نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هشتم، شماره ۴(۳۲)، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۴۸۲-۴۶۵

تأثیر قارچ تریکودرما هارزیانوم (*Trichoderma harzianum*) و کادمیوم بر شاخص تحمل و عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.)

فاطمه تقوی قاسمخیلی[۱]، همت‌اله پیردشتی[۲*]، محمدعلی بهمنیار[۳] و محمدعلی تاجیک[۴]

چکیده

به‌منظور بررسی توانایی قارچ تریکودرما هارزیانوم در کاهش اثرات زیان‌بار کادمیوم (Cd) بر رشد و عملکرد جو رقم صحرا (*Hordeum vulgare* L. variety 'Sahra')، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به صورت گلدانی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل استفاده از قارچ تریکودرما هارزیانوم (حضور و عدم حضور قارچ) و نیترات کادمیوم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) بودند. نتایج نشان داد که برهمکنش تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر عملکردهای بیولوژیک و کاه، شاخص برداشت، تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بودند. تریکودرما در تمامی سطوح آلودگی به نیترات کادمیوم تأثیر کاملاً معنی‌داری بر بهبود عملکردهای بیولوژیک و کاه گیاه جو داشتند. تریکودرما در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم توانست به‌طور معنی‌داری تعداد سنبله در بوته را افزایش دهد. افـزایش سطح آلـودگی به کادمیوم باعث کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه (۱۹ درصد)، وزن هزار دانه (۱۸ درصد)، ضریب تسهیم (۵۷ درصد) و شاخص تحمل (۲۳ درصد) شد. همچنین، حضور تریکودرما در محیط رشد گیاه تأثیر معنی‌داری بر بهبود عملکرد دانه و شاخص تحمل گیاه داشت به‌طوری‌که این صفات در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۷ و ۲۲ درصد افزایش یافتند. در مجمـوع، به نظر می‌رسد در سطوح پایین و متوسط نیترات کادمیوم (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) مصرف تریکودرما می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه جو گردد.

واژگان کلیدی: تریکودرما هارزیانوم، جو، شاخص تحمل، عملکرد، کادمیوم.

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان،

۲- دانشیار گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فنآوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

(* نگارنده‌ی مسئول) h.pirdashti@sanru.ac.ir

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۳۰

۴- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۳۰

مقدمه

امروزه حضور فلزات سنگین در زیست‌بوم‌های کشاورزی علاوه بر اثرات زیان‌آور بر فون و فلور خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی بسیار حایز اهمیت بوده و منجر به کاهش رشد، عملکرد، کیفیت گیاهان و در نهایت به خطر افتادن سلامت افراد جامعه و دیگر موجودات زنده می‌شوند (Nikolic *et al*., 2008; Ghasemi and Shahabi, 2010; Saberi *et al*., 2010; Rehman *et al*., 2011). کادمیوم از طریق فرایندهای صنعتی و کودهای فسفاته وارد محیط زیست می‌شود و به‌دلیل تحرک و پویایی زیاد در خاک، نیمه عمر بیولوژیکی ۲۰ ساله، سمیت قابل توجه و همچنین سهولت جذب توسط گیاه از اهمیت خاصی برخوردار است (Khosravi *et al*., 2009; Kuklovat *et al*., 2010; Mojiri, 2011). سمیت این عنصر برای گیاه ۲۰-۲ برابر سایر فلزات سنگین گزارش شده (Saberi *et al*., 2010) و از علایم عمومی سمیت آن در گیاه کلروزه شدن برگ‌ها، اختلال در تنفس و متابولیسم نیتروژن، کاهش جذب آب و عناصر معدنی می‌باشد (Nikolic *et al*., 2008). غلظت بالای کادمیوم در خاک منجر به کاهش فرایند متابولیکی، فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Alipour Darvari *et al*., 2009; Wang *et al*., 2009; Khan *et al*., 2006). با این وجود، خاک به‌عنوان سریع‌ترین، مناسب‌ترین و مهم‌ترین جاذب عناصر سنگین در محیط زیست به شمار رفته و دارای ظرفیت زیادی برای دریافت، تصفیه و تجزیه مجدد آنها می‌باشد (Aghabarati *et al*., 2008). از سوی دیگر خاک به‌عنوان منبع اصلی تغذیه معدنی گیاهان بوده و گیاهان از اولین موجوداتی هستند که به تغییر شرایط خاک واکنش نشان می‌دهند و این امر آنها را به عنوان نشانگرهای زیستی عالی در مورد تغییرات نامطلوب خاک مانند انباشتگی فلزات سنگین در می‌آورد (Alipour Darvari *et al*., 2009).

خاک مانند هر اکوسیستم دیگر زیستگاهی مهم برای هزاران میکروارگانیسم است (Mukhtar, 2008). در سال‌های اخیر مطالعه بیولوژی ریزوسفر از جمله ریزموجودات مفید خاک‌زی به‌منظور بهبود رشد گیاهان زراعی (Avis *et al*., 2008; Bennett and Whipps, 2008) با هدف کاهش یا برداشت فلزات سنگین موجود در محیط آلوده، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Zafar *et al*., 2007; Sarkar *et al*., 2010). زیست‌پالایی از جمله روش‌هایی است که در آن از پتانسیل ریزموجوداتی همچون جلبک‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و باکتری‌ها به‌عنوان جاذب‌های زیستی استفاده می‌شود (Shams Khorramabadi *et al*., 2010; Sivasamy and Sandarabal, 2011 ;Sun *et al*., 2010 ;Sarkar *et al*., 2010). اهمیت جذب زیستی از اوایل دهه ۸۰ توسط میکروارگانیسم‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت و از آن پس به‌عنوان یک پتانسیل جایگزین و فناوری حذف و بازیافت فلزات سنگین به کار برده شد. در طول این مکانیزم میکروارگانیسم‌ها از طریق ایجاد پیوند فلزات با دیواره سلولی‌شان آنها را غیرمتحرک می‌کنند (Akhtar *et al*., 2007; Sivasamy and Sandarabal, 2011). این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند به‌عنوان جاذب‌های بالقوه فلزات به‌کار روند. در واقع جهت پاک‌سازی شیمیایی از کارآیی مطلوبی برخوردارند (Sadhasivam *et al*., 2007). در سال‌های اخیر فرایند جذب زیستی با استفاده از قارچ‌های رشته‌ایی به‌خاطر آسانی کشت و عدم بیماری‌زایی برای انسان و حیوانات به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است (Kavamura and Esposito, 2010). در این میان، گونه‌های قارچ تریکودرما (*Trichoderma* spp.) که به‌طور معمول در

همه خاک‌ها و در اطراف ریشه گیاهان حضور دارند و جزو متداول‌ترین قارچ‌های قابل کشت هستند از اهمیت خاصی برخوردارند، به‌طوری‌که امروزه به‌عنوان اصلاح کننـده‌های خاک در سطح تجـاری تولیـد می‌شوند (Sun *et al.*, 2010; Kaewchai *et al.*, 2009). این قارچ‌ها با کنترل بیولوژیک در برابر پاتوژن‌های خاک‌زی، تولید هورمون‌های رشد، قابل حل کردن عناصر نامحلول، افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی، دفع مسمومیت و افزایش انتقال قند و اسید آمینه در ریشه گیاهان، ایجاد مقاومت القایی[۱] در برابر تنش‌های محیطی سبب افزایش رشد و نمو گیاهان می‌شوند (Cuevas, 2011; Mazhabi *et al.*, 2006). تلقیح گیاه با گونه‌های تریکودرما می‌تواند شرایط را برای پالایش خاک‌هایی با آلودگی‌های متعدد، افزایش رشد و نمو گیاهان و بهبود حاصلخیزی خاک فراهم آورد (Wang and Zhou, 2005; Anand *et al.*, 2006; Cao *et al.*, 2008). درمیان گونه‌های تریکودرما، گونه *Trichoderma harzianum* به‌دلیل رشد سریع، قدرت تکثیر بالا، تحمل به شرایط نامطلوب، توانایی رشد و کلونی شدن در ارتباط با ریشه گیاه و القای رشد گیاه به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kaewchai *et al.*, 2009).

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر قارچ تریکودرما بر عملکرد و اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک، عملکرد کاه، شاخص برداشت، شاخص تحمل و ضریب تسهیم گیاه جو در غلظت‌های مختلف کادمیوم بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در پاییز سال ۱۳۸۹ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکـرار به‌صورت گلدانی انجام شد. فاکتورها شامل چهار سطح نیتـرات کادمیـوم[۲] (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و قارچ تریکودرما با دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) بود. قارچ *T. harzianum* از مجموعه قارچ‌های زنده آزمایشگاه قارچ‌شناسی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه گردید. برای شروع آزمایش جهت تکثیر سویه مزبور ابتدا این سویه در محیط کشت PDA (عصاره سیب‌زمینی، دکستروز و آگار) به مدت یک هفته در دمای ۲۵ درجه سلسیوس تکثیر و پس از پنج روز اسپورزایی در محیط کشت سبوس گندم تکثیر شدند. محیط کشت مورد استفاده قبلاً در اتوکلاو به مدت ۳۰ دقیقه استریل شد. ابتدا خاک مورد استفاده با فرمالین پنج درصد ضدعفونی شده و به مدت ده روز هوادهی شد (Harender and Sharma, 2009). سپس مقدار ۵۰ گرم از محیط کشت سبوس‌دار و اسپورهای تریکودرما (به تعداد 10^8 واحد کلون‌ساز در هر گرم) به خاک هرگلدان ده کیلوگرمی (به ارتفاع ۳۰ با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر) افزوده و کاملاً با آن مخلوط گردید (Yazdani *et al.*, 2008). قبل از انجام آزمایش، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم نمونه خاک مورد استفاده تعیین شد (جدول ۱). در هر گلدان ۲۰ عدد بذر جو رقم صحرا (*Hordeum vulgare* L. variety 'Sahra') کشت و پس از جوانه‌زنی به شش بوته تقلیل یافت. براساس نتایج تجزیه خاک معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در سه نوبت (کاشت، اوایل پنجه‌زنی و اوایل ساقه‌دهی) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل (در مرحله کاشت) استفاده شد. پس از ۱۴ روز از کاشت

۱- Induced Resistance

۲-$Cd(NO_3)_2.4H_2O$, Scharlau, Spain

گیاه، در طی یک دوره ۱۰ روزه محلول نیترات کادمیوم مربوط به هر تیمار همراه آب آبیاری به صورت تدریجی به محیط کشت گیاه اضافه گردید. در طول دوره رشد رطوبت خاک در حد ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه (۳۱/۶ درصد =FC) به روش توزین حفظ شد. بوته‌های جو پس از رسیدگی فیزیولوژیکی برداشت و به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد به آزمایشگاه منتقل شدند. صفات مورد اندازه‌گیری شامل: تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در هر سنبله، وزن دانه در تک سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد کاه (وزن کاه و کلش در تک بوته)، عملکرد بیولوژیک (وزن کل اندام هوایی در تک بوته)، عملکرد دانه (وزن دانه در تک بوته)، شاخص برداشت[۱] (رابطه ۱)، شاخص تحمل[۲] (Khan *et al.*, 2006) و ضریب تسهیم[۳] (De Costa *et al.*, 2006) (رابطه ۲ و ۳) بودند. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، نمونه ۱۰۰ تایی از بذور هر گلدان جدا شده و پس از خشک شدن در هوای آزاد و رسیدن به رطوبت ۱۳ درصد با ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند.

$$(HI) = \left[\frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عملکرد بیولوژیک}}\right] \times ۱۰۰ \qquad \text{[رابطه ۱]}$$

$$(TI) = \left[\frac{\text{عملکرد دانه در تیمار آلودگی}}{\text{عملکرد دانه در شاهد}}\right] \times ۱۰۰ \qquad \text{[رابطه ۲]}$$

$$(PC) = \frac{\text{وزن خشک سنبله}}{\text{وزن خشک کل}} \qquad \text{[رابطه ۳]}$$

آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگروف–اسمیرنوف (Nasiri, 2008) با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) صورت گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۸ (Soltani, 2008) و جهت ارزیابی تأثیر کادمیوم و قارچ تریکودرما بر صفات مورد بررسی، مقایسه میانگین صفات از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. برای بررسی واکنش برخی صفات مورد بررسی به سطوح نیترات کادمیوم از تجزیه رگرسیونی و برازش معادلات درجه یک، دو و دو تکه‌ای استفاده شد. ترسیم نمودارها در نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک، عملکرد کاه و شاخص برداشت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل کاربرد قارچ تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد کاه و شاخص برداشت تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). با توجه به شکل ۱ (الف) روند تغییرات عملکرد بیولوژیک در دو تیمار کاربرد و عدم کاربرد تریکودرما در سطوح مختلف نیترات کادمیوم از تابع دو تکه‌ای تبعیت نموده است. به‌طوری‌که در تیمار عدم کاربرد تریکودرما با افزایش غلظت نیترات کادمیوم تا حدود ۱۰۹ میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت خطی با شیب ۰/۰۳ افزایش یافت و پس از آن با شیب ۰/۰۷- از روند کاهشی برخوردار بود. اما در تیمار حضور تریکودرما، عملکرد بیولوژیک پاسخی کاملاً معکوس داشت. به‌گونه‌ای که با افزایش سطح نیترات کادمیوم از صفر تا ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت خطی کاهش و پس از آن افزایش نشان داد (شکل ۱، الف).

روند تغییرات عملکرد کاه در دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح *T. harzianum* در برابر سطوح مختلف نیترات کادمیوم به‌صورت درجه دوم (به‌ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۹ و ۰/۹۸) بود (شکل ۱، ب). با توجه به معادلات برازش یافته در این تیمارها، بیشترین عملکرد کاه در تیمار کاربرد تریکودرما و در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد به‌گونه‌ای

۱- Harvest Index
۲- Tolerance Index
۳- Partitioning Coefficient

که نسبت به عدم کاربرد تریکودرما حدود ۱۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱، ب). بنابراین در پژوهش حاضر، *T. harzianum* تأثیر کاملاً معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک و بهبود عملکرد کاه داشته است. در خصوص اثر تریکودرما در پژوهشی نشان داده شد که کاربرد گونه‌های تریکودرما با افزایش جذب عناصر غذایی باعث افزایش زیست‌توده و بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Mazhabi *et al*., 2011). همچنین بال و آلتینتاس (Bal and Altintas, 2008) دلیل بهبود رشد و عملکرد گیاه در حضور گونه *T. harzianum* در ریزوسفر را افزایش سطح ریشه عنوان نمودند به‌طوری‌که موجب سطح تماس بیشتر ریشه با خاک شده و در نتیجه جذب عناصر معدنی قابل دسترس گیاه به‌ویژه در محیط‌هایی که دارای مواد معدنی محدود می‌باشند بیشتر می‌شود. در همین راستا، عملکرد گیاهانی همچون خیار، توت‌فرنگی، فلفل و پنبه با کاربرد گونه *T. harzianum* به‌طور قابل توجهی بیشتر شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود روند تغییرات شاخص برداشت در دو تیمار حضور و عدم حضور *T. harzianum* در سطوح مختلف نیترات کادمیوم مشابه نبود. به‌گونه‌ای که روند تغییرات با افزایش سطح آلودگی در تیمار عدم کاربرد *T. harzianum* به‌صورت دوتکه‌ای (R^2=۰/۸۳) بود و ابتدا تا سطح ۱۰۳ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم به‌صورت خطی با شیب ۰/۴- کاهش و پس از آن افزایش یافت. در حالی‌که در تیمار حضور *T.harzianum* به‌صورت کاهشی خطی (R^2=۰/۸۲) بود و با افزایش هر میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم، شاخص برداشت به میزان ۰/۱۱۸ واحد کاهش یافت که نشان دهنده تأثیر مثبت این قارچ در بهبود عملکرد گیاه می‌باشد. از آن‌جایی که فعالیت این میکروارگانیسم‌ها تحت تأثیر غلظت عناصر سنگین موجود در محیط قرار می‌گیرد (Kredics *et al*., 2003; Wyszkowska and Wyszkowski, 2002) لذا در سطح بالای کادمیوم، تریکودرما نتوانسته تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشته باشد. به‌طور کلی شاخص برداشت به صورت وزن خشک ماده‌ی گیاهی مطلوب به کل ماده‌ی خشک تولید شده در قسمت هوایی توسط گیاه زراعی، تعریف می‌شود و به صورت معیاری برای تعیین قابلیت تولید بوده و تا حدی قابل توارث است (Emam and Seghatoleslami, 2005). ژورژیوا و همکاران (Georgieva *et al*., 1997) در بررسی که روی نخود، فلفل و تربچه انجام داده‌اند به این نتیجه رسیدند که افزایش سطح آلودگی کادمیوم باعث کاهش رشد و عملکرد در این گیاهان شده است. همچنین، در بررسی دیگر در گیاه گوجه‌فرنگی نشان داده شده که در غلظت پایین کادمیوم (۱۰ میکروگرم در چهار کیلوگرم خاک)، بیوماس گیاه افزایش یافت اما با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، کاهش در بیوماس مشاهده شد که این کاهش در غلظت‌های بالا (۲۰ تا ۴۰ میکرو گرم در چهار کیلوگرم خاک) بیشتر بود (Rehman *et al*., 2011).

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر متقابل بین *T. harzianum* و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری نداشت. در حالی‌که اثر ساده حضور تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به تأثیر تریکودرما بر عملکرد دانه، بیشترین عملکرد در زمان حضور تریکودرما در محیط رشد گیاه به‌دست آمده است که نسبت به تیمار عدم حضور قارچ از افزایش حدود ۲۲ درصدی برخوردار بود (شکل ۳). پژوهشی در این زمینه نشان داد تلقیح گیاه برنج با قارچ *T. pseudokonigi* باعث افزایش

عملکرد دانه شد و دلیل آن، افزایش جذب فسفر و روی نسبت داده شد (Cuevas, 2006). همچنین، نتایج تجزیه رگرسیون اثر سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر عملکرد دانه (شکل ۴) نشان داد که عکس‌العمل این صفت به افزایش غلظت نیترات کادمیوم به‌صورت درجه دوم (R^2=۰/۹۸) بود. با توجه به معادله برازش یافته تیمار عدم آلودگی نسبت به سایر سطوح آلودگی دارای بیشترین عملکرد دانه بود و با افزایش غلظت نیترات کادمیوم، عملکرد دانه نسبت به شاهد حدود ۱۹ درصد کاهش یافت (شکل ۴). کادمیوم به‌عنوان یک عنصر غیرضروری و سمی برای گیاه باعث کاهش عملکرد می‌شود. خان و همکاران (Khan *et al*., 2006) گزارش دادند که با افزایش غلظت کادمیوم (از صفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک) عملکرد دانه کاهش یافت. در بررسی دیگر در گیاه ماش (*Vigna radiata*) نشان داده شده که افزایش غلظت کادمیوم به‌طور معنی‌داری موجب کاهش عملکرد دانه گردید (Ghani, 2010). نادری و دانش شهرکی (Naderi and Danesh Shahraki, 2012) بیان داشتند کادمیوم مانع رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه شده و عملکرد محصول را به شدت کاهش می‌دهد. مطالعه‌ای در این زمینه نشان داده کاتیون‌هایی مانند آهن، روی و مس به جذب کادمیوم کمک می‌کنند (Farzadfar and Zarin Kamar, 2011). این در حالی است که کادمیوم، پتاسیم و کلسیم برای جذب توسط گیاه با هم در رقابت‌اند (Kurtyka *et al*., 2008; Farzadfar and Zarin Kamar, 2011). بنابراین، با توجه به اینکه کلسیم و پتاسیم در تنظیم رشد گیاه نقش مهمی دارند، کادمیوم به‌عنوان عنصری غیر ضروری در جذب، تجمع و توزیع این عناصر در گیاه تأثیر می‌گذارد (Kurtyka *et al*., 2008). این عنصر منجر به آسیب گیاه و تغییرات متابولیسمی نظیر جذب نیتروژن، میزان رنگدانه، پروتئین، سنتز کلروفیل و تغییر غلظت آنزیمی برای تنش متابولیسمی می‌شود (Zheng *et al*., 2010). به طورکلی کادمیوم از طریق واکنش با بعضی از آنزیم‌ها اثر منفی بر متابولیسم گیاه وارد می‌کند. مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر نشان داده که کادمیوم باعث کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود، همچنین در غلظت‌های بالا باعث تغییر کلروفیل، کاهش شاخص میتوزی در سلول‌های ریشه، ناهنجاری‌های کروموزومی، تشکیل هسته‌های کوچک، اختلال در ساختار سلول و ناهنجاری‌ها در سنتز DNA و RNA می‌شود که در نهایت باعث تأخیر دوره رشد طبیعی و کاهش میزان عملکرد گیاه به‌دلیل بازدارندگی پتانسیل ژنتیکی آنها می‌گردد (Kiran and Sahin, 2006). با این وجود، ژورژیوا و همکاران (Georgieva *et al*., 1997) گزارش کردند که حساسیت گیاه به کادمیوم بستگی به گونه گیاهی، میزان آلودگی و توانایی تحمل بافت گیاهی در برابر کادمیوم دارد.

شاخص تحمل

در مباحث گیاه‌پالایی فلزات سنگین یکی از عواملی که بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد دامنه تحمل پذیری گیاه در برابر عنصر می‌باشد (Parsadoost *et al*., 2007). با توجه به جدول تجزیه واریانس، بین تلقیح تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر میزان شاخص تحمل اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد. در حالی‌که اثر ساده تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر صفت مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری (P<۰/۰۱) نشان داد (جدول ۲). به‌طوری‌که در این پژوهش حضور *T. harzianum* به‌عنوان یک جاذب زیستی باعث افزایش ۱۴ درصدی شاخص تحمل گیاه نسبت به عدم حضور تریکودرما شد (شکل ۵، الف). همچنین، روند تغییرات این صفت در برابر سطوح

مختلف آلودگی به نیترات کادمیوم به‌صورت معادله درجه دوم (R^2=۰/۹۹) بود. پاسخ شاخص تحمل به افزایش غلظت نیترات کادمیوم ابتدا از یک روند کاهشی و سپس افزایشی برخوردار بود، به‌گونه‌ای که با افزایش غلظت نیترات کادمیوم از سطح صفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر روند کاهشی داشته و پس از آن به‌حالت افزایشی در آمد اما از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده نشد. به‌طوری‌که بالاترین شاخص تحمل در تیمار عدم آلودگی مشاهده شد (شکل ۵، ب). مطالعات انجام شده در همین زمینه نیز بیانگر تأثیر مثبت کاربرد تریکودرما در مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی و غیرزنده در طی رشد است (Mazhabi *et al*., 2011; Mastouri *et al*., 2010).

تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که برهمکنش بین حضور تریکودرما و آلودگی به نیترات کادمیوم از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بر تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله داشت. در این پژوهش نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون نشان داد با افزایش سطح نیترات کادمیوم، تعداد سنبله در دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح قارچ *T. harzianum* از یک روند افزایشی برخوردار بود. به‌گونه‌ای که در تیمار حضور *T. harzianum* به‌صورت خطی و در تیمار عدم حضور *T. harzianum* به‌صورت تابع درجه دوم (R^2=۰/۹۸) بود. ولی از نظر میزان این تغییرات و بیشینه تعداد سنبله در بوته بین تیمارهای قارچی در سطوح مختلف نیترات کادمیوم اختلاف وجود داشت و با توجه به معادلات برازش یافته در این تیمارها، بیشترین تعداد سنبله در تیمار کاربرد تریکودرما و در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. با توجه به شکل ۶ (الف) حضور تریکودرما در تمامی سطوح آلودگی به نیترات کادمیوم باعث افزایش تعداد سنبله در بوته شده است به‌طوری‌که در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات کادمیوم، تعداد سنبله در بوته به‌طور معنی‌داری (به‌ترتیب ۱۲۰ و ۶۶ درصد) نسبت به عدم حضور تریکودرما بیشتر بود.

با توجه به اثر متقابل آلودگی نیترات کادمیوم و حضور *T. harzianum* می‌توان چنین نتیجه گرفت که *T. harzianum* در سطوح پایین آلودگی به نیترات کادمیوم بر تعداد سنبله در بوته تأثیر قابل توجه‌ای دارد اما در سطح بالاتر توانایی تحمل در برابر این عنصر را ندارد و از لحاظ آماری نتوانسته تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشته باشد. چاندرا شیکار و همکاران (Chandra Shekar *et al*., 2011) در پژوهش خود در گیاه گوجه‌فرنگی به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط رشد گیاه به‌ویژه در غلظت‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تشکیل گل در گیاه به‌شدت کاهش یافت. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، روند تغییرات تعداد دانه در سنبله در دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح قارچ *T. harzianum* در برابر سطوح مختلف نیترات کادمیوم مشابه نبود. با توجه به شکل ۶ (ب) پاسخ تعداد دانه در سنبله به افزایش غلظت نیترات کادمیوم در تیمار عدم تلقیح *T. harzianum* به‌صورت درجه دوم (R^2=۰/۷۲) بود. به‌گونه‌ای که با افزایش غلظت نیترات کادمیوم تا سطح ۵۶ میلی‌گرم بر لیتر از یک روند افزایشی و سپس کاهشی برخوردار بود. بنابراین، با توجه به‌اینکه با افزایش غلظت کادمیوم تعداد سنبله در بوته افزایش یافت (شکل ۶، الف) تعداد دانه به نسبت تعداد سنبله بیشتر در بوته کاهش می‌یابد. در حالی‌که پاسخ تعداد دانه در سنبله به افزایش غلظت نیترات کادمیوم در تیمار تلقیح *T. harzianum* به‌صورت تابع دو تکه‌ای بود. به‌طوری‌که ابتدا تا سطح ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر با شیب ۰/۱ کاهش و پس از آن به‌صورت خطی افزایش یافت.

وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه و ضریب تسهیم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد برهمکنش معنی‌داری بین حضور تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه و ضریب تسهیم مشاهده نشد. همچنین، اثر ساده حضور تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم نیز از لحاظ آماری بر وزن دانه در سنبله معنی‌دار نبود. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شد اثر ساده حضور تریکودرما تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه و ضریب تسهیم نداشت در حالی‌که اثر ساده نیترات کادمیوم بر این صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. شکل ۷ (الف) نتایج تجزیه رگرسیون اثر سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر وزن هزار دانه را نشان می‌دهد. بر این اســـاس، عکس‌العمل این صفت به افزایش غلظت نیترات کادمیوم از یک رابطه خطی (R^2=۰/۸۹) تبعیت نموده است، بدین معنی که با افزایش نیترات کادمیوم، وزن هزار دانه از یک روند کاهشی برخوردار بود به‌گونه‌ای که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار شاهد مشاهده شد و به ازای هر واحد افزایش نیترات کادمیوم با شیب ۰/۰۷ کاهش نشان داد (شکل ۷، الف). به‌نظر می‌توان این کاهش را به نقش منفی عنصر کادمیوم در جذب عناصر غذایی و انتقال آنها به سلول‌های گیاه نسبت داد که سبب کاهش رشد و فتوسنتز گیاه شده است. در نتیجه در مرحله‌ی پر شدن دانه، شیره‌ی پرورده کمتری به دانه‌ها انتقال داده شده و دانه‌های کوچک با وزن کمتری تولید شد. در گیاه گندم (Khan *et al*., 2006) نیز نشان داده شد که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک وزن هزار دانه کاهش یافت. همچنین، در این پژوهش مشخص گردید ضریب تسهیم در برابر سطوح مختلف نیترات کادمیوم از یک روند کاهشی خطی برخوردار بود (شکل ۷، ب). این صفت در بالاترین سطح آلودگی (۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) نسبت به شاهد حدود ۵۷ درصد کمتر بود. از آنجایی که کادمیوم از انتقال عناصر غذایی به گیاه جلوگیری می‌کند لذا در مرحله‌ی پر شدن دانه، شیره‌ی پرورده کمتری به دانه‌ها انتقال داده می‌شود (Jain *et al*., 2007). بنابراین، با توجه به‌اینکه وزن و تعداد دانه بستگی به تسهیم مواد غذایی طی مرحله پر شدن دانه دارد و تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرند (Gambin and Borras, 2007; Severini *et al*., 2011) افزایش سطح کادمیوم باعث کاهش ضریب تسهیم و اختصاص مواد غذایی به سنبله شده است و افزایش عملکرد بیولوژیک (شکل ۱) این مسئله را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده، افزایش غلظت کادمیوم در محیط موجب کاهش قابل ملاحظه رشد و عملکرد گیاه جو گردید. با این وجود، استفاده از قارچ تریکودرما به‌طور مستقیم و غیرمستقیم افزایش رشد و عملکرد گیاه را در پی داشت. به‌نظر می‌رسد قارچ تریکودرما می‌تواند ضمن بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد در افزایش مقاومت گیاه جو تحت آلودگی به کادمیوم مؤثر باشد. با این وجود برای تعیین دقیق اثر بخشی این قارچ پژوهش‌های بیشتری مورد نیاز است.

سپاس‌گزاری

بدینوسیله از کارشناسان محترم آزمایشگاه بذر و تنش‌های محیطی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، به‌ویژه جناب آقای مهندس یاسر یعقوبیان، جهت کمک در اجرای پژوهش صمیمانه سپاس‌گزاری می‌گردد.

جدول ۱- نتایج تجزیه نمونه خاک اولیه قبل از اجرای آزمایش

Table 1- Results of soil analysis before beginning the experiment

بافت خاک Soil Texture	ماده آلی Organic matter	کربن آلی Organic Carbon	اسیدیته Acidity (pH)	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	کادمیوم Cadmium	شن Sand	رس Clay	سیلت Silt	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS/m)
	(%)			Available (mg/kg)			(%)			
سیلت رسی Clay-Silt	1.307	0.758	7.65	130	5.957	0.22	9.6	47.4	43	2.48

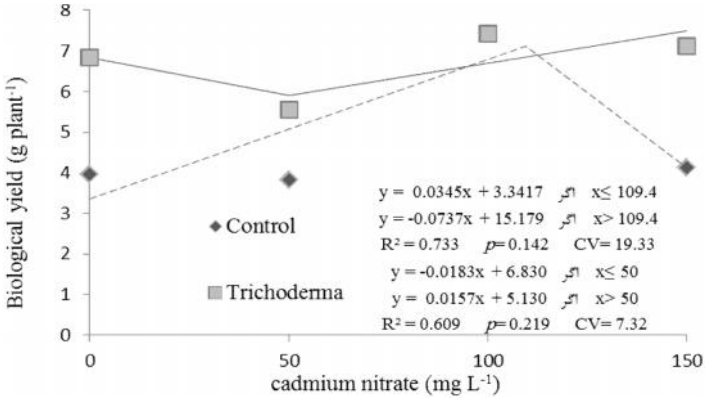
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کادمیوم و تریکودرما بر عملکرد و اجزای عملکرد جو

Table 2- Analysis of variance for the effect of cadmium and Trichoderma on the yield and yield components of barley

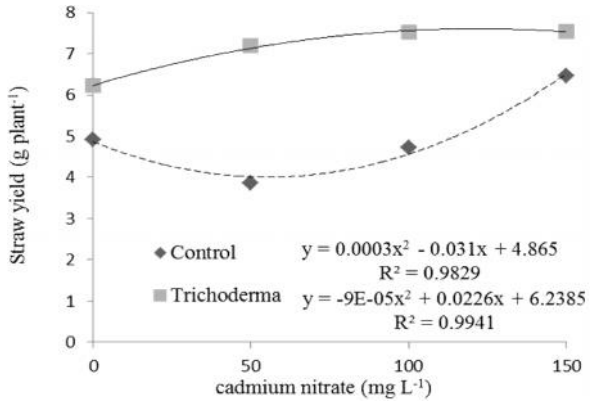
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن دانه در سنبله Weight of seeds per spike	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	تعداد سنبله در بوته Number of Spikes per plant	شاخص تحمل Tolerance Index	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه Straw yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزار دانه 1000 grain weight	ضریب تسهیم Partitioning coefficient
تریکودرما *T.harzianum* (A)	1	0.21^{ns}	27.09^{ns}	6.00^{**}	1171.61^{**}	0.069^{**}	1.782^{**}	27.115^{**}	21.679^{**}	8.38^{ns}	0.00^{ns}
نیترات کادمیوم Cadmium nitrate (B)	3	0.23^{ns}	49.78^{**}	2.77^{**}	1085.61^{**}	0.107^{**}	0.702^{**}	2.870^{**}	8.166^{**}	142.5^{**}	0.154^{**}
A × B	3	0.07^{ns}	37.22^{**}	1.00^{**}	59.54^{ns}	0.031^{**}	0.088^{ns}	1.839^{**}	2.858^{**}	28.17^{ns}	0.016^{ns}
خطای آزمایش Error	16	0.09	6.81	0.25	90.80	0.003	0.112	0.117	0.200	17.48	0.016
ضریب تغییرات CV (%)	--	23.92	9.41	18.75	11.01	12.39	12.24	5.66	7.74	8.58	28.90

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns: عدم‌معنی‌دار

*and**; significant at 5% and 1% probability level, respectively and ns: non-significant



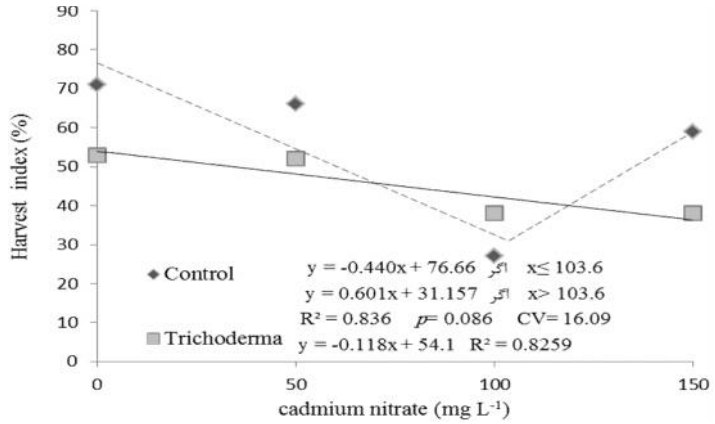
(a) (الف)



(b) (ب)

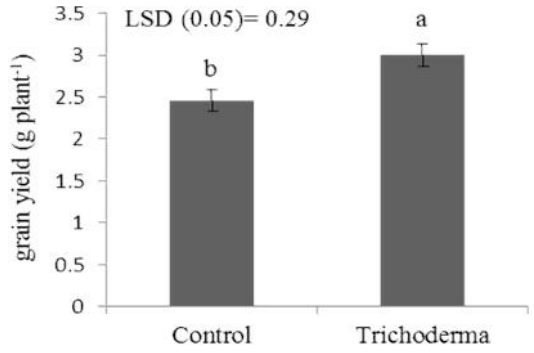
شکل ۱- پاسخ عملکرد بیولوژیک (الف) و عملکرد کاه (ب) به کاربرد تریکودرما و نیترات کادمیوم

Figure 1- Interaction between of *T. harzianum* and cadmium nitrate on (a) biological yield (b) straw yield



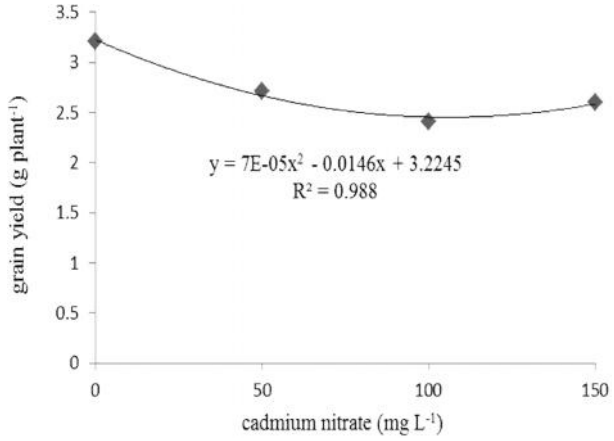
شکل ۲- اثر متقابل کاربرد تریکودرما و نیترات کادمیوم بر شاخص برداشت

Figure 2- Interaction between *T. harzianum* and cadmium nitrate on harvest index



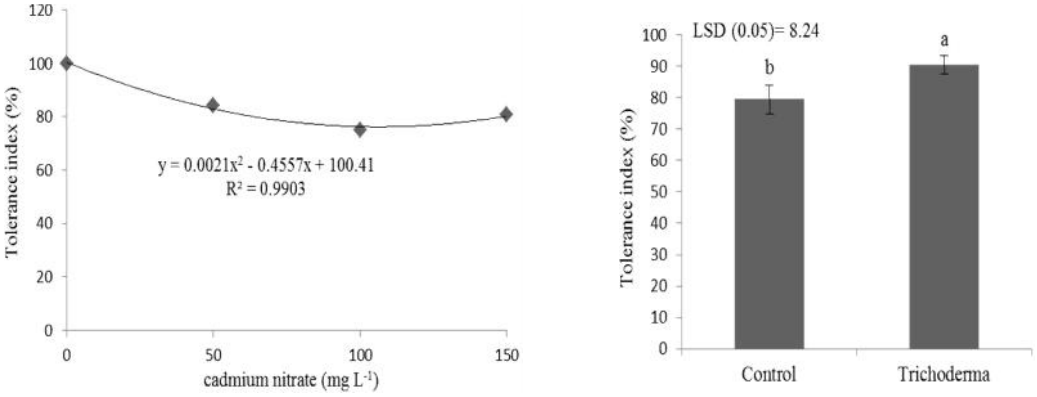
شکل ۳- اثر ساده تریکودرما بر عملکرد دانه

Figure 3- The effect of *T. harzianum* on grain yield



شکل ۴- پاسخ عملکرد دانه به سطوح نیترات کادمیوم

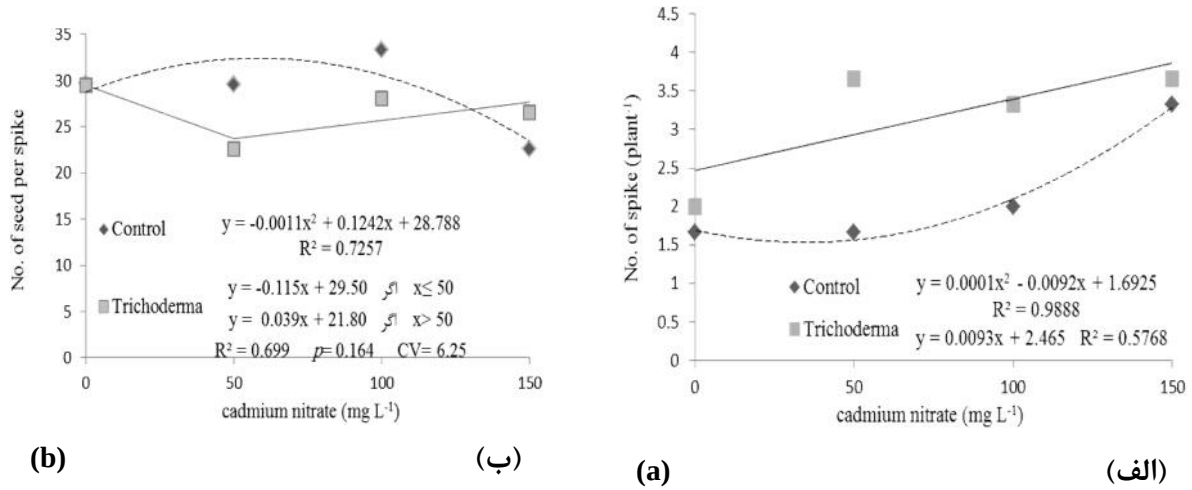
Figure 4- The effect of different levels of cadmium nitrate on grain yield



(b) **(ب)** **(a)** **(الف)**

شکل ۵- اثرات ساده (الف) تریکودرما و (ب) سطوح نیترات کادمیوم بر شاخص تحمل

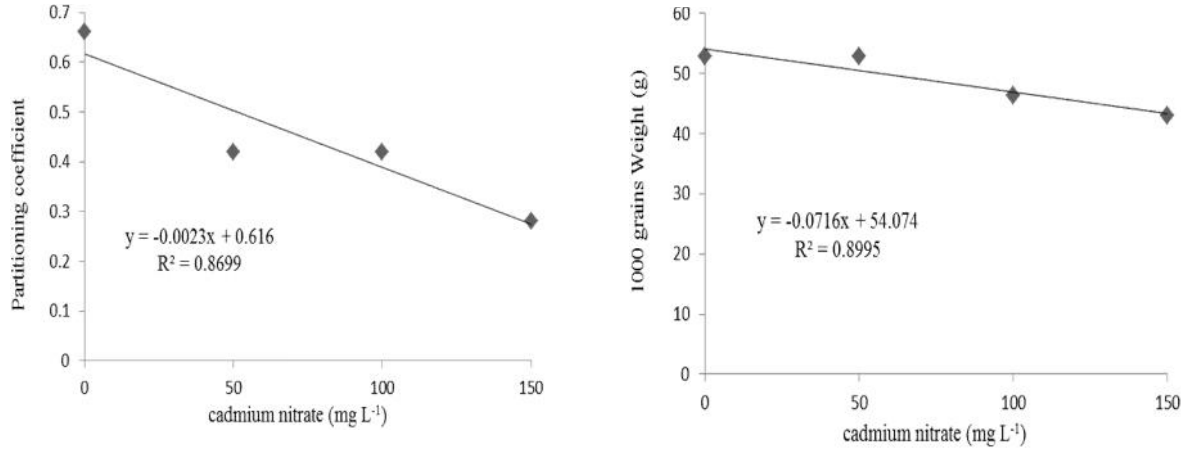
Figure 5- The effect of (a) *T. harzianum* (b) cadmium nitrate on tolerance index



(b) **(ب)** **(a)** **(الف)**

شکل ۶- اثر متقابل کاربرد تریکودرما و نیترات کادمیوم بر (الف) تعداد سنبله در بوته (ب) تعداد دانه در هر سنبله

Figure 6- Interactions between *T. harzianum* and cadmium nitrate on (a) number of spikes on each plant (b) number of seeds per spike



(b) **(ب)** **(a)** **(الف)**

شکل ۷- اثر ساده سطوح نیترات کادمیوم بر (الف) وزن هزار دانه (ب) ضریب تسهیم

Figure 7- The effect of cadmium nitrate on (a) 1000 grain weight (b) partitioning coefficient

References منابع مورد استفاده

- Aghabarati, A., S.M. Hosseini, A. Esmaili, N. Bahramifar, and H. Maralian. 2008. Effects of application municipal effluent on heavy metal (Cr and Ni) accumulation in *Olea europaea* L. trees and soil. *Iranian J. For. Poplar. Res*. 16 (2): 304-313. (In Persian).
- Akhtar, K., M.W. Akhtar, and A.M. Khalid. 2007. Removal and recovery of uranium from aqueous solutions by *Trichoderma harzianum*. *Water Research*. 41: 1366-1378.
- Alipour Darvari, H., H. Zare Mayvan, and M. Sharifi. 2009. Evaluation of rate of radish proxidase activity and its relationship with heavy metals in soil. *J. Sci. Univ. Tehran*. 35 (1): 37-43. (In Persian).
- Anand, P., J. Isar, S. Saran, and R.K. Saxena. 2006. Bioaccumulation of copper by *Trichoderma viride*. *Bioresour. Technol*. 97: 1018-1025.
- Avis, T.J., V. Grave, H. Antoun Russe, and J. Tweddell. 2008. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biol. Biochem*. 40: 1733-1740.
- Bal, U., and S. Altintas. 2008. Effect of *Trichoderma harzianum* on lettuce in protected cultivation. *J. Cent. Eur. Agric*. 9 (1): 63-70.
- Bennett, A.J., and J.M. Whipps. 2008. Beneficial microorganism survival on seed, roots and in rhizosphere soil following application to seed during drum priming. *Biol. Control*. 44: 349–361.
- Cao, L., M. Jiang, Z. Zeng, A. Du, H. Tan, and Y. Liu. 2008. *Trichoderma atroviride* F6 improve phytoextraction efficiency of mustard (*Brassica juncea* L.) Coss. cv. Foliosa (Bailey) in Cd, Ni contaminated soils. *Chemosphere*. 71: 1769-1773.
- Chandra Shekar, C.H., D. Sammaiah, M. Rambabu, and K. Jaganmoha Reddy. 2011. Effect of cadmium on tomato growth and yield attributes. *J. Microbiol. Biotechnol. Res*. 1 (3): 109-112.
- Cuevas, C. 2006. Soil Inoculation with *Trichoderma pseudokoningii* rifai enhances yield of rice. *Philippine J. Sci*. 135 (1): 31-37.
- De Costa, W.A.J.M., W.M.W. Weerakoon, H.M.L.K. Herath, K.S.P. Amaratunga, and R.M.I. Abeywardena. 2006. Physiology of yield determination of rice under elevated carbon dioxide at high temperatures in a subhumid tropical climate. *Field Crops Res*. 96: 336–347.
- Emam, Y., and M.J. Seghatoleslami. 2005. Crop yield, physiology and process. Shiraz University Press. 594 pp. (In Persian).
- Farzadfar, S., and F. Zarin Kamar. 2011. The effect of calcium on cadmium absorption in roots and shoots of chamomile (*Matricaria chamomilla*). Proceeding of the First Congress of Modern Agricultural Sciences and Technologies. 3: 248-250. (In Persian).
- Gambin, B.L., and L. Borras. 2007. Plasticity of sorghum kernel weight to increased assimilate availability. *Field Crops Res.* 100: 272-284.

- Georgieva, V., C.H. Tasev, and G. Sengalevitch. 1997. Growth, yield, lead, zinc and cadmium content of radish, pea and peper plants as influenced by level of single and multiple contamination of soil. III. Cadmium. *J. Plant Physiol*. 23 (1-2): 12-23.
- Ghani, A. 2010. Effect of cadmium toxicity on the growth and yield components of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *World Appl. Sci. J*. 8: 26-29.
- Ghasemi, Z., and A.A. Shahabi. 2010. Effect of cadmium on physiological indices, vegetative traits and nutrient concentration in tomato (*Lycopersicon esculentum*) in hydroponic cultivation. *J. Sci. Technol. Greenhouse Cult*. 1 (2): 55-64. (In Persian).
- Harender, R., and S.D. Sharma. 2009. Integration of soil solarization and chemical sterilization with beneficial microorganisms for the control of white root rot and growth of nursery apple. *Sci. Hortic.* 119: 126–131.
- Jain, M., M. Pal, P. Gupta, and R. Gadre. 2007. Effect of cadmium on chlorophyll biosynthesis and enzymes of nitrogen assimilation in greening maize leaf segments: Role of 2- oxoglutarate. *Indian J. Exp. Biol*. 45: 385-389.
- Kaewchai, S., K. Soytong, and K.D. Hyde. 2009. Mycofungicides and fungal biofertilizers. *Fungal Divers*. 25-50.
- Kavamura, N.V., and E. Esposito. 2010. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. *Biotechnol. Adv*. 28: 61-69.
- Khan, N.A., I.S. Ahmad Singh, and R. Nazar. 2006. Variation in growth, photosynthesis and yield of five wheat cultivars exposed to cadmium stress. *World J. Agric. Sci*. 2 (2): 223-226.
- Khosravi, F., G.H. Savaghebi Firoozabadi, and H. Farahbakhsh. 2009. The effect of potassium chloride on cadmium uptake by canola and sunflower in a polluted soil. *J. Water Soil*. 23 (3): 28-35. (In Persian).
- Kiran, Y., and A. Sahin. 2006. The effect of cadmium on seed germination, root development and mitotic of root tip cells of lentil (*Lens culinaris* Medic). *World J. Agric. Sci*. 2 (2): 196-200.
- Kredics, L., Z. Antal, L. Manczinger, A. Szekeres, F. Kevei, and E. Nagy. 2003. Influence of environmental parameters on *Trichoderma* strains with biocontrol potential. *Food Technol. Biotechnol*. 41 (1): 37–42.
- Kuklova, M., J. Kukla, and F. Hnilicka. 2010. Soil-to-herbs transfer of heavy metals in spruce ecosystems. *Pol. J. Environ. Stud.* 19 (6): 1263-1268.
- Kurtyka, R., E. Małkowski, A. Kita, and W. Karcz. 2008. Effect of calcium and cadmium on growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium and sodium in maize seedlings. *Pol. J. Environ. Stud.* 17 (1): 51-56.
- Mastouri, F., T.H. Björkman, and G.E. Harman. 2010. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. *Biol. control*. 11: 1213-1221.

- Mazhabi, M., H. Nemati, H. Rouhani, A. Tehranifar, E.M. Moghadam, H. Kaveh, and A. Rezaee. 2011. The effect of *Trichoderma* on polianthes qualitative and quantitative properties. *J. of Anim. Plant Sci.* 21(3): 617-621.
- Mojiri, A. 2011. The potential of corn (*Zea mays*) for phytoremediation of soil contaminated with cadmium and lead. *J. Biol. Environ. Sci*. 5 (13): 17-22.
- Mukhtar, I. 2008. Influence of *Trichoderma* species on seed germination in Okra. *Mycopath*. 6 (1-2): 47-50.
- Naderi, A.M., and A. Danesh Shahraki. 2012. Phytoremediation; step towards improving the environmental health. In: The First National Conference on Strategies for Achieving Austainable Agriculture, 5 and 6 May., Payam Noor Univesity, Ahvaz, Khozestan, pp. 7-14. (In Persian).
- Nasiri, V. 2008. Applied statistics with computer [*a Non-Parametric Approach*] (1th ed.). Training Center and Industrial Research of Iran Press. 220 pp. (In Persian).
- Nikolic, N., D. Kogic, A. Pilipovic, S. Pajivic, B. Krstic, M. Borisev, and S. Orlovic. 2008. Responses of hybrid poplar to cadmium stress photosynthetic characteristics, cadmium and proline accumulation and antioxidant enzyme activity. *Acta Biol. Cracov. Ser. Bot.* 50 (2): 95-103.
- Parsadoost F., B. Bahreini Nejad, A.K. Safari Sanjani, and M.M. Kaboli. 2007. Phytoremediation of lead with native rangeland plants in Irankoh polluted soils. *J. Pajouhesh & Sazandegi*. 75: 54-63. (In Persian).
- Rehman, F., F.A. Khan, D. Varshney, F. Naushin, and J. Rastogi. 2011. Effect of cadmium on the growth of tomato. *J. Biol. Med*. 3 (2): 187-190.
- Saberi M., A. Tavili, M. Jafari, and M. Heydari. 2010. Effect of different levels of heavy metals on seed germination and seedling growth of *Atriplex lentiformis*. *J. Range*. 1: 112-120. (In Persian).
- Sadhasivam, S., S. Savitha, and K. Swaminathan. 2007. Exploitation of *Trichoderma harzianum* mycelial waste for the removal of rhodamine 6G from aqueous solution. *J. Environ. Manage*. 85: 155–161.
- Sarkar, S., A. Satheshkumar, R. Jayanthi, and R. Premkumar. 2010. Biosorption of nickel by live biomass of *Trichoderma harzianum*. *Res. J. Agric. Sci.* 1 (2): 69-74.
- Severini, A.D., L. Borrasb, M.E. Westgatec, and A.G. Cirilo. 2011. Kernel number and kernel weight determination in dent and popcorn maize. *Field Crops Res*. 120: 360-369.
- Shams Khorramabadi, Gh., R. Darvishi Cheshmeh Soltani, and S. Jorfi. 2010. Cd (II) adsorption using waste sludg from a municipal wastewater treatment system. *J. Water. Wastewater* (*JARWW*). 1: 57-62. (In Persian).
- Sivasamy, A., and N. Sundarabal. 2010. Biosorption of an Azo Dye by *Aspergillus niger* and *Trichoderma* sp. Fungal Biomasses. *Curr. Microbiol*. 62: 351-357.
- Soltani, A. 2008. Application of SAS in statistical analysis (2th ed.). Mashhad Jehad Daneshgai Press. 181 pp. (In Persian).

- Sun, Y.M., C.Y. Horng, F.L. Chang, L.C. Cheng, and W.X. Tian. 2010. Biosorption of lead, mercury and cadmium ions by *Aspergillus tereuss* immobilized in a natural matrix. *Pol. J. Microbiol*. 59 (1): 37-44.
- Wang, B., L. Liu, Y. Gao, and J. Chen. 2009. Improved phytoremediation of oilseed rape (*Brassica napus*) by *Trichoderma* mutant constructed by restriction enzyme-mediated integration (REMI) in cadmium polluted soil. *Chemosphere*. 74: 1400-1403.
- Wang, M., and Q. Zhou. 2005. Single and joint toxicity of chlorimuron-ethyl, cadmium, and copper acting on wheat *Triticum aestivum*. *Ecotoxicol. Environ. Saf*. 60: 169-175.
- Wyszkowska, J., and M. Wyszkowski. 2002. Effect of cadmium and magnesium on microbiological activity in soil. *Pol. J. Environ. Stud*. 11 (5): 585-591.
- Yazdani, M., H. Pirdashti, M.A. Tajik, and M.A. Bahmanyar. 2008. Effect of *Trichoderma* spp. and different organic manures on growthand development in soybean [*Glycine max* (L.) Merril.]. *Electronic J. Crop Produc.* 1 (3): 65-82. (In Persian).
- Zafar, S., F. Aqil, and E. Ahmad. 2007. Metal tolerance and biosorption potential of filamentous fungi isolated from metal contaminated agricultural soil. *Bioresour. Technol*. 98: 2557-2561.
- Zheng, G., H.P. Lv, S. Gao, and S.R. Wang. 2010. Effects of cadmium on growth and antioxidant responses in Glycyrrhiza uralensis seedlings. *Plant Soil Environ*. 56 (11): 508-515.

The Effect of *Trichoderma harzianum* and Cadmium on Tolerance Index and Yield of Barley (*Hordeum vulgare* L.)

Taghavi Ghasemkheyli, F.[1], H. Pirdashti[2*], M.A. Bahmanyar[3], and M.A. Tajick Ghanbary[4]

Received: May 2014, Accepted: 21 September 2014

Abstract

To investigate the effect of *Trichoderma harzianum,* as a bioabsorbant to ameliorate the harmful effects of cadmium (Cd) on growth and yield of barley (*Hordeum vulgare* L. variety 'Sahra'), a factorial pot experiment based on completely randomized design with three replicates was conducted. *Trichoderma harzianum* with two levels (with and without inoculation) and cadmium nitrate with four levels (0, 50, 100 and 150 $mg.L^{-1}$) were the treatments. Results of ANOVA revealed that there was a significant interaction between *Trichoderma* and cadmium nitrate in terms of biological yield, straw yield, harvest index, spike number per plant and seed number per spike. Mean comparisons showed that *Trichoderma* inoculation at all Cd levels significantly improved both biological and straw yields. *Trichoderma* at 50 and 100 $mg.L^{-1}$ of Cd also increased the spike number per plant (up to 120 and 66%, respectively) significantly. Increasing Cd levels decreased seed yield (19%), 1000 seed weight (18%), partitioning coefficient (57%) and tolerance index (23%) significantly. Inoculation of *Trichoderma* into growth medium had a significant effect on seed yield and tolerance index (up to 17 and 22%, respectively). In conclusion, *Trichoderma harzianum* inoculation at lower concentrations of Cd (50 and 100 $mg.L^{-1}$) could be effective to improve growth parameters of barley plant.

Key words: Barley, Cadmium, Tolerance index, *Trichoderma harzianum,* Yield.

1- Graduated Msc of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Member of Young Researchers and Elite Club, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran.
2- Associate Prof. Department of Agronomy, Genetic and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, and Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3- Associate Prof. Department of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
4- Assistant Prof. Department of Plant protection, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
**** Corresponding Author:*** *h.pirdashti@sanru.ac.ir*