نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۲، شماره ۳ ، پاییز ۱۳۹۳، ص. ۴۶۲-۴۵۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 12, No. 3, Fall. 2014, p. 454-462

تأثیر قارچ تریکودرما (*Trichoderma harzianum*) بر عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) در سطوح مختلف نیترات کادمیوم

فاطمه تقوی قاسمخیلی[۱]- همت‌اله پیردشتی[۲*]- محمدعلی تاجیک قنبری[۳]- محمدعلی بهمنیار[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی نقش قارچ تریکودرما در بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گندم (رقم N_{81}) در سطوح مختلف نیترات کادمیوم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای آزمایشی شامل قارچ *T. harzianum* در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد قارچ) و سطوح مختلف نیترات کادمیوم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که کاربرد تریکودرما باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک (۴۶ درصد) و عملکرد کاه (۳۰ درصد) گندم در مقایسه با تیمار عدم کاربرد قارچ شد. همچنین سطوح آلودگی به کادمیوم تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله و ضریب تسهیم داشت به‌طوری‌که به‌ترتیب باعث کاهش ۲۰، ۲۴ و ۳۸ درصدی این صفات نسبت به گیاهان شاهد شدند. همچنین بین کاربرد تریکودرما و کادمیوم از نظر صفات تعداد سنبله، وزن دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص تحمل برهمکنش معنی‌داری مشاهده شد. بر این اساس بیشترین عملکرد دانه (۴/۹۵ گرم در بوته) و شاخص تحمل (۱۵۳/۲۵ درصد) در حضور تریکودرما بدون آلودگی به کادمیوم بدست آمد که نسبت به عدم کاربرد تریکودرما به‌ترتیب از افزایش ۶۵ و ۵۳ درصدی برخوردار بودند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط آلودگی به کادمیوم استفاده از قارچ تریکودرما در بهبود رشد، عملکرد و افزایش شاخص تحمل گیاه گندم مؤثر بود.

واژه‌های کلیدی: زیست‌پالایی، شاخص تحمل، عملکرد

مقدمه

امروزه آلودگی خاک به انواع فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست‌محیطی عمده در جوامع بشری است که با اثرات زیان‌آور بر فون و فلور خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی، علاوه بر کاهش رشد و عملکرد گیاه با ورود به زنجیره غذایی، سلامت انسان و دیگر موجودات زنده را به مخاطره می‌اندازد (۶، ۹ و ۳۵). از جمله عناصر سنگینی که در نتیجه فعالیت‌های عمده شهری، صنعتی و کشاورزی تولید و باعث آلودگی مناطق وسیعی از جهان شده‌اند می‌توان به کادمیوم، کروم، مس، سرب، آرسنیک، نیکل و روی اشاره نمود (۸). در این میان کادمیوم از عناصری است که به‌راحتی از طریق فرآیندهای صنعتی، کودهای فسفره و آفت‌کش‌ها وارد خاک‌های کشاورزی می‌شود (۲۵ و ۳۰). غلظت بالای کادمیوم در خاک منجر به کاهش فرایند متابولیکی، فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه را به‌دنبال دارد (۳۱). از علائم عمومی سمیت کادمیوم در گیاه کلروزه شدن برگ‌ها، اختلال در تنفس و متابولیسم نیتروژن، کاهش جذب آب و عناصر معدنی است (۳۵). خاک به عنوان سریعترین، مناسبترین و مهمترین جاذب عناصر سنگین در محیط زیست به‌شمار می‌رود که دارای ظرفیت زیادی برای دریافت، تصفیه و تجزیه مجدد مواد زاید و آلاینده‌های مختلف می‌باشند (۱). لذا پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله کادمیوم امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (۶). زیست‌پالایی از جمله این روش‌ها می‌باشد که در سال‌های اخیر برای جذب عناصر سنگین بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از تنوع زیستی مانند گیاهان، جلبک‌ها، قارچ‌ها و باکتری‌ها در این رهیافت حائز اهمیت بسیاری است (۴۱). این

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری
۲- دانشیار گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
۳- استادیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استاد گروه علوم‌خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

میکروارگانیسم‌ها از طریق ایجاد پیوند فلزات با دیواره سلولی‌شان آن‌ها را غیرمتحرک می‌کنند (۱۴). با این وجود، انتخاب زیست‌توده به جهت فراوانی در محیط و کم‌هزینه بودن از اهمیت بالایی برخوردار است (۱۰). گونه‌های قارچ تریکودرما (*Trichoderma* spp.) تقریباً در همه خاک‌ها حضور دارند و متداول‌ترین قارچ‌های قابل کشت هستند. بنابراین به آسانی تکثیر شده و می‌توانند به عنوان یکی از منابع میکروارگانیسمی جذب‌کننده زیستی برخی فلزات استفاده شوند (۲۶، ۳۸، ۳۹ و ۴۰). همچنین در سال‌های اخیر مطالعه بیولوژی ریزوسفر از جمله میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی به منظور بهبود رشد گیاهان زراعی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۱۶ و ۱۹). به‌طوری‌که امروزه از قارچ تریکودرما در خاک به‌منظور کنترل بیولوژیک در برابر عوامل بیماریزای خاک‌زی، افزایش جذب عناصر غذایی (۲۳)، دفع مسمومیت و افزایش انتقال قند و اسید آمینه در ریشه گیاهان، ایجاد مقاومت القایی[1] در برابر تنش‌های محیطی و القای رشد گیاه استفاده می‌شود (۱۳). بنابر گزارش موجود تلقیح گیاه با تریکودرما می‌تواند شرایط را برای پالایش خاک‌هایی با آلودگی‌های متعدد فراهم آورد (۱۵، ۲۲ و ۳۸). از طرفی براساس برآوردها غلات تقریباً نصف کالری و قسمت زیادی از احتیاجات غذایی انسان را تأمین می‌نمایند، بنابراین نقش ویژه و مهمی را در الگوی مصرف هر کشور دارند (۵ و ۱۲). در این بین، گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود، و اهمیت اقتصادی آن چه از نظر تولید و چه از نظر تغذیه در دنیا بیش از سایر محصولات کشاورزی می‌باشد (۳). این محصول با داشتن رتبه اول تولید در بخش کشاورزی یکی از منابع اصلی تأمین انرژی به‌حساب می‌آید و در کشور ما نیز به‌لحاظ راهبردی مهمترین محصول زراعی کشور محسوب می‌گردد (۲). لذا با توجه به اهمیت و توانایی این میکروارگانیسم به‌عنوان عوامل زیستی برای کاهش جذب عناصر سنگین از خاک و افزایش رشد گیاه، هدف این پژوهش بررسی تأثیر قارچ تریکودرما بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گندم در کاربرد سطوح مختلف کادمیوم در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر قارچ تریکودرما در سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (رقم N_{81}) در پاییز سال ۱۳۸۹ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌صورت گلدانی انجام شد. فاکتورها شامل چهار سطح نیترات کادمیوم[2] (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و قارچ تریکودرما با دو سطح (حضور یا عدم حضور قارچ) بود. قارچ *T. harzianum* از مجموعه قارچ‌های زنده آزمایشگاه قارچ‌شناسی تهیه گردید. برای شروع آزمایش جهت تکثیر جدایه‌های مزبور ابتدا این جدایه‌ها در محیط کشت PDA[3] (عصاره سیب‌زمینی، دکستروز و آگار) به مدت یک هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تکثیر شد و پس از پنج روز اسپورزایی به محیط کشت سبوس گندم استریل شده (به مدت ۳۰ دقیقه، در حرارت ۱۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفردر اتوکلاو) منتقل گردید. خاک مورد استفاده قبل از انجام آزمایش با محلول ۵ درصد فرمالین ضدعفونی و به مدت ۱۰ روز هوادهی شد. سپس مقدار ۵۰ گرم از محیط کشت سبوس و اسپورهای قارچ تریکودرما (به تعداد 10^8 واحدکلونی‌ساز در هر گرم) به خاک هرگلدان ده کیلوگرمی (به ارتفاع ۳۰ با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر) افزوده و کاملاً با آن مخلوط گردید (۱۳). 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 بذرهای گندم رقم N_{81} کشت گردید. همچنین بر اساس نتایج تجزیه خاک به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت سرک در سه نوبت (کاشت، اوایل پنجه‌زنی و اوایل ساقه‌دهی) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و سوپر فسفات (در مرحله کاشت) استفاده شد. در طول دوره رشد، آبیاری جهت نگهداری رطوبت در حد ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه (۳۱/۶ درصد) با محلول نیترات کادمیوم به روش توزین انجام شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، صفات تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در هر سنبله، وزن دانه در تک سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد کاه و کلش، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت[4] (رابطه ۱)، شاخص تحمل[5] (۳۱) و ضریب تسهیم[6] (۲۴) (رابطه ۲ و ۳) اندازه‌گیری و محاسبه شدند.

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

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

$$\text{ضریب تسهیم (PC)} = \frac{\text{وزن خشک سنبله}}{\text{وزن خشک کل}} \quad (۳)$$

آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگروف– اسمیرنوف (۱۱) با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفت (جدول ۲). برای تجزیه واریانس استاندارد داده‌ها از نرم افزار SAS (۷) و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد.

1- Induced Resistance
2- $CdN_2O_6.4H_2O$, Scharlau, Spain
3- Potato Dextrose Agar
4- Harvest Index
5- Tolerance Index
6- Coefficient Partitioning

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

خصوصیات	واحد	مقدار
هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۲/۴۸
ماده آلی	٪	۱/۳۰
نیتروژن	٪	۰/۰۷
اسیدیته (pH)	--	۷/۶۵
پتاسیم	قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۱۳۰/۰
فسفر	قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۵/۹
ظرفیت تبادل کاتیونی	$cmol\ kg^{-1}$	۲۴/۳
شن	٪	۹/۶
رس	٪	۴۷/۴
سیلت	٪	۴۳/۰
بافت خاک	--	رسی – سیلتی

جدول ۲- آزمون نرمال بودن صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد با استفاده از آزمون کولموگروف ـ اسمیرنوف

صفات	آماره	معنی‌داری
تعداد سنبله در بوته	۱/۲۹	۰/۰۷
تعداد دانه در سنبله	۰/۵۸	۰/۸۸
وزن دانه در سنبله	۰/۴۷	۰/۹۷
وزن هزار دانه	۰/۶۶	۰/۷۷
عملکرد دانه	۱/۱۳	۰/۱۵
عملکرد بیولوژیک	۰/۵۴	۰/۹۲
عملکرد کاه	۰/۵۱	۰/۹۵
شاخص برداشت	۰/۶۰	۰/۸۶
شاخص تحمل	۱/۱۹	۰/۱۱
ضریب تسهیم	۰/۶۲	۰/۸۳

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تأثیر کاربرد قارچ تریکودرما بر عملکرد بیولوژیک گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود اما کاربرد کادمیوم در سطوح مختلف نتوانسته تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشته باشد. همچنین اثر متقابل کاربرد قارچ تریکودرما و کادمیوم از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) حضور قارچ تریکودرما عملکرد بیولوژیک گندم (با میانگین ۷/۴۱) را نسبت به عدم حضور تریکودرما حدود ۴۷ درصد افزایش داد. در این راستا ژورژیوا و همکاران (۲۸) گزارش کردند که حساسیت گیاه به کادمیوم بستگی به گونه گیاهی، میزان آلودگی و توانایی تحمل بافت گیاهی در برابر کادمیوم دارد. همچنین در مطالعه‌ای نشان داده شد که کاربرد گونه‌های تریکودرما با افزایش جذب عناصر غذایی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و بهبود رشد گیاه می‌شود (۳۴).

عملکرد دانه

در این آزمایش اثر متقابل کاربرد قارچ تریکودرما و کادمیوم دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بود (جدول ۳). به‌طوری که بهترین تیمار از لحاظ صفت عملکرد دانه در حضور تریکودرما بدون آلودگی به کادمیوم بدست آمده است که نسبت به عدم حضور تریکودرما از افزایش ۶۵ درصدی برخوردار بود. اما با افزایش میزان آلودگی کادمیوم، عملکرد دانه سیر نزولی داشت (شکل ۱). یکی از دلایل بهبود رشد و عملکرد گیاه در حضور *T. harzianum* افزایش سطح ریشه و بهبود جذب عناصر معدنی قابل دسترس گیاه به‌ویژه در محدودیت مواد معدنی محیط خاک گزارش شده است (۱۸).

جدول ۳- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

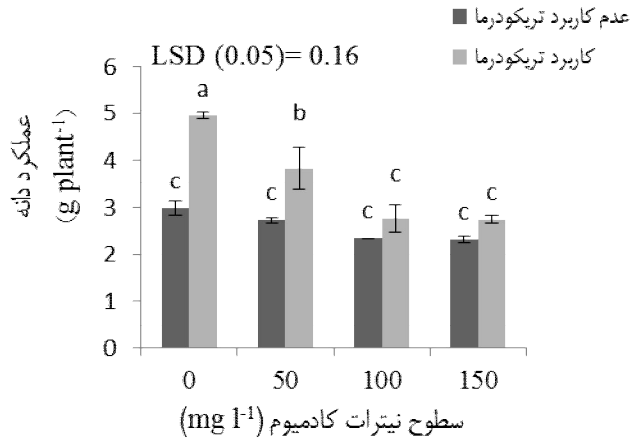
منبع تغییرات (S.O.V)	تریکودرما (A)	نیترات کادمیوم (B)	A×B	خطای آزمایش	ضریب تغییرات (درصد)
درجه آزادی (df)	۱	۳	۳	۱۶	--
عملکرد بیولوژیک	۳۳/۱۵۸**	۳/۴۳۰^{ns}	۳/۳۲۵^{ns}	۱/۷۸۸	۲۱/۴۲
عملکرد دانه	۴/۵۳۱**	۲/۴۵۰**	۰/۷۱۵*	۰/۱۴۴	۱۲/۰۳
عملکرد کاه	۱۰/۱۹*	۱/۰۱^{ns}	۱/۳۲^{ns}	۱/۶۸۳	۲۶/۳۲
شاخص برداشت	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۰۸۴*	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۱۸	۲۵/۴۶
شاخص تحمل	۳۸۰۷/۵۰**	۲۷۳۹/۵۷**	۴۹۸/۸۹**	۱۳۰/۳۲	۱۱/۵۵
تعداد سنبله در بوته	۱/۰۴۱^{ns}	۰/۴۸۶^{ns}	۱/۲۶۳**	۰/۸۹۸	۲۳/۵۶
تعداد دانه در سنبله	۸۸/۷۵*	۷۶/۶۶*	۱۳/۰۹^{ns}	۱۷/۴۳	۱۵/۳۴
وزن دانه در سنبله	۰/۱۴۷^{ns}	۰/۰۵۵^{ns}	۰/۳۳۰**	۰/۰۵۴	۲۱/۹۳
وزن هزار دانه	۱۱۴/۰۱*	۵۱/۳۳^{ns}	۱۲/۹۱^{ns}	۱۸/۵۱	۱۰/۵۷
ضریب تسهیم	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۱۵۲**	۰/۰۲۹^{ns}	۰/۰۰۹	۱۵/۲۱

* و **- به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد ns: عدم‌معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات ساده کاربرد قارچ تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر عملکرد گندم

تیمار	عملکرد بیولوژیک	عملکرد کاه	شاخص برداشت
	(g plant^{-1})		(درصد)
تریکودرما			
عدم حضور	۵/۰۶^{b}	۴/۲۵^{b}	۰/۵۸
حضور	۷/۴۱^{a}	۵/۵۴^{a}	۰/۴۸
LSD (٪۵)	۱/۱۵	۱/۱۵	۰/۱۲
سطوح نیترات کادمیوم (mg l^{-1})			
صفر	۶/۹۵	۴/۸۰	۰/۵۵^{ab}
۵۰	۵/۱۷	۴/۴۶	۰/۶۱^{a}
۱۰۰	۶/۴۹	۵/۲۳	۰/۳۸^{c}
۱۵۰	۶/۳۴	۵/۳۵	۰/۴۴^{bc}
LSD (٪۵)	۱/۶۳	۲/۲۵	۰/۱۰

در هر ستون و هر تیمار میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند.



شکل ۱- اثر متقابل کاربرد تریکودرما و نیترات کادمیوم بر عملکرد دانه گندم

کوئه‌واس (۲۳) نیز بهبود جذب عناصر کم‌مصرف، گلدهی زودتر و عملکرد بیشتر گوجه‌فرنگی (*Lycopersicum esculentum*) و برنج (*Oryza sativa*) را در تیمار کاربرد قارچ *T. pseudokonigi* گزارش نمودند. در همین زمینه خان و همکاران (۳۱) گزارش دادند که با افزایش غلظت کادمیوم (از صفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک عملکرد دانه گندم کاهش یافت. همچنین افزایش غلظت کادمیوم به‌طورمعنی‌داری عملکرد دانه گیاه ماش (*Vigna radiata*) را کاهش داد (۲۹).

عملکرد کاه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر ساده کاربرد قارچ تریکودرما بر عملکرد کاه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. با بررسی مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد تریکودرما (جدول ۴) مشخص شد که بالاترین میزان عملکرد کاه مربوط به تیمار حضور تریکودرما بود که از لحاظ آماری با تیمار عدم حضور تفاوت معنی‌داری را نشان داد به‌طوری که حضور تریکودرما، عملکرد کاه را ۳۰ درصد افزایش داد. در همین زمینه عملکرد گیاهانی همچون خیار (*Cucumis sativus*)، توت‌فرنگی (*Fragaria* sp.)، فلفل (*Capsicum annuum*) و پنبه (*Gossypium barbadense*) با کاربرد تریکودرما گونه *T. harzianum* به‌طور قابل توجهی افزایش یافت (۱۸).

شاخص برداشت

شاخص برداشت معیاری برای تعیین قابلیت تولید می‌باشد که تا حدی قابل توارث است (۴). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تأثیر آلودگی به کادمیوم بر این شاخص در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بر اساس یافته‌ها بالاترین شاخص برداشت در تیمار شاهد مشاهده شد که با تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر

آلودگی به کادمیوم از لحاظ آماری در یک گروه قرار داشت و تیمارهای آلودگی ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم از کمترین میزان شاخص برداشت (به‌ترتیب ۳۷ و ۲۷ درصد کاهش نسبت به شاهد) برخوردار بودند (جدول ۴). در همین زمینه ژورژیوا و همکاران (۲۸) اظهار داشتند که افزایش سطح آلودگی به کادمیوم باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان نخود، فلفل و تربچه گردید. همچنین در بررسی دیگر در گیاه گوجه‌فرنگی نشان داده شده که در غلظت پایین کادمیوم (۱۰ میکروگرم)، زیست‌توده گیاه افزایش یافت اما با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، کاهش در زیست‌توده مشاهده شد که این کاهش در غلظت‌های بالا (۲۰ تا ۴۰ میکروگرم) بیشتر بود (۳۶).

شاخص تحمل

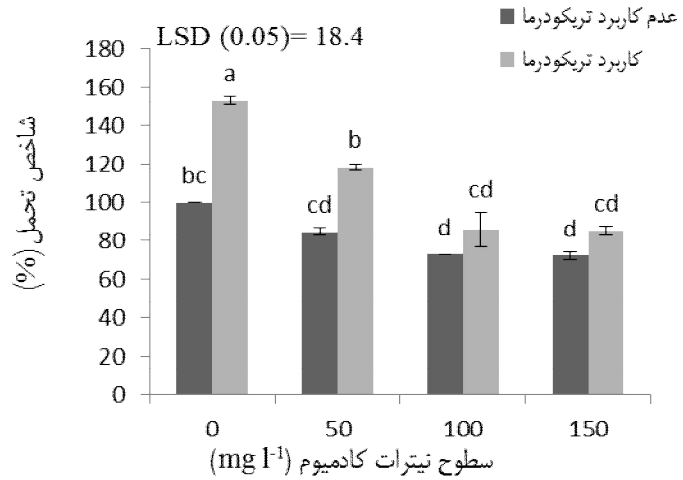
نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) بیانگر معنی‌داری اثرات ساده و متقابل تریکودرما و آلودگی به کادمیوم بر شاخص تحمل بود. بر اساس مقایسه میانگین بالاترین شاخص تحمل مربوط به تیمار حضور تریکودرما و عدم آلودگی به کادمیوم در محیط است که نسبت به تیمار عدم حضور تریکودرما از افزایش ۵۳ درصدی برخوردار بود. به‌طور کلی در تمامی تیمارهای آلودگی به کادمیوم حضور تریکودرما توانسته نسبت به عدم حضور آن شاخص تحمل را در گیاه افزایش دهد اما با افزایش غلظت کادمیوم در محیط چه در حضور تریکودرما و چه در عدم حضور آن شاخص تحمل به‌ترتیب نسبت به شاهد ۴۴ و ۲۷ درصد کاهش یافت (شکل ۲). مطالعات انجام شده در این زمینه نشان داد که کاربرد تریکودرما به‌دلیل بهبود رشد ریشه، ظرفیت نگهداری آب یا افزایش جذب مواد غذایی (۳۳)، توانایی تولید متابولیت‌هایی با فعالیت مشابه هورمون‌های گیاهی (۳۴)، باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی و غیرزنده در طی رشد می‌شود. مستوری و همکاران (۳۳) در مطالعات خود گزارش کرده‌اند بیان ژن‌هایی که در افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های غیرزنده دخیل هستند در گیاهانی که با گونه‌های قارچ تریکوردرما تیمار شده‌اند بیشتر بوده که خود دلیل بر افزایش مقاومت این گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است.

تعداد سنبله در بوته

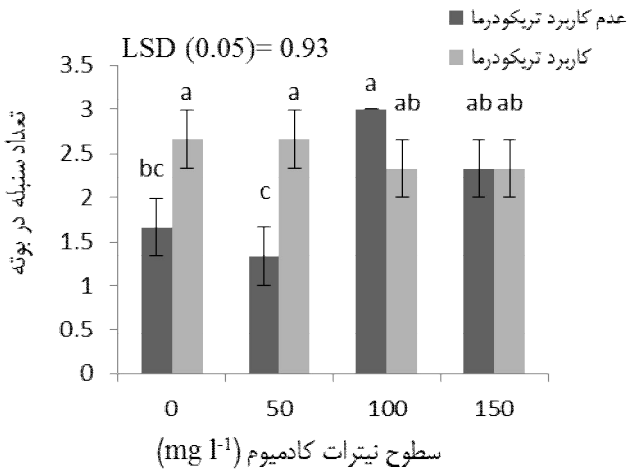
نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر ساده کاربرد تریکودرما و سطوح آلودگی به کادمیوم از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بر تعداد سنبله در بوته نداشت درحالی که برهمکنش بین حضور تریکودرما و آلودگی به کادمیوم معنی‌دار بود. در این پژوهش تعداد سنبله در بوته از ۱ تا ۳ عدد متغیر بود. بر اساس مقایسه میانگین در سطح صفر و ۵۰میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم، کاربرد تریکودرما موجب افزایش معنی‌دار (به‌ترتیب ۶۰ و ۱۰۰ درصد) تعداد سنبله در بوته نسبت به عدم کاربرد قارچ شد اما در سطوح بالاتر (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) کاربرد تریکودرما نتوانست به‌طورمعنی‌داری تعداد سنبله در بوته را افزایش دهد (شکل ۳).

تعداد دانه در هر سنبله

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که تأثیر کاربرد قارچ تریکودرما و آلودگی به کادمیوم بر تعداد دانه در هر سنبله در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۵) کاربرد قارچ تریکودرما تعداد دانه در سنبله را حدود ۱۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد.



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



شکل ۳- اثر متقابل کاربرد تریکودرما و نیترات کادمیوم بر تعداد سنبله در بوته گندم

در این آزمایش با افزایش میزان آلودگی به کادمیوم، تعداد دانه در هر سنبله روند کاهشی داشت به‌طوریکه کمترین تعداد دانه در هر سنبله در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر آلودگی به کادمیوم (با افت ۲۴ درصدی نسبت به شاهد) مشاهده شد. در این راستا چاندراشیکیر و همکاران (۲۱) بیان داشتند که غلظت‌های بالای کادمیوم باعث کاهش پارامترهای رشدی و کاهش تعداد و وزن میوه در گوجه‌فرنگی شد. همچنین افزایش غلظت کادمیوم به‌طور معنی‌داری تعداد دانه در غلاف و بوته گیاه ماش را کاهش داد (۲۹). کورتیکا و همکاران (۳۲) نیز دلیل کاهش پارامترهای رشد گیاه تحت آلودگی به کادمیوم را اختلال در جذب، تجمع و توزیع عناصر ضروری همچون کلسیم و پتاسیم می‌دانند که در تنظیم رشد گیاه نقش اصلی را دارد.

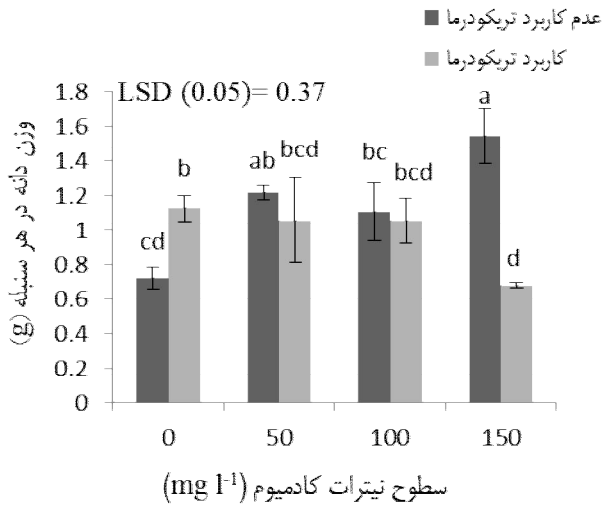
وزن دانه در هر سنبله

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که تأثیر قارچ تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر وزن دانه در هر سنبله تأثیر معنی‌داری نداشت در حالی‌که اثرات متقابل تریکودرما و آلودگی به کادمیوم تأثیر کاملاً معنی‌داری بر وزن دانه در هر سنبله داشت. با توجه به شکل ۴، در سطح صفر نیترات کادمیوم، حضور تریکودرما باعث افزایش حدود ۵۷ درصدی وزن دانه در هر سنبله شد اما در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، حضور تریکودرما موجب کاهش وزن دانه (به‌ترتیب ۱۳، ۴ و ۵۶ درصد) نسبت به عدم حضور تریکودرما شد. البته این کاهش فقط در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم معنی‌دار بود.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده کاربرد قارچ تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر عملکرد گندم

تیمار	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (g)	ضریب تسهیم
تریکودرما			
عدم حضور	۲۵/۶۳^{a}	۴۲/۸۸^{a}	۰/۶۳^{a}
حضور	۲۸/۵۲^{a}	۳۸/۵۲^{b}	۰/۶۷^{a}
LSD (٪۵)	۳/۸۳	۳/۷۲	۰/۰۸
سطوح نیترات کادمیوم (mg lit^{-1})			
صفر	۲۸/۳۰^{a}	۴۴/۸۱^{a}	۰/۷۸^{a}
۵۰	۳۱/۵۵^{a}	۴۰/۳۸^{ab}	۰/۷۹^{a}
۱۰۰	۲۶/۶۰^{ab}	۳۷/۹۳^{b}	۰/۵۵^{b}
۱۵۰	۲۱/۴۷^{b}	۳۹/۶۸^{ab}	۰/۴۸^{b}
LSD (٪۵)	۷/۲۹	۵/۲۶	۰/۱۲

در هر ستون و هر تیمار میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند.



شکل ٤- اثر متقابل کاربرد تریکودرما و نیترات کادمیوم بر وزن دانه در هر سنبله در گندم

معمولاً تخصیص ماده خشک به مخزن (دانه) طی مرحله پرشدن دانه، تحت تأثیر تنش‌های زنده و غیرزنده قرار می‌گیرد (۱۷) همچنین بیژن‌زاده و امام (۲۰) بیان داشته‌اند که طی این مرحله، تغییر نسبت بین منبع و مخزن می‌تواند باعث کاهش تعداد دانه در سنبله و در نهایت افزایش وزن دانه شود. بنابراین با توجه به‌اینکه با افزایش غلظت کادمیوم تعداد دانه در هر سنبله کاهش یافت (جدول ۵) وزن دانه به نسبت تعداد دانه کمتر در هر سنبله افزایشمی‌یابد.

وزن هزار دانه

در این آزمایش کاربرد آب آلوده به کادمیوم در گندم تفاوت معنی‌داری را از لحاظ آماری بر وزن هزار دانه نشان نداد اما تأثیر حضور قارچ تریکودرما بر این صفت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس یافته‌ها، اگرچه وزن هزار دانه گندم در حضور قارچ تریکودرما نسبت به عدم حضور آن از ۱۰ درصد کاهش برخوردار بود اما این کاهش به نوبه خود به افزایش تعداد دانه در سنبله برمی‌گردد (جدول ۶) و افزایش عملکرد بوته (شکل ۱) نیز این مسئله را تأیید می‌کند. در این حالت به‌دلیل تسهیم مواد غذایی بین تعداد دانه بیشتر، وزن هزار دانه کاهش یافت. کاهش وزن هزار دانه در گیاه را می‌توان به واسطه‌ی نقش منفی کادمیوم در جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها به سلول‌های گیاه دانست که سبب کاهش رشد و فتوسنتز گیاه شده است (۳۲). در نتیجه در مرحله‌ی پرشدن دانه، کاهش انتقال شیره‌ی پرورده به دانه‌ها موجب تولید دانه‌های کوچک با وزن کمتری شده که خود کاهش وزن هزار دانه را به‌دنبال دارد (۳۰ و ۳۷).

ضریب تسهیم

ضریب تسهیم، نسبت بین وزن خشک سنبله به وزن خشک کل است که نشان دهنده اختصاص ماده غذایی به سنبله طی مرحله پر شدن دانه می‌باشد (۲۴). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) حاکی از عدم وجود تأثیر معنی‌دار کاربرد قارچ تریکودرما و نیز اثر متقابل بین کاربرد قارچ و سطوح کادمیوم بر این صفت است.

با توجه به جدول ۵ بالاترین میزان ضریب تسهیم در تیمارهای شاهد و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آلودگی کادمیوم مشاهده شد. اما با افزایش سطح نیترات کادمیوم، میزان ضریب تسهیم در گیاه نسبت به شاهد به میزان ۳۸ درصد کاهش یافت. وزن و تعداد دانه بستگی به تسهیم مواد غذایی طی مرحله پرشدن دانه دارد و تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرند (۲۷ و ۳۷). 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 (۳۰). بنابراین افزایش سطح کادمیوم توانسته باعث کاهش ضریب تسهیم و اختصاص مواد غذایی به سنبله شود و افزایش عملکرد بیولوژیک (جدول ۴) این مسئله را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، افزایش غلظت کادمیوم در محیط موجب کاهش قابل ملاحظه رشد و مؤلفه‌های رشدی نظیر ضریب تسهیم و در نهایت کاهش عملکرد گیاه گردید. با این وجود، استفاده از قارچ تریکودرما به‌طور مستقیم و غیرمستقیم افزایش رشد و عملکرد گندم را در پی داشت که می‌تواند ضمن بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد در افزایش مقاومت گیاه گندم تحت آلودگی به کادمیوم مؤثر باشد.

منابع

۱- آقابراتی، ا.، م. حسینی، ع. اسماعیلی، ن. بهرامی فر و ح. مارالیان. ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد فاضلاب شهری بر تجمع عناصر سنگین (کروم و نیکل) در درخت زیتون (*Olea europaea* L.) و خاک. فصلنامهٔ علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۶(۲): ۳۱۳-۳۰۴.

۲- اعتصامی، ح.، ح. ع. علیخوانی و ن. صالح راستین. ۱۳۸۶. ارزیابی گلخانه‌ای اثرات کاربرد سویه‌های ریزوبیومی برتر مولد IAA و تأثیر تیمارهای نقره و تریپتوفان بر شاخص‌های رشد گیاه گندم. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی ۷۴: ۲۴-۱۶.

۳- امام، ی. ۱۳۸۳. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شیراز.

۴- امام، ی. و م. ج. ثقه الاسلامی. ۱۳۸۴. عملکرد گیاهان زراعی، فیزیولوژی و فرآیندها. (تألیف د.ل. اسمیت و سی. همل). انتشارات جهاد دانشگاهی شیراز.

۵- ایران‌پور، ح. و ن. شهبازیان. ۱۳۸۴. زراعت غلات. انتشارات کارنو.

۶- خسروی، ف.، غ. ر. ثواقبی فیروز آبادی و ح. فرحبخش. ۱۳۸۸. اثر کلرید پتاسیم بر جذب کادمیوم توسط کلزا و آفتابگردان در یک خاک آلوده. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۳(۳): ۳۵-۲۸.

۷- سلطانی، ا. ۱۳۸۷. کاربرد نرم افزار SAS در تجزیه‌های آماری. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۸- شریعت، آ. و م. ح. عصاره. ۱۳۸۵. تأثیر سطوح مختلف عناصر سنگین بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در سه گونه اکالیپتوس. فصلنامهٔ پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران ۱۴(۱): ۴۶-۳۸.

۹- صابری، م.، ع.طویلی، م. جعفری و م. حیدری. ۱۳۸۹. تأثیر سطوح مختلف عناصر سنگین بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های *Atriplex lentiformis*. مجله علمی پژوهشی مرتع ۴(۱): ۱۲۰-۱۱۲.

۱۰- کشتکار، ع. ر.، م. م. منتظر رحمتی و ن. خداپناه. ۱۳۸۸. کاربرد ایزوترم های جذب دو و س هپارامتری در جذب زیستی اورانیم توسط مخمرنان. مجله علوم و فنون هسته ای ۵۰: ۸-۱.

۱۱- نصیری، و. ۱۳۸۷. آمار کاربردی با کامپیوتر – رویکرد ناپارامتری-. انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران.

۱۲- نورمحمدی، ق.، س. ع. سیادت و ع. کاشانی. ۱۳۸۷. زراعت غلات. دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۳- یزدانی، م.، ه. پیردشتی، م. ع. تاجیک و م. ع. بهمنیار. ۱۳۸۷. تأثیر تریکودرما (*Trichoderma* spp.) و انواع مختلف کودهای آلی بر رشد و نمو سویا [*Glycine max* (L). Merril]. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۱(۳): ۸۲-۶۵.

14- 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.

15- Anand, P., J. Isar, S. Saran, and R. K. Saxena. 2006. Bioaccumulation of copper by *Trichoderma viride*. Bioresource Technology, 97: 1018-1025.

16- Avis, T. J., V. Grave, H. Antoun, and J. Russe Tweddell. 2008. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. Soil Biology and Biochemistry, 40: 1733-1740.

17- Behtashi, A. R., and B. Behboodi Fard. 2010. Dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* L. Moench) under drought stress. Australian Journal of Crop Science, 4(3): 185-189.

18- Bal, U., and S. Altintas. 2008. Effect of *Trichoderma harzianum* on lettuce in protected cultivation. Journal of Central European Agriculture, 9(1): 63-70.

19- 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. Biological Control, 44: 349–361.

20- Bijanzade, E., and Y. Emam. 2010. Effect of defoliation and drought stress on yield components and chlorophyll content of wheat. Pakistan Journal of Biological Sciences, 13(14): 699-705.

21- Chandra Shekar, Ch., D. Sammaiah, M. Rambabu, and K. Jaganmoha Reddy. 2011. Effect of cadmium on tomato growth and yield attributes. Journal of Microbiology and Biotechnology Research, 1(3): 109-112.

22- Coa, 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. var. *foliosa Bailey*] in Cd, Ni contaminated soils. Chemosphere, 71: 1769-1773.

23- Cuevas, C. 2006. Soil inoculation with *Trichoderma pseudokoningii* rifai enhances yield of rice. Philippine Journal of Science, 135(1): 31-37.

24- 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 Research, 96: 336–347.

25- Dong, J., F. B. Wu, and G. P. Zhang. 2005. Effect of cadmium on growth and photosynthesis of tomato seedlings.

Journal of Zhejiang University Science, 6(10): 974-980.
26- Estudio, Y., and A. Gestion. 2010. *Trichoderma* spp. and its potential in soil bioremediation. European Commision Publish.
27- Gambin, B. L., and L. Borras. 2007. Plasticity of sorghum kernel weight to increase assimilates availability. Field Crops Research, 100: 272–284.
28- Georgieva, V., Ch. 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. Journal of Plant Physiology, 23(1–2): 12–23.
29- Ghani, A. 2010. Effect of cadmium toxicity on the growth and yield components of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. World Applied Sciences Journal, 8: 26-29.
30- 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 Journal of Experimental Biology, 45: 385-389.
31- Khan, N. A., I. Ahmad, S. Singh, and R. Nazar. 2006. Variation in growth, photosynthesis and yield of five wheat cultivars exposed to cadmium stress. World Journal of Agricultural Sciences, 2(2): 223-226.
32- 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. Polish Journal of Environtal Studies, 17(1): 51-56.
33- 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. Biological control, 11: 1213-1221.
34- 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. The Journal of Animal and Plant Sciences, 21(3): 617-621.
35- 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 Biological Cracoviensla Series Botanical, 50(2): 95–103.
36- Rehman, F., F. A. Khan, D. Varshney, F. Naushin, and J. Rastogi. 2011. Effect of cadmium on the growth of tomato. Journal of Biology and Medicine, 3(2): 187-190.
37- 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 Research, 120: 360–369.
38- 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. Polish Journal of Microbiology, 59(1): 37-44.
39- Vankar, P. S., and D. Bajpai. 2008. Phyto-remediation of chrome-VI of tannery effluent by Trichoderma species. Desalination, 222: 255-262.
40- Wang, M., and Q. Zhou. 2005. Single and joint toxicity of chlorimuron-ethyl, cadmium, and copper acting on wheat *Triticum aestivum*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60: 169–175.
41- Zafar, S., F. Aqil, and E. Ahmad. 2007. Metal tolerance and biosorption potential of filamentous fungi isolated from metal contaminated agricultural soil. Bioresource Technology, 98: 2557-2561.