایش شود (۴۸).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاه آلوروپوس لیتورالیس.

Table 1. Analysis of variance of traits in *Aeluropus littoralis.*

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean of squares					
		ارتفاع Height	تعداد ساقه Stem number	تعداد برگ Leaf number	وزن تر ساقه Stem fresh wight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	سطح برگ Leaf area
مایکوریز Mycorrhiza	1	57.3^{ns}	147.51*	2893.01**	421593**	35256.1**	2475645262**
بیسفنول ای BPA	3	557.03**	225.84**	2038.09**	64613 ^{ns}	687.5**	694692159**
مایکوریز×بیسفنول ای Mycorrhiza×BPA	3	30 ^{ns}	3.93 ^{ns}	43.20 ^{ns}	54813 ^{ns}	144.1 ^{ns}	80035852*
خطای آزمایش Error	40	34.83	32.16	32.32	1020	108.2	17488204
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	–	7.12	9.73	12.72	17.94	18.36	11.93

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and ** Significant at the P<0.05 and P<0.01 level, respectively.

دو تیمار مایکوریزا و غلظت آلاینده تأثیر معنی‌داری بر تعداد ساقه داشتند (جدول ۱). نتایج نشان داد که گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا به نحو معنی‌داری ساقه‌دهی بیش‌تری (۱۲ درصد) نسبت به شاهد داشتند (جدول ۳). هم‌چنین با افزایش غلظت آلاینده تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تعداد ساقه افزایش یافت اگرچه اختلاف در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر با شاهد معنی‌دار نشد و در غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر کاهش (۲۳ درصد) نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۲). می‌توان استنباط کرد که همزیستی مایکوریزایی از طریق تغذیه مناسب و افزایش بیوماس، موجب بهبود تعداد پنجه در بوته می‌شود (۲۳). طبق جدول تجزیه واریانس (۱) تیمار ساده مایکوریزا تأثیر معنی‌دار بر وزن تر ساقه داشت (جدول ۱). گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا وزن تر ساقه بیش‌تری (۵۸ درصد) نسبت به گیاهان شاهد نشان دادند (جدول ۳).

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر بیسفنول ای بر صفات مورد مطالعه در گیاه آلوروپوس.

Table 2. Mean comparisons of effects of Bisphenol A on studied traits in *Aeluropus littoralis.*

بیسفنول ای (ppm) BPA	ارتفاع (cm) Height	تعداد ساقه Stem number	وزن خشک ساقه (gr) Stem dry weight	تعداد برگ Leaf number
0	43.9^{b}	20.9^{ab}	35.7^{b}	74.8^{b}
5	50.1^{a}	23.6^{a}	44.4^{a}	80.8^{a}
10	41.6^{bc}	19.3^{bc}	37^{b}	71.7^{b}
15	38.8^{c}	16.3^{c}	31.5^{b}	59^{c}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatmens by Duncan test in 0.05 level.

www.SID.ir

Archive of SID

طبق جدول تجزیه واریانس (۱) اثر ساده مایکوریزا و آلاینده بر وزن خشک ساقه و تعداد برگ معنی‌دار شد (جدول ۱). گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا دارای وزن خشک ساقه بیش‌تری (۷۰ درصد) بودند (جدول ۳). با افزایش غلظت آلاینده بیسفنول ای وزن خشک افزایش یافت (جدول ۲). میزان تولید توده گیاهی مرتبط با سطح برگ و درصد نور جذب شده است، به‌طوری‌که کاهش سطح برگ بر اثر تنش می‌تواند عمده‌ترین دلایل کاهش میزان بافت خشک باشد (۲). به‌نظر می‌رسد که تلقیح با قارچ مایکورایزا می‌تواند موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی این گیاهان تحت شرایط تنش گردد (۱).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر مایکوریزا بر صفات مورد مطالعه در گیاه آلوروپوس.

Table 3. Mean comparisons of effects of mycorrhiza on studied traits in *Aeluropus littoralis*.

وزن خشک ساقه (gr) Stem dry weight	تعداد برگ Leaf number	وزن تر ساقه (gr) Stem fresh weight	تعداد ساقه Stem number	
18[b]	66.1[b]	94.4[b]	18.8[b]	بدون مایکوریزا Without Mycorrhiza
56.3[a]	77.1[a]	232[a]	21.3[a]	با مایکوریزا Mycorrhiza

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

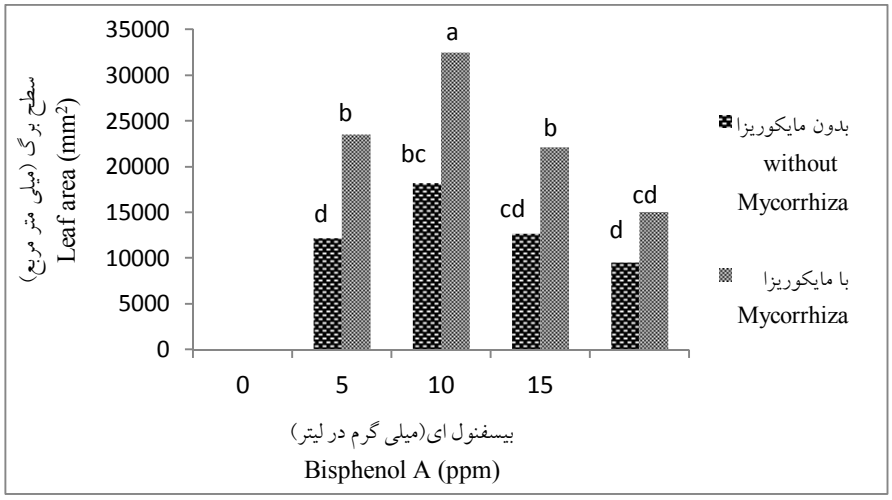
The same letters in each column represent no significant differences between treatmens by Duncan test in 0.05 level.

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، گیاهان با مایکوریزا تعداد برگ بیش‌تری (۱۵درصد) نسبت به گیاهان بدون مایکوریزا داشتند. با افزایش غلظت آلاینده بیسفنول ای تا ۵ میلی‌گرم در لیتر تعداد برگ افزایش و در غلظت ۱۵ کاهش یافت (جدول۲). به‌نظر می‌رسد بیسفنول ای در غلظت‌های پایین به‌طور مثبت در تمایز برگچه‌ها به تعداد بیش‌تر مؤثر است اگرچه تأثیر در غلظت‌های بالا محدودکننده است (٤٨). تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های میکوریزا باعث می‌شود که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول در آید و برای ریشه قابل‌جذب گردد (٤٠). با توجه به این‌که بخشی از کربن تثبیت شده توسط فتوسنتز به ریشه و اندام‌های قارچی منتقل می‌شود، حضور این قارچ‌ها به عنوان مسیری برای جریان کربن از جوّ به بوم‌سازگان خاک محسوب شده و نقش مؤثری در تامین کربن آلی خاک‌های شورخواهد داشت (۱۲).

مطابق با جدول تجزیه واریانس (۱) تأثیر ساده مایکوریزا، آلاینده و اثر متقابل آن‌ها بر سطح برگ معنی‌دار است. گیاهان دارای مایکوریزا سطح برگ بیش‌تری (٤٤ درصد) از گیاهان بدون مایکوریزا داشتند. با افزایش غلظت آلاینده بیسفنول ای تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سطح برگ افزایش یافت (شکل ۱).

www.SID.ir

Archive of SID



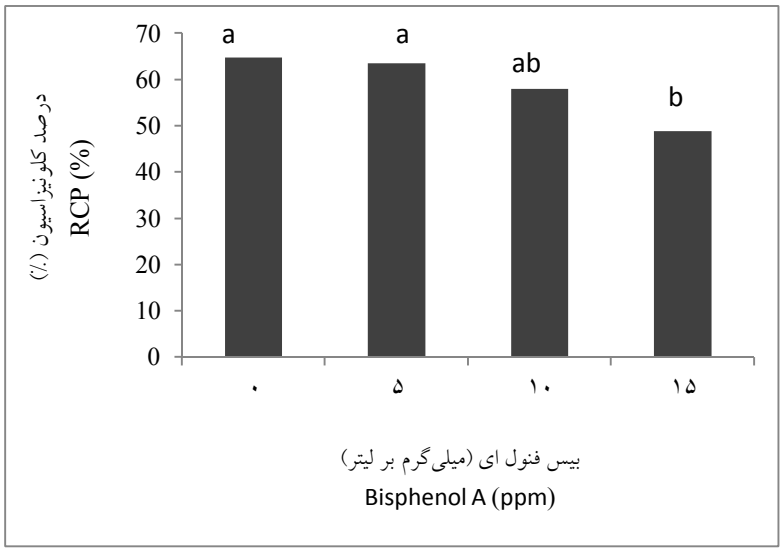
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل مایکوریزا و آلاینده بیسفنول ای بر سطح برگ گیاه آلوروپوس.

Fig. 1. Mean of comparisons the interaction effect Bisphenol A in mycorrhiza for leaf area.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatments by Duncan test in 0.05 level.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان کلونیزاسیون ریشه (٦٤/٨٦ درصد) مربوط به گیاهان شاهد (صفر میلی‌گرم در لیتر بیسفنول ای) بود. کم‌ترین درصد کلونیزاسیون ریشه نیز که معادل ٤٨/٨٩ درصد بود به تیمار ۱۵ میلی‌گرم در لیتر بیسفنول ای اختصاص یافت. شایان ذکر است با افزایش غلظت بیسفنول ای درصد کلونیزاسیون کاهش یافت اگرچه تنها در غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌دار گردید (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر آلاینده بیسفنول ای بر درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه آلوروپوس.

Fig. 2. Mean of comparisons the effect Bisphenol A in root colonization percent.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatment by Duncan test in 0.05 level.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاه آلوروپوس لیتورالیس.

Table 4. Analysis of variance of traits in *Aeluropus littoralis*.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean of squares				
		طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	سطح ریشه Root area	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
مایکوریز Mycorrhiza	1	266.67**	51599.1**	1414965633**	157481**	3235.70**
بیسفنول ای BPA	3	256.56**	966.5**	34319503**	6149**	124.56**
مایکوریز× بیسفنول ای Mycorrhiza×BPA	3	17.82 ns	42.4 ns	41148115 ns	310 ns	37.19 *
خطای آزمایش Error	40	22.22	294.2	5868967	1753	25.57
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	–	8.63	13.41	17.30	14.33	16.31

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and ** Significant at the P<0.05 and P<0.01 level, respectively.

جدول ۵- تأثیر بیسفنول ای بر صفات مورد مطالعه در گیاه آلوروپوس لیتورالیس.

Table 5. Mean comparisons of effects of Bisphenol A on studied traits in *Aeluropus littoralis*.

بیسفنول ای (ppm) BPA	وزن تر ریشه (gr) Root fresh weight	حجم ریشه (cc) Root volume	سطح ریشه (mm^2) Root area	طول ریشه (cm) Root length
0	97.5^{b}	46^{b}	8435^{b}	35.35
5	107.7^{ab}	57^{a}	15008.6^{a}	35.21
10	116.3^{a}	56.3^{a}	13291.4^{a}	31.62
15	79.1^{c}	45.4^{b}	7126.4^{b}	28.51

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatments by Duncan test in 0.05 level.

طبق جدول تجزیه واریانس (٤) تأثیر مایکوریزا و آلاینده بر وزن تر ریشه معنی‌دار است. گیاهان دارای مایکوریزا دارای وزن تر ریشه بیش‌تری (۵۸ درصد) نسبت به گیاهان تلقیح نشده بودند (جدول ٦). با افزایش غلظت آلاینده تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر وزن تر ریشه افزایش یافت و در غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۱۹ درصد کاهش یافت (جدول ۵).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- مقایسه میانگین تأثیر مایکوریزا بر صفات مورد مطالعه در گیاه آلوروپوس لیتورالیس.

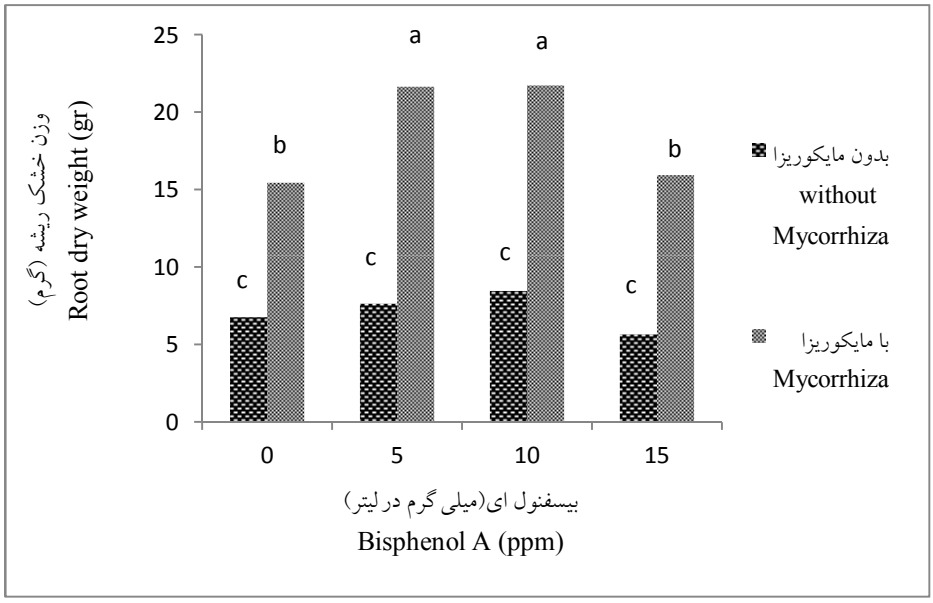
Table 6. Mean comparisons of effects of mycorrhiza on studied traits in *Aeluropus littoralis*.

حجم ریشه (cc) Root volume	وزن تر ریشه (gr) Root fresh weight	سطح ریشه (mm^2) Root area	طول ریشه (cm) Root length	
28^b	59.7^b	7126.2^b	31^b	بدون مایکوریزا Without Mycorrhiza
74.4^a	140.7^a	14804.5^a	34.34^a	با مایکوریزا Mycorrhiza

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatments by Duncan test is 0.05 level.

طبق جدول تجزیه واریانس (٤) تأثیر ساده مایکوریزا، آلاینده و اثر متقابل مایکوریزا و آلاینده بر وزن خشک ریشه معنی‌دار شد (جدول ٤). گیاهان همزیست با مایکوریزا دارای وزن خشک بیش‌تری (تا ٦٠ درصد) نسبت به گیاهان تلقیح نشده بودند (شکل ۳). در گیاهان تلقیح نشده غلظت آلاینده تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت ولی در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا با افزایش غلظت آلاینده تا ۱۵ میلی‌گرم در لیتر وزن خشک ریشه افزایش یافت (٢٦ درصد) (شکل ۳). گزارش شده است که همزیستی با مایکوریزا از طریق جذب آب و مواد غذایی بیش‌تر از خاک، انباشته شدن تنظیم‌کننده‌های اسمزی آلی و افزایش سرعت فتوسنتز موجب افزایش وزن خشک می‌شود (۲۸).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل مایکوریزا و آلاینده بیسفنول ای بر وزن خشک ریشه گیاه آلوروپوس.

Fig. 3. Mean of comparisons the interaction effect Bisphenol A in mycorrhiza for root dry weight.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatments by Duncan test in 0.05 level.

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ٤ اثر ساده مایکوریزا و غلظت آلاینده بر طول، سطح و حجم ریشه معنی‌دار است. گیاهان تلقیح شده دارای طول ریشه (طول بلندترین ریشه) بیش‌تری (١٠ درصد) نسبت به گیاهان تلقیح نشده بودند (جدول ٦). با افزایش غلظت آلاینده طول ریشه کاهش یافت اگرچه اختلاف تا غلظت ٥ میلی‌گرم در لیتر معنی‌دار نبود (جدول ٥). میکوریزا احتمال زیاد از طریق تغییر در ریخت‌شناسی ریشه و طویل کردن سیستم ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریسه‌های قارچ، میزان آب بیش‌تری جذب کرده و باعث بهبود روابط آبی گیاه میزبان می‌گردد (٩). مطالعات سان و همکاران (٢٠١٣) نشان داد که غلظت پایین بیسفنول ای می‌تواند چرخه گلوتامین سنتتاز/گلوتامات سنتتاز و مسیرهای گلوتامات دهیدروژناز در ریشه سویا را برای سنتز اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها ترغیب کند و از این طریق رشد ریشه را ارتقا دهد. با این‌حال غلظت‌های بالای بیسفنول ای، این چرخه‌ها را مهار کرده و رشد ریشه را متوقف می‌کند (٤٤). در آرابیدوپسیس غلظت‌های ٥ و ١٠ بیسفنول ای تشکیل ریشه‌های جانبی را افزایش داد درحالی‌که غلظت ٢٥ آن را مهار کرد. سطوح بالای اکسین آزاد رشد ریشه آرابیدوپسیس را مهار می‌کند و باعث تشکیل ریشه‌های جانبی می‌شود. آیا مسیر اکسین در سازوکار مولکولی تشکیل ریشه جانبی درگیر بیسفنول ای است؟ نهال‌های آرابیدوپسیس در مرحله آخر با افزایش سطح اکسین از طریق حمل و نقل مختصر اکسین، باعث کاهش رشد ریشه و افزایش تشکیل ریشه جانبی شدند (٤٩). بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (٦) گیاهان بدون مایکوریزا کاهش ٦٣ درصدی در حجم ریشه داشتند (جدول ٦). با افزایش غلظت آلاینده حجم ریشه افزایش یافت اگرچه در غلظت ٤ معنی‌دار نبود (جدول ٥). گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا به میزان دو برابر سطح ریشه بیش‌تری نسبت به گیاهان تلقیح نشده نشان دادند (جدول ٦). با افزایش غلظت آلاینده سطح ریشه افزایش یافت ولی در غلظت ٤ اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ٥). قارچ‌های میکوریزا، باعث افزایش سطح جذب ریشه می‌شوند که به گیاه میزبان کمک می‌کنند تا میزان آب بیش‌تری از خاک جذب نماید. قارچ‌های میکوریزا در گیاهانی که دارای ریشه‌های بدون انشعاب هستند، کارایی بیش‌تری دارند (٤٣). ریشه‌های مایکورایزایی تراکم بیش‌تری نسبت به ریشه گیاهان غیرمایکورایزایی دارند. هیف‌های خارج ریشه‌ای قارچ می‌توانند تا فاصله ١٢٠ سانتی‌متری از ریشه نفوذ نمایند و فاصله انتشار عناصر غذایی به ریشه گیاه را کاهش دهند. حضور شبکه میسلیوم‌های قارچی در اطراف ریشه باعث می‌شود که حجم بیش‌تری از خاک را کنکاش نموده و سبب افزایش سطح جذب ریشه به مقدار ٩٨/٣ درصد شود (٣٣).

طبق جدول تجزیه واریانس (٧) تیمارهای مایکوریزا، غلظت آلاینده، و اثر متقابل مایکوریزا و آلاینده بر میزان کلروفیل، نشت یونی و محتوای رطوبت نسبی تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ٧). گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا میزان کلروفیل بیش‌تری نشان دادند (١٦ درصد). میزان کلروفیل با افزایش غلظت آلاینده تا ٥ میلی‌گرم در لیتر تغییر نکرد و سپس کاهش یافت (٣٣ درصد) با این تفاوت که غلظت کلروفیل در گیاهان تلقیح شده بیش‌تر از گیاهان تلقیح نشده بود (شکل ٤). بیسفنول ای تا غلظت ١٠ میلی‌گرم در لیتر به‌طور مثبت تمایز پهنک‌ها به برگچه‌های بیش‌تر را ترغیب می‌کند درحالی‌که در

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر محدودکننده بود که این ممنوعیت ممکن است به سبب کاهش فتوسنتز منجر شده از کاهش کلروفیل باشد (۵۱). هو و همکاران (۲۰۱٤) دریافتند که دلیل کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش، کاهش تولید آن از طریق اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و در شرایط تنش شدید به واسطه افزایش فعالیت کلروفیلاز و درنتیجه تجزیه کلروفیل توسط گونه‌های فعال است (۱۸). قارچ‌های مایکوریزای آربوسکولار می‌توانند با افزایش جذب نیتروژن (از اجزای ضروری ساختار کلروفیل) باعث افزایش محتوای کلروفیل برگ شوند. بیسفنول ای در برگ ممکن است منجر به تجمع بیش از حد گونه‌های اکسیژن فعال در سلول‌ها شود که ممکن است به غشاهای تیلاکوئید آسیب برساند، ساختار کلروپلاست را از بین ببرد و سپس بر عملکرد فتوسنتز برگ‌ها تأثیر بگذارد (٤۱). علاوه بر این، بیسفنول ای که حاوی OH_ است، ممکن است در فرآیند متابولیسم بیسفنول ای الکترون به‌دست آورد، که می‌تواند به‌طور مستقیم فرآیند انتقال الکترون بین مرکز واکنش PSII و مرکز واکنش PSI را مختل کرده یا مسدود کند و بر شاخص فلورسانس کلروفیل تأثیر بگذارد (۵۲).

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در گیاه آلوروپوس لیتورالیس.

Table 7. Analysis of variance of traits in *Aeluropus littoralis.*

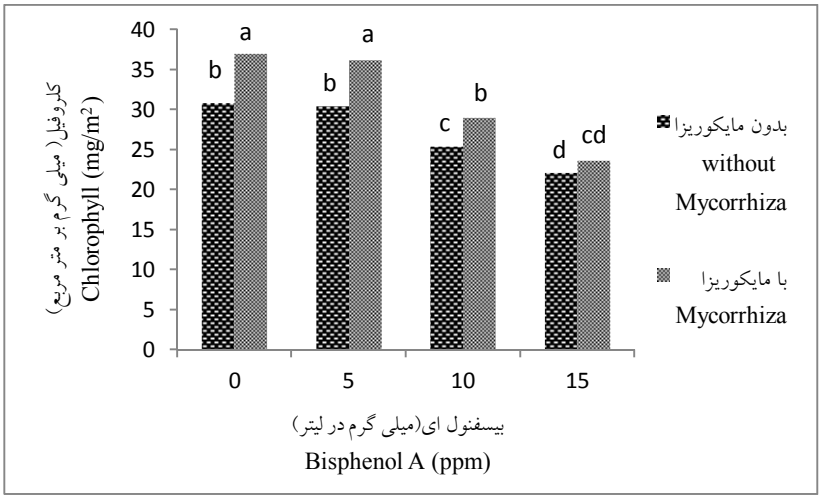
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی FD	میانگین مربعات Mean of squares					
		محتوای آب نسبی برگ RWC	نشت یونی Ion leakage	کلروفیل Chlorophyll	بیسفنول ای برگ Leaf BPA	بیسفنول ای ریشه Root BPA	بیسفنول ای خاک Soil BPA
مایکوریز Mycorrhiza	1	3336.74**	1327.02**	433.50**	468372**	138320**	6258.6**
بیسفنول ای Bishphenol A	3	709.19**	566.65**	667.51**	2259542**	947662**	25099**
مایکوریز× بیسفنول ای Mycorrhiza×BPA	3	45.45*	59.67**	27.86**	100205**	29507**	720.9**
خطای آزمایش Error c	40	17.45	11.25	7.03	578	270	332
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	–	5.04	12.79	7.70	6.70	8.10	9.97

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and ** Significant at the P<0.05 and P<0.01 level, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID



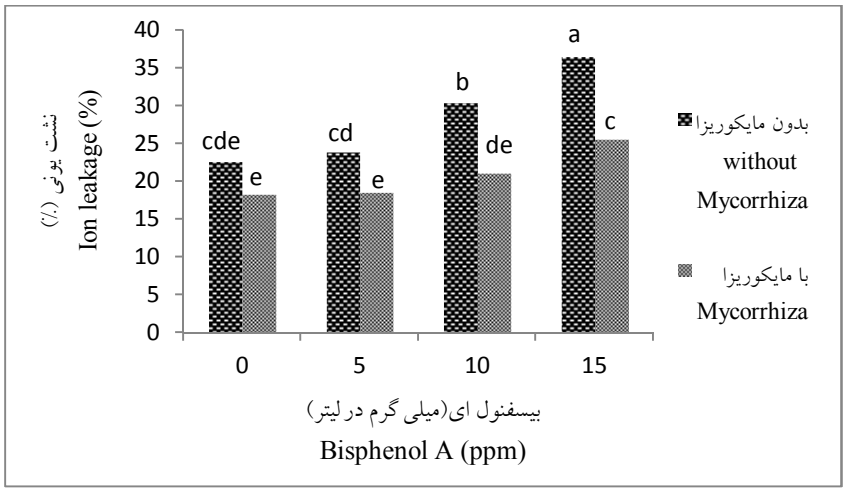
شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل مایکوریزا و آلاینده بیسفنول ای بر غلظت کلروفیل گیاه آلوروپوس.

Fig. 4. Mean of comparisons the interaction effect Bisphenol A in mycorrhiza for chlorophyll.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatments by Duncan test in 0.05 level.

طبق پژوهش حاضر گیاهان آلوروپوس همزیست با مایکوریزا ۲۷ درصد نشت یونی کم‌تری داشتند. با افزایش غلظت آلاینده تا ۵ میلی‌گرم در لیتر میزان نشت یونی تغییر نکرد ولی در ادامه نشت یونی افزایش یافت درحالی‌که این شیب افزایش در گیاهان با مایکوریزا کم‌تر بود (شکل ۵). قرار گرفتن در معرض بیسفنول ای با دوز کم باعث پراکسیداسیون لیپید غشای اندکی می‌شود و در مراحل رشد دیگر تأثیر نمی‌گذارد و از سوی دیگر بیسفنول ای با دوز بالا سطح اکسیژن واکنش‌پذیر را افزایش می‌دهد و باعث پراکسیداسیون لیپید غشایی می‌شود (۵۲). علت کاهش نشت یونی با مایکوریزا می‌تواند به‌خاطر بهبود جذب عناصر غذایی و تنظیم فشار اسمزی سلول باشد (۸).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل مایکوریزا و آلاینده بیسفنول ای بر نشت یونی گیاه آلوروپوس.

Fig. 5. Mean of comparisons the interaction effect Bisphenol A in mycorrhiza for ion leakage.

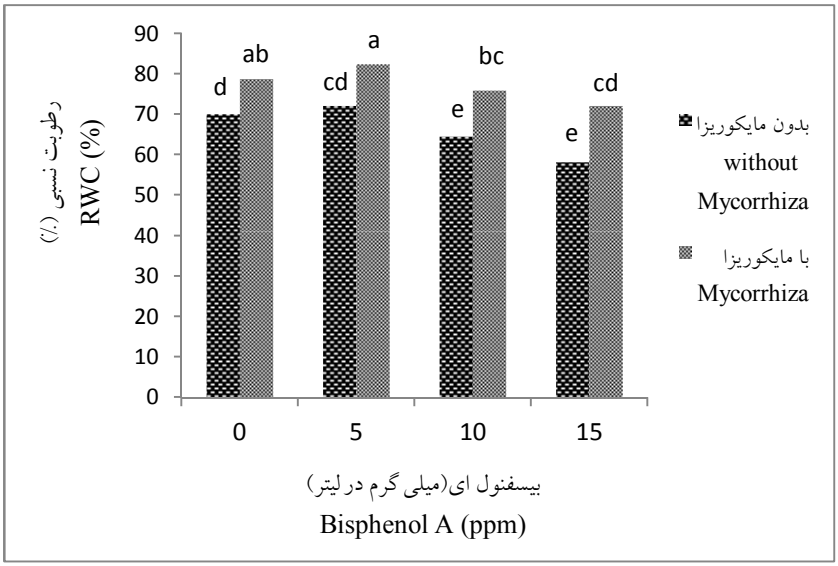
حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatments by Duncan test in 0.05 level.

www.SID.ir

Archive of SID

گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا ۱۶ درصد محتوای آب نسبی برگ بیش‌تر نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند. با افزایش غلظت آلاینده تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر محتوای آب نسبی برگ افزایش یافت ولی در غلظت‌های ۳ و ٤ کاهش نشان داد (۱۶ درصد) (شکل ٦). محتوای آب نسبی برگ بالاتر ممکن است از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و با توانایی ریشه در جذب آب حاصل شود (۱۱). همزیستی میکوریزا اغلب منجر به تغییر سرعت حرکت آب در خارج و داخل گیاهان میزبان شده و روی آبگیری بافت و فیزیولوژی برگ تأثیر می‌گذارد (۹) و این کار را با افزایش جذب عناصر انجام می‌دهد. پانوار (۱۹۹۳) و آیوگ (۲۰۰۱) دریافتند که همزیستی میکوریزا، کاهش در محتوای آب نسبی در طول تنش خشکی برگ گندم را به تاخیر می اندازد (۹، ۳۰).



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل مایکوریزا و آلاینده بیسفنول ای بر محتوای رطوبت نسبی گیاه آلوروپوس.

Fig. 6. Mean of comparisons the interaction effect Bisphenol A in mycorrhiza for RWC.

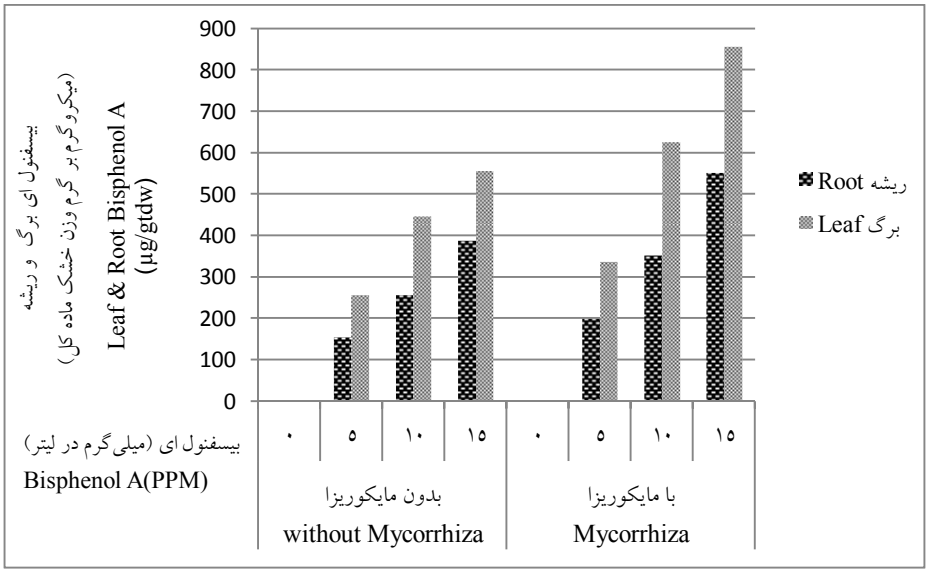
حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatments by Duncan test in 0.05 level.

طبق نتایج تجزیه واریانس (۷ جدول) تأثیر ساده مایکوریزا، آلاینده و اثر متقابل آن‌ها بر میزان بیسفنول ای برگ و ریشه و درصد جذب بیسفنول ای از خاک توسط گیاه معنی‌دار شد. بیسفنول ای موجود در برگ گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا ۳۰ درصد بیش‌تر از گیاهان بدون تلقیح بود که نشان می‌دهد گیاهان تلقیح شده قابلیت جذب بالاتری از بیسفنول ای دارند. با افزایش غلظت آلاینده میزان بیسفنول ای تجمعی در برگ و ریشه نیز افزایش یافت. با افزایش غلظت آلاینده تا ۳ برابر بیسفنول ای برگی به میزان ۲ برابر افزایش یافت (شکل ۷). گیاه آلوروپوس به‌دلیل سیستم ریشه‌ای و وجود غدد نمکی به‌نظر می‌رسد توانایی جذب بالای بیسفنول ای را از خاک دارد. جذب، انتقال و تجمع بیسفنول ای در ریشه و برگ و سپس دفع توسط غدد نمکی می‌تواند راهکاری برای آلورورپوس در محیط آلوده باشد. در سیستم‌های متابولیک گیاهی مانند محیط‌های سوپانسیون سلول از گونه‌های مختلف گیاهی، بیسفنول ای قابل ردیابی است که با دگرگونی‌های گلیکوزیله شده، ترکیبات بسیار قطبی یا غیرقابل تفکیک همراه است (۲۳).

www.SID.ir

Archive of SID



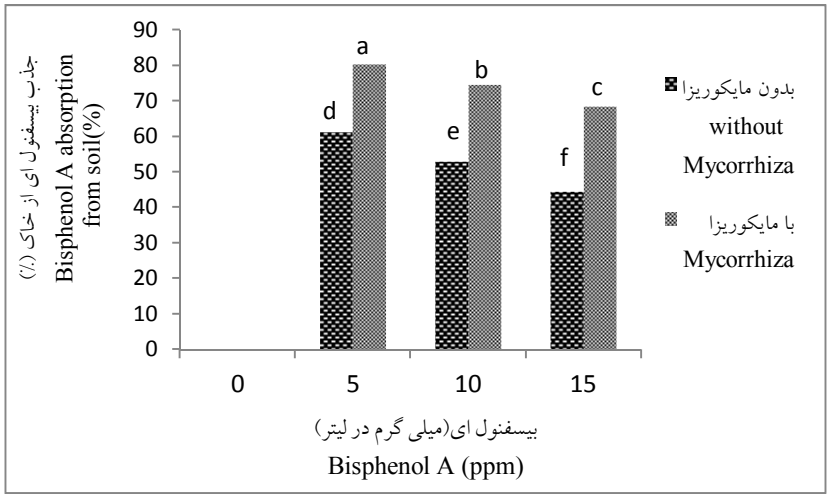
شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل مایکوریزا و آلاینده بیسفنول ای بر بیسفنول ای برگ و ریشه گیاه آلوروپوس.

Fig. 7. The interaction Effect Bisphenol A in mycorrhiza for leaf and root BPA.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatments by Duncan test in 0.05 level.

گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا ٤٠ درصد جذب بیسفنول ای بیش‌تری از خاک نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند. با افزایش غلظت آلاینده در خاک میزان و توانایی جذب بیسفنول ای توسط گیاه از خاک کاهش یافت به‌طوری‌که با سه برابر شدن غلظت بیسفنول ای در خاک درصد جذب آن (۲۱ درصد) کاهش یافت که به‌دلیل افزایش سمیت خاک و کاهش توانایی گیاه در جذب بیسفنول ای می‌باشد (شکل ۸). این ناپدید شدن بیسفنول ای می‌تواند با جذب بیسفنول ای توسط گیاه مرتبط باشد (۲۸).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل مایکوریزا و آلاینده بیسفنول ای بر درصد جذب بیسفنول گیاه از خاک گیاه آلوروپوس.

Fig. 8. Mean of comparisons the interaction effect BPA in mycorrhiza for BPA absorption from soil.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین سطوح عامل مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

The same letters in each column represent no significant differences between treatments by Duncan test in 0.05 level.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر صفات رشدی در آلوروپوس در غلظت‌های پایین بیسفنول ای افزایش و در غلظت‌های بالای بیسفنول ای کاهش یافت. تغییر در فتوسنتز گیاهان ممکن است یک دلیل اصلی و کلیدی باشد که آلودگی محیطی بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد (۲۵). غلظت کلروفیل و نشت یونی در غلظت پایین بیسفنول ای اختلاف معنی‌داری نداشت و در غلظت‌های بالاتر کاهش یافت. کمبود کلروفیل می‌تواند به‌دلیل افزایش نشت یونی و پراکسیداسیون غشای لیپیدی کلروپلاست باشد (۳۸). به‌نظر می‌رسد کاهش کلروفیل در غلظت بالای بیسفنول یکی از دلایل کاهش فتوسنتز می‌باشد.

با افزایش غلظت بیسفنول ای، میزان غلظت تجمعی بیسفنول ای در برگ و ریشه افزایش یافت اما این مقدار تجمع خیلی کم‌تر از مقدار بیسفنول ای جذب شده توسط گیاه از خاک است. به‌نظر می‌رسد گیاه آلوروپوس پس از جذب بیسفنول ای از خاک آن را به برگ‌ها انتقال می‌دهد و توسط غدد نمکی آنرا دفع می‌کند. طبق پژوهش حاضر سیستم ریشه آلوروپوس تا غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر توسعه یافت. با افزایش غلظت بیسفنول ای طول ریشه کاهش و سطح ریشه افزایش یافت. تمام شاخص‌های رشدی به غیر از ارتفاع در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا افزایش یافت. گیاه آلورورپوس یک هالوفیت اجباری است که به کمک سیستم ریشه‌افشان و وجود غدد نمکی می‌تواند به ریزوسفر آلوده به آلاینده بیسفنول ای سازگار شود. گیاه آلوروپوس در همزیستی با مایکوریزا می‌تواند تا غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آلاینده بیسفنول ای به‌خوبی رشد کند. آلورروپوس یک گیاه مقاوم به آلاینده است که می‌تواند تا ۸۰ درصد بیسفنول خاک را جذب کند، در ریشه و شاخساره خود انباشته نماید و از طریق غدد نمکی خود دفع گرداند.

منابع

1. Aalipour, H., Nikbakht, A., Etemadi, N., Rejali, F. and Soleimani, M. 2019. Application of *Pseudomonas flourescens* bacteria and two species of AM fungi on the deficit tolerance seedlings of Arizona cypress (*Cupressus arizonica* G). J. Plant Proc. Func. 8: 32. 391-406.
2. Abbasi, F. 2008. The effects of salinity and aridity on some of the growth properties of *Aeluropus logopoides* and *Aeluropus littoralis*. J. Sci. (Islamic Azad University). 17: 121-138. (In Persian)
3. Abdelhafez, A.A. and Abdel-Monsief, R.A. 2006. Effects of VA mycorrhizal inoculation on growth, yield and nutrient content of cantaloupe and cucumber under different water regimes. Res. J. Agric. Biol. Sci. 2: 6. 503-508.
4. Abdelmoneim, T.S., Moussa, T.A.A., Almaghrabi, O.A., Alzahrani, H.S. and Abdelbagi, I. 2014. Increasing plant tolerance to drought stress by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. Life Sci. 11: 6. 10-17.
5. Akhani, H. and Ghorbanli, M. 1999. A Contribution to the Halophytic Vegetation and Flora of Iran. P 35-44, In: H. Lieth and A. Al Masoom (eds), Towards the Rational Use of High Salinity Tolerant Plant. Springer, Dordrecht.
6. Ali, I., Liu, B., Farooq, M.A., Islam, F., Azizullah, A., Yu, C., Su, W. and Gan, Y. 2016. Toxicological effects of bisphenol A on growth and antioxidant defense system in *Oryza sativa* as revealed by ultrastructure analysis. Ecotoxicol. Environ. Saf. 124: 277-284.
7. Ali, T., Mahmood, S., Khan, M.Y., Aslam, A., Hussain, M.B. and Asghar, H.N. 2013. Phytoremediation of cadmium contaminated soil by auxin assisted

www.SID.ir

Archive of SID

bacterial inoculation. Asian J. Agric. Biol. 1: 2. 79-84.

8. Asrar, A.A., Abdel-Fattah, G.M. and Elhindi, K.M. 2012. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirhinum majus* L.) plants grown under well-watered and water-stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. Photosynthetica J. 50: 305-316.
9. Auge, R.M. 2001. Water relation drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhizae J. 11: 3-42.
10. Beiranvand, M., Rezaei Nejad, A. and Hosseini, S.Z. 2017. Effects of two mycorrhiza species (*Glomus mosseae* and *G.interaradices*) on some morphological and physiological characteristics of *Pelargonium graveolens* L. under salinity stress. Ejgcst J. 8: 1. 107-121.
11. Blum, A., Gozlan, G. and Mayer, J. 1981. The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm. Crop Sci. J. 21: 495-499.
12. Dashtebani, F., Hajiboland, N. and Aliasgharzad, N. 2017. Germination, photosynthesis and growth of two halophytic grass *Puccinellia distans* and *Aeluropus littoralis* under salinity and their colonization with mycorrhizal species in their natural habitat in the Tabriz plain. J. Plant Res. 30: 4. 764-775.
13. Donson, J., Fang, Y., Espiritu-Santo, G., Xing, W., Salazar, A. and Miyamoto, S. 2002. Comprehensive gene expression analysis by transcript profiling. Plant Mol. Biol. 48: 75-97.
14. Esmaielpour, B., Jalilvand, P. and Hadian, J. 2013. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological trais and yield of savory (*Satureja Hortensis* L.). Agroecol. 5: 2. 169-177. (In Persian)
15. Ferrara, G., Loffredo, E. and Senesi, N. 2006. Phytotoxic, clastogenic and bioaccumulation effects of the environmental endocrine disruptor bisphenol A in various crops grown hydroponically. Planta. 223: 910-916.
16. González-Castro, M., Olea-Serrano, M., Rivas-Velasco, A., Medina-Rivero, E., Ordoñez-Acevedo, L.G. and Dek León-Rodríguez, A. 2011. Phthalates and bisphenols migration in Mexican food cans and plastic food containers. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 86: 6. 27-31.
17. Hiroshi, O., Kazunori, I., Hitoshi, M., Satoru, T., Takeshi, M., Hideki, N., Ko, K. and Kazumasa, H. 2010. Floricultural Salvia plants have a high ability to eliminate bisphenol A. J. Biosci. Bioeng. 110: 1. 99-101.
18. Hu, H., Wang, L., Wang, Q., Jiao, L., Hua, W., Zhou, Q. and Huang, X. 2014. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence characteristics, and chlorophyll content of soybean seedlings under combined stress of bisphenol A and cadmium. Environ. Toxicol. Chem. 33: 2455-2462.
19. Imai, S., Shiraishi, A., Gamo, K., Watanabe, I., Okuhata, H., Miyasaka, H., Ikeda, K., Bamba, T. and Hirata, K. 2007. Removal of phenolic endocrine disruptors by *Portulaca oleracea*. J. Biosci. Bioeng. 103: 420-426.
20. Imran, A., Abdul, W., Sakila, U., Dongdong, L., Azizullah, A., Mehmood, J., Waheed, U., Bohan, L., Abid, A. and Yinbo, G. 2018. Effect of bisphenol A-induced oxidative Stress on the Ultra Structure and antioxidant defence system of *Arabidopsis thialiana* Leaves. J. Environ. Stud. 27: 3. 102-109.
21. James, B., Rodel, D., Lorettu, U., Reynaldo, E. and Tariq, H. 2008. Effect of vesicular arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of Senna Spectabilis. Pak. J. Bot. 40: 5. 2217-2224.
22. Jiao, L., Ding, H., Wang, L., Zhou, Q. and Huang, X. 2017. Bisphenol A effects on the chlorophyll contents in soybean at different growth stages. Environ. Pollut. 223. 426-434.
23. Kapoor, R. 2008. Induced resistance in mycorrhizal tomato is correlated to concentration of jasmonic acid. Online J. Biol. Sci. 8: 3. 49-56.

www.SID.ir

Archive of SID

24. Kim, D., Kwak, J. and An, I. 2018. Effects of bisphenol A in soil on growth, photosynthesis activity, and genistein levels in crop plants (*Vigna radiata*). Chemosphere. 209: 875-882.
25. Kummerova, M., Krulova, J., Zezulka, S. and Triska, J. 2006. Evaluation of fluoranthene phytotoxicity in pea plants by Hill reaction and chlorophyll fluorescence. Chemosphere. 65: 489-496.
26. Li, X, Ying, G.G., Su, H.C., Yang, X.B. and Wang, L. 2010. Simultaneous determination and assessment of 4-nonylphenol, bisphenol A and triclosan in tap water, bottled water and baby bottles. Environ. Int. 36: 5. 57-62.
27. Loffredo, E., Gattullo, C.E., Traversa, A. and Senesi, N. 2010. Potential of various herbaceous species to remove the endocrine disruptor bisphenol A from aqueous media. Chemosphere. 80: 1274-1280.
28. Maleki, S., Aghayari, F., Ardakani, M. R. and Rejali, F. 2015. Evaluation of possibility improving growth and yield of lentil with use symbiosis mycorrhiza and azospirillum under rainfed condition. J. Agro. Plant Breed. 11: 3. 24-33.
29. Noureddin, I.M., Furumoto, T., Ishida, Y. and Fukui, H. 2004. Absorption and metabolism of bisphenol A, a possible endocrine disruptor, in the aquatic edible plant, water convolvulus (*Ipomoea aquatica*). Biosci. Biotechnol. Biochem. 68: 1398-1402.
30. Panwar, J.D.S. 1993. Response of VAM and Azospirillum inoculation to water status and grain yield in wheat under water stress conditions. Indian J. Plant Physiol. 36: 41-43.
31. Qiu, Z., Wang, L. and Zhou, Q. 2013. Effects of bisphenol A on growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence in above-ground organs of soybean seedlings. Chemosphere. 90: 1274-1280.
32. Rahimi, A., Dovlati, B., Amirnia, R. and Heydarzade, S. 2020. Effect of application of mycorrhizal fungus and Azotobacter on physiological characteristics of *Trigonella foenum-graecum* L. under water stress conditions. Iran. J. Plant Biol. 11: 4. 47-55. (In Persian)
33. Rousseau, J.D. and Reid, C.P. 1991. Effects of phosphorus fertilization and mycorrhizal development on phosphorus nutrition and carbon balance of loblolly pine. New Phytologist. 117: 319-326.
34. Saiyooda, S., Vangnaib, A.S., Thiravetyand, C.P. and Inthorna, D. 2010. Bisphenol A removal by the Dracaena plant and the role of plant-associating bacteria. J. Hazard. Mater. 178: 777-785.
35. Salazar-Parra, C., Aranjuelo, I., Pascual, I., Erice, G., Sanz-S_aez, A., Aguirreolea, J., Sanchez-Díaz, M., Irigoyen, J.J., Araus, J.L. and Morales, F. 2015. Carbon balance, partitioning and photosynthetic acclimation in fruit bearing grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo) grown under simulated climate change (elevated CO_2, elevated temperature and moderate drought) scenarios in temperature gradient gre. J. Plant Physiol. 174: 97-109.
36. Sekozawa, Y., Sugaya, S., Gemma, H. and Iwahori, S. 2003. Cold tolerance in 'Kousui' Japanese pear and possibility for avoiding frost injury by treatment whith n-propyl dihydrojasmonate. Hort. Sci. 38: 288-292.
37. Sensoy, S., Demir, S., Turkmen, O., Erdinc, C., Burak and Savur, O. 2007. Responses of some different pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi. Scientia Horticulturae. 113: 92-95.
38. Sherwin, H.W. and Farrant, J.M. 1998. Protection mechanisms against excess light in the resurrection plants *Craterostigma wilmsii* and *Xerophyta viscosa*. Plant Growth. Regul. 24: 203-210.
39. Smith, S.E. and Read, D. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd edition, Acedemic Press, London, 800p.
40. Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. Elec. J. Biol. 1: 3. 44-48.

www.SID.ir

Archive of SID

41. Speranza, A., Crosti, P., Malerba, M., Stocchi, O. and Scoccianti, V. 2011. The environmental endocrine disruptor, bisphenol A, affects germination, elicits stress response and alters steroid hormone production in kiwifruit pollen. Plant Biol. 13: 209-217.
42. Staples, C., Friederich, U., Hall, T., Kleka, G., Mihaich, E., Ortego, L., Caspers, N. and Hentges, S. 2010. Estimating potential risks to terrestrial invertebrates and plants exposed to bisphenol A in soil amended with activated sludge biosolids. Environ. Toxicol. Chem. 29: 467-475.
43. Sun, W., Ni, J., O'Brien, K., Hao, P. and Sun, L. 2005. Adsorption of bisphenol A on sediments in the Yellow River. Water Air Soil Pollut. 167: 3. 53-64.
44. Sun, H., Wang, L.H., Zhou, Q. and Huang, X.H. 2013. Effects of bisphenol A on ammonium assimilation in soybean roots. Environ. Sci. Pollut. R. 20: 8484-8490.
45. Takahashi, M., Tsukamoto, S., Kawaguchi, A., Sakamoto, A. and Morikawa, H. 2005. Phytoremediators from abandoned rice field, Plant Biotechnol. 22: 167-170.
46. Terouchi, N., Takano, K., Nakamura, Y., Enomoto, K., Hosoya, N. and Nishinari, N. 2004. Bisphenol A stimulates growth and shoot differentiation in plants. Plant Biotechnol. 24: 2. 114-122.
47. Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and Soil. 58: 339-366.
48. Wang, S., Wang, L., Hua, W., Zhou, M., Wang, Q., Zhou, Q. and Huang, X. 2015. Effects of bisphenol A, an environmental endocrine disruptor, on the endogenous hormones of plants. Environ. Sci. Pollut. Res. 22: 17653-17662.
49. Wen-Juan, P.A., Can, X., Qiu-Ping, W., Jin-Xia, L., Hong-Mei, L., Wei Chen, A., Yong-Sheng, L. and Lei, Z. 2013. Effect of BPA on the germination, root development, seedling growth and leaf differentiation under different light conditions in *Arabidopsis thaliana*. Chemosphere. 93: 2585-2592.
50. Wu, Q.S., Xia, R.X., Zou, Y.N. and Wang, G.Y. 2007. Osmotic solute responses of mycorrhizal citrus (*Poncitrus trifoliate*) seedlings to drought stress. Acta physiologica Plantarum. 29: 543-549.
51. Zhang, Q., Wang, F., Xue, C., Wang, C., Chi, S. and Zhang, J. 2016. Comparative toxicity of nonylphenol, nonylphenol-4-ethoxylate and nonylphenol-10-ethoxylate to wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). Ecotoxicol. Environ. Saf. 131: 7-13.
52. Zhiyong, Q., Lihong, W. and Qing, Z. 2013. Effects of bisphenol A on growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence in above-ground organs of soybean seedlings. Chemosphere. 90: 3. 1274-1280.
53. Zouari, N., Ben Saad, R., Legavreb, T., Azazaa, J., Sabau, X., Jaouaa, M., Masmoudia, K. and Hassairia, A. 2007. Identification and sequencing of ESTs from the halophyte grass Aeluropus littoralis. Plant. Mol. Gen. 2: 103-106.

www.SID.ir

www.SID.ir