تأثیر فعالیت کرم ورمی‌کمپوست *Eisenia foetida* و بقایای آلی مختلف بر برخی خواص شیمیایی خاک و شاخص‌های رشد گیاه ذرت

میرحسن رسولی صدقیانی*، سارا اجلالی و ساناز اشرفی سعیدلو[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۶)

چکیده

کرم‌های خاکی به‌دلیل نقش اساسی در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، مهم‌ترین جزء فون خاک محسوب می‌شوند. به‌منظور بررسی تأثیر کرم‌های خاکی بر برخی از خواص شیمیایی خاک و شاخص‌های رشد گیاه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای به‌مدت ۱۴۰ روز اجرا گردید. فاکتور اول شامل حضور یا عدم حضور کرم‌های خاکی (*Eisenia foetida*)، فاکتور دوم مواد آلی مختلف شامل شاهد (بدون مواد آلی)، کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور، کاه وکلش گندم، ضایعات عرقیات گیاهی و هرس درختان سیب و انگور و فاکتور سوم شامل حضور یا عدم حضور گیاه ذرت (برای بررسی خواص منطقه ریزوسفر) بود. در پایان دوره رشد، برخی خصوصیات شیمیایی خاک شامل مقادیر نیتروژن کل، کربن آلی، آمونیوم و نیترات و شاخص‌های رشد گیاه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که کاربرد موادآلی و کرم‌خاکی تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات شیمیایی اندازه‌گیری شده داشت. کمپوست ضایعات هرس (PWC) در مقایسه با سایر بقایای آلی بیشترین تأثیر را در مقدار آمونیوم و نیترات داشت، به‌طوری که میزان این عناصر را به‌ترتیب ۱/۷ و ۳/۳ برابر در مقایسه با تیمار بدون مواد آلی (شاهد) افزایش داد. همچنین در تیمار کمپوست ضایعات هرس (PWC)، مقدار کربن آلی در خاک ریزوسفر نسبت به‌غیر ریزوسفر از ۰/۹ به ۱/۳۲ درصد افزایش نشان داد. حضور کرم‌های خاکی شاخص‌های رشد گیاه از جمله اندام هوایی و وزن خشک ریشه گیاه را به‌ترتیب ۳۴ و ۳۰ درصد نسبت به‌شرایط بدون کرم‌های خاکی افزایش داد. مقادیر آمونیوم و نیترات خاک در شرایط حضور کرم خاکی به‌ترتیب ۳۲ و ۴۹ درصد افزایش نشان داد. به‌طور کلی استفاده از مواد آلی مختلف با تلقیح کرم‌خاکی نتایج مطلوب‌تری نسبت به شرایط عدم حضور کرم خاکی به‌همراه داشت.

کلمات کلیدی: کرم ورمی‌کمپوست، مواد آلی، نیتروژن خاک، شاخص‌های رشد

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

مقدمه

بی‌مهرگان خاکزی از قبیل کرم‌خاکی نقش برجسته و مهمی در فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در انواع اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی و درنتیجه رشد گیاه ایفا می‌کنند (۹). کرم‌های‌خاکی قادرند به‌طور مستقیم (از طریق شبکه غذایی) و یا به‌طور غیرمستقیم (از طریق اثر بر ساختمان خاک) بر چرخه عناصر غذایی و دینامیک مواد آلی و در نتیجه حاصلخیزی خاک تأثیر بگذارند. کرم‌های‌خاکی مواد آلی را مصرف و تا حدودی هضم می‌کنند و به‌طور مستقیم فعالیت میکروبی را تحریک می‌کنند و همچنین از طریق ایجاد ساختمان اسفنجی، شرایط بهتری را برای تجزیه هوازی ایجاد می‌نمایند. جابه‌جایی قسمتی از مواد آلی داخل خاکدانه‌های پایدار می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای دینامیک مواد آلی را تحت تأثیر قرار دهد (۲۰). حضور کرم‌های خاکی شدیداً حاصلخیزی خاک، زندگی و فعالیت ریزجانداران فعال و همچنین فعالیت آنزیم‌های خاک را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد (۱۷). بین فراوانی کرم خاکی و مقدار کربن آلی خاک در سیستم‌های مدیریت کشاورزی همبستگی بسیار نزدیک وجود دارد، به‌طوری که منبع کربن آلی خاک نقش مهمی در فراوانی و فعالیت کرم خاکی ایفا می‌کند (۳۶). در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، مواد آلی یک فاکتور محدود کننده مهم در فعالیت و تکثیر کرم‌های خاکی به‌شمار می‌آید (۴). به‌طوری که فعالیت میکروبی و فرآیندهای بیوشیمیایی خاک اغلب در این مناطق، به‌دلیل پایین بودن سطح ماده آلی که منبع غذا و انرژی برای ریزجانداران و کرم‌های خاکی است، با محدودیت روبروست (۲۹). مدیریت صحیح بقایای گیاهی باعث افزایش کربن آلی خاک، افزایش پایداری خاکدانه‌ها، افزایش زیست فراهمی عناصرغذایی و در نتیجه تشدید فعالیت‌های زیستی خاک می‌شود (۲۴ و ۲۸). همچنین مصرف مواد آلی دراین خاک‌ها باعث حفظ و ازدیاد کرم‌های خاکی می‌شود.کرم‌های خاکی با تجزیه مواد اولیه و خام بستر، موادی با نسبت C/N پایین تولید می‌کنند. این نسبت با سوختن کربن در هنگام تنفس و اضافه کردن نیتروژن در هنگام دفع به‌دست می‌آید و احتمالاً در غلظت‌هایی که قابل جذب برای میکروب‌ها است، تشکیل می‌شود. این فعالیت‌ها، باعث افزایش رشد میکروبی و در نتیجه افزایش فرآیند تجزیه می‌گردد. با این‌گونه فعالیت‌ها، کرم‌های خاکی نسبت C/N را کاهش داده و باعث فراهمی نیتروژن کافی برای گیاهان می‌شوند که این نیز به‌تدریج باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌گردد. کرم‌های خاکی نیتروژن آلی را جذب نموده و تقریباً به‌همان مقدار نیتروژن را به فرم آمونیوم و ترشحات موکوپروتئینی دفع می‌کنند (۲۶). لیندکویست (۲۲) نشان داد که کرم‌های خاکی موجب افزایش فرآوری و تولید نیترات از طریق تحریک فعالیت باکتریایی و نیز تجزیه اندام‌های کرم می‌شوند. فرآیند معدنی‌شدن نیتروژن در حضور کرم‌های‌خاکی به‌مراتب بیشتر صورت می‌پذیرد و این نیتروژن معدنی که به فرم NO_3 حاصل می‌گردد، تحت شرایط بهینه توسط کرم *E. foetida* ایجاد می‌گردد. اثرات مفید فعالیت کرم خاکی بر رشد گیاهان، به‌خصوص گیاهان مرتعی (۱۳ و ۳۵) و در سیستم‌های تولید گیاهان زراعی (۱۳ و ۱۴) مورد تأیید عمومی است. فعالیت کرم خاکی می‌تواند رشد محصول را از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و اختلاط مطلوب آن، افزایش دهد. مطالعات نشان دادند بیومس گیاهی در حضور کرم‌های خاکی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (۳۱). برخی اسیدهای آلی که از بدن کرم دفع می‌شوند و در فضولات کرم موجودند، به‌عنوان مواد تحریک کننده رشد گیاه عمل می‌کنند به‌طوری که نتایج مثبتی در درصد جوانه‌زنی بذر، ریشه‌دار شدن اندام قطع شده و استحکام نسوج گیاهان کاشته شده دارند (۱۹). افزایش رشد به‌کمک کرم‌های خاکی معمولاً به اصلاح شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک نسبت داده می‌شود. مطالعات نشان دادند که اضافه‌کردن کرم‌های خاکی به خاک‌هایی که فاقد کرم می‌باشند در رشد گیاه، کیفیت و عملکرد محصول مفید است (۳۳ و ۳۴). در حدود ۷۲ درصد وزن خشک کرم را پروتئین تشکیل می‌دهد و نشان داده شده است که بدن یک کرم خاکی مرده می‌تواند عملکردی به‌اندازه ۱۰ میلی‌گرم نیتروژن به

فرم نیتراتی داشته باشد. بعضی از اثرات کرم‌های خاکی به‌زمان زیادی نیاز دارند تا تأثیر آنها بر رشد گیاه قابل مشاهده باشد. وقتی‌که خاک با کرم‌های خاکی تلقیح می‌شود افزایش زیادی در عملکرد علوفه و شبدرها حاصل می‌شود بدین‌ترتیب که مواد شیمیایی مفیدی از بدن کرم‌های خاکی رها می‌شود که سریعاً مورد استفاده گیاه قرار گرفته و عملکرد محصولات را افزایش می‌دهد. کرم‌های خاکی به‌واسطه کارکرد بیولوژیک خود با عمل در ناحیه توسعه ریشه، باعث بهبود جریان گردش آب، هوا و جذب عناصر غذایی می‌شوند. کرم‌های خاکی می‌توانند یکی از نیروهای محرکه برای ادامهٔ فعالیت میکروبی خاک و درنتیجه افزایش کیفیت بیولوژیکی، فیزیکی وشیمیایی خاک باشند (۱۰). بنابراین با شناخت عوامل مؤثر بر رشد و پویائی جمعیت کرم‌های خاکی و بهره‌گیری صحیح از ظرفیت آنها در بهبود شرایط محیط رشد گیاه می‌توان در جهت افزایش حاصلخیزی خاک و همچنین کیفیت و سلامت خاک گام‌های مؤثری برداشت. هدف از این مطالعه، بررسی کاربرد همزمان مواد آلی و کرم‌های خاکی نوع اپیژئیک بر خواص شیمیایی خاک و نیز بررسی تأثیر حضور کرم‌های خاکی بر رشد گیاهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی ۳ فاکتوری، با ۲۰ تیمار و ۳ تکرار، که فاکتور اول شامل حضور (EW+) یا عدم حضور (EW-) کرم‌خاکی و فاکتور دوم انواع مختلف موادآلی شامل شاهد یا بدون مواد آلی (Cont)، کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور (PWC)، ضایعات عرقیات گیاهی (HE)، هرس درختان سیب و انگور (PW) وکاه وکلش گندم (WS) و فاکتور سوم با کشت (P+) یا بدون کشت (P-) گیاه ذرت بود، در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه اجرا گردید. نمونهٔ خاک به دو بخش تقسیم شد، یک بخش برای انجام آزمایشات شیمیایی از الک ۲ میلی‌متری و بخش دوم از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شد و پس از مخلوط کردن تمام خاک‌های الک شده، ۴ کیلوگرم خاک و نیم کیلوگرم ماسه بادی در هر گلدان (گلدان‌های پلاستیکی با قطر۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸/۵ سانتی‌متر) با ترازوی دقیق توزین و به گلدان‌ها اضافه شد. مواد آلی مورد آزمایش کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور، ضایعات عرقیات گیاهی(بقایای گیاهان پس از عرق‌گیری)، هرس درختان سیب و انگور و کاه وکلش گندم در هوای معمولی خشک و سپس با آسیاب پودر شدند. پس از آن بقایا از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و سپس به‌میزان ۱/۵ درصد کربن آلی از هر کدام از مواد آلی به خاک‌ها اضافه و مخلوط گردید. گلدان‌ها به‌مدت دو هفته تا حد ظرفیت زراعی آبیاری گردیده، سپس ۳۰ عدد کرم ورمی‌کمپوست با بیومس یکسان از نوع اپی‌ژئیک (*Eisenia foetida*) به هر گلدان تلقیح گردید. پس از اعمال تیمارها، بذرهای ذرت (رقم Single Cross- 704)، با محلول‌های هیپوکلریت سدیم ۵ درصد، اتانول ۹۶ درصد و آب مقطر، ضدعفونی شده و سپس ۸ بذر با فواصل منظم در گلدان‌های مورد نظر کشت گردید. پس از جوانه‌زدن بذرها، ۴ بوته (بوته‌های سالم‌تر و قوی‌تری) نگه داشته شدند. به‌منظور بررسی خصوصیات خاک منطقه غیرریزوسفر و اطمینان از عدم تأثیر فعالیت ریشه گیاه، در یکسری گلدان‌های دیگر مواد آلی مورد استفاده در همان مقادیر افزوده شد اما گیاهی در آنها کشت نگردید و از آنها برای تهیه نمونه‌های غیرریزوسفری استفاده گردید. در پایان دوره پس از ۱۴۰ روز، اندام‌های هوایی و ریشه گیاه تفکیک شده و پس از شستشو با آب مقطر و خشک کردن، به درون پاکت‌های کاغذی منتقل شدند. نمونه‌های گیاهی به‌مدت ۷۲ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس مورد توزین قرار گرفتند. نمونه‌های خاک ریزوسفری از خاک منطقه اطراف ریشه گیاه ذرت مطابق با روش چن و همکاران (۱۱) تهیه شد، بدین‌ترتیب که گیاهان در رطوبت ظرفیت زراعی خاک همراه با سیستم ریشه‌ای کامل از گلدان درآمده و روی کاغذهای بزرگ قرار گرفته و چندین بار به آرامی تکان داده و سپس خاک‌های چسبیده به سطح ریشه‌ها به‌ویژه تارهای کشنده به‌وسیله قلم‌مو (Paint brush) جمع‌آوری

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

شن	سیلت	رس	N	$CaCO_3$	OC	pH	NO_3^-	NH_4^+	P	K	بافت خاک	EC (dS/m)
(٪)							$mg\ kg^{-1}$					
۲۰/۶۲	۴۷/۸۱	۳۱/۵۶	۰/۱۱	۱۵/۵	۰/۷۱	۷/۵۹	۸/۱۱	۱۵/۳۴	۱۴/۱	۲۴۳	لوم رسی	۰/۹۲

جدول ۲. برخی خصوصیات شیمیایی بقایای آلی مورد استفاده

بقایای آلی	C (٪)	N(٪)	C/N
کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور (PWC)	۲۷/۱۶	۳/۸	۷/۱۴
ضایعات عرقیات گیاهی (HE)	۴۶/۲۱	۲/۲	۲۱
هرس درختان سیب و انگور (PW)	۵۲/۲۹	۱/۳۵	۳۸/۷
کاه و کلش گندم (WS)	۵۸/۳۷	۰/۸	۷۲/۹

و طبق تعریف تحت عنوان خاک ریزوسفری در نظر گرفته شد (۲ و ۳۲). خاک نمونه‌برداری شده به آزمایشگاه منتقل و در یخچال نگه‌داری شد. نمونه غیرریزوسفری از خاک گلدان‌های کشت نشده (بدون گیاه) تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید (۳۷). برخی از خواص شیمیایی خاک شامل کربن آلی به‌روش والکی و بلاک (۲۷)، نیتروژن کل به‌روش کجلدال (۲۵)، آمونیوم و نیترات به‌روش عصاره‌گیری با کلرورپتاسیم دو مولار (۲۵) اندازه‌گیری گردیدند. تجزیه و تحلیل آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC و SPSS انجام گردید.

نتایج و بحث

برخی خصوصیات خاک و بقایای آلی مورد استفاده به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. خاک مورد استفاده از گروه‌های مهم از خاک‌های منطقه نازلو بود که زیر کشت غلات، یونجه و باغ‌های میوه قرار دارد. این خاک از نوع آهکی، غیرشور، با بافت لوم‌رسی و طبقه‌بندی آن از نوع Typic Haploxerept بود. سنگین‌بودن بافت خاک سبب حفظ مقادیر نسبتاً بالای مواد آلی در خاک شده است (۱۸) (جدول ۱). مقدار آمونیم اولیه خاک (۱۵/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر از نیترات (۸/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. مقدار فسفر و پتاسیم خاک به‌ترتیب ۱۴/۱ و ۲۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بودند.

تجزیه اولیه بقایای آلی مورد استفاده در آزمایش دامنه وسیعی از نسبت کربن به نیتروژن را در مواد آلی نشان داد، به‌طوریکه از نسبت ۷/۱۴ در کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور تا ۷۲/۹ در کاه و کلش کندم متغیر بود. همچنین نسبت C/N در ضایعات خام هرس سیب و انگور (کمپوست‌نشده) نسبت به شکل کمپوست شده آنها ۵/۴ برابر بیشتر بود.

نتایج تجزیه واریانس اثر گیاه، کرم ورمی‌کمپوست و مواد آلی بر خصوصیات شیمیایی خاک در جدول ۳ ارائه شده است. تأثیر کرم ورمی‌کمپوست، حضور گیاه و مواد آلی و همچنین اثرات متقابل تیمارها بر مقدار آمونیوم (NH_4^+) و نیترات (NO_3^-) معنی‌دار گردید ($P\leq ۰/۰۰۱$). در ارتباط با میزان نیتروژن کل و کربن آلی نیز، نتایج نشانگر معنی‌دار بودن اثر گیاه، کرم خاکی و مواد آلی ($P\leq ۰/۰۰۱$) بر مقدار این عناصر بود. اثر متقابل گیاه و مواد آلی بر نیتروژن کل ($P\leq ۰/۰۰۱$) معنی‌دار شد. اثرات متقابل (موادآلی × گیاه) و (کرم خاکی× گیاه) نیز بر کربن آلی معنی‌دار

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		NH_4^+ (mg/kg)	NO_3^- (mg/kg)	N(٪)	OC(٪)
کرم‌خاکی (EW)	۱	۲۵۱/۶۱***	۱۶۶/۰۱***	۱۱۶/۳۴***	۲۸/۵۴***
موادآلی (OM)	۴	۲۸۲/۲۴***	۳۷۳/۸***	۱۵۴/۲۳***	۹/۱۹***
گیاه (P)	۱	۵۶۰/۱۵***	۵۶۰/۲۰***	۸۴/۹۶***	۲۸/۱۷***
EW×OM	۴	۶۷/۵۹***	۱۰۴/۴۸***	۱/۷۳ ns	۱/۰۴ ns
EW×P	۱	۱۸۶/۲۸***	۱۲۹/۸۳***	۰/۰۳۸ ns	۴/۰۵*
OM×P	۴	۲۲۶/۸۶***	۲۵۱/۰۷***	۲۰/۹۲***	۱۹/۲۵***
OM×EW×P	۴	۱۰۷/۰۷***	۱۰۲/۳۵***	۰/۵۴ ns	۳/۱۱ ns
ضریب تغییرات (CV)		۳۹/۰۵	۴۳/۱۸	۲۳/۲۱	۲۹/۰۹

***، **، *: به‌ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٪ ۰/۱، ٪ ۱ و ٪۵ و ns: نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار هستند

جدول۴. اثرات متقابل کرم‌خاکی و مواد آلی بر خصوصیات شیمیایی خاک

کرم خاکی	ماده‌آلی	NH_4^+ (mg/Kg)	NO_3^- (mg/Kg)
+EW	Cont	۳۴/ ۴۰ d	۱۴/۹۹ e
	PWC	۶۰/۴۴ a	۷۴/۶۵ a
	HE	۳۴/۹۳ cd	۲۳/۵۶ c
	PW	۱۹/۴۰ f	۱۴/۸۴ e
	WS	۳۹/۹۱ b	۲۱/۳۰ cd
-EW	Cont	۲۱/۵۷ ef	۱۷/۴۴ de
	PWC	۳۷/۷۵ bcd	۳۴/۱۷ b
	HE	۲۱/۴۰ ef	۱۴/۸۴ e
	PW	۲۳/۷۰ e	۱۴/۶۵ e
	WS	۳۸/۵۳ bc	۱۸/۶۹ cde

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) ندارند. شاهد یا بدون مواد آلی (Cont)، کمپوست ضایعات هرس سیب، انگور (PWC)، عرقیات گیاهی (HE)، هرس سیب و انگور (PW) و کاه وکلش گندم (WS). با کرم خاکی (EW+)، بدون کرم خاکی (EW-)

بود. مقادیر آمونیوم و نیترات تحت تأثیر حضور کرم‌خاکی نسبت به شرایط بدون کرم‌خاکی به‌ترتیب ۳۲ و ۴۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). اثر متقابل کرم خاکی و انواع مختلف مواد آلی نیز منجر به افزایش معنی‌دار در میزان آمونیوم (NH_4^+) و نیترات (NO_3^-) شد، به‌طوری که بیشترین افزایش آمونیوم (NH_4^+) و نیترات (NO_3^-) مربوط به تیمار

جدول۵. اثرات متقابل گیاه و مواد آلی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری

گیاه	ماده آلی	NH_4^+ (mg/Kg)	NO_3^- (mg/Kg)	N(٪)	OC(٪)
	Cont	۱۴/۸۲ g	۱۳/۹۲ ef	۰/۱۱ d	۱/۱۷ ab
	PWC	۲۲/۸۹ d	۲۱/۰۳ bde	۰/۱۶ a	۱/۳۲ a
+P (ریزوسفر)	HE	۱۶/۹۳ fg	۱۴/۰۸ ef	۰/۱۳ bc	۱/۱۱ abc
	PW	۲۱/۲۱ de	۱۲/۵۴ f	۰/۱۱ d	۰/۹ c
	WS	۱۸/۹۰ ef	۱۷/۴۹ de	۰/۱۰ d	۱/۰۳ bc
	Cont	۴۱/۱۵ c	۱۸/۵۱ cde	۰/۰۷۷ f	۰/۴ d
	PWC	۷۵/۳۰ a	۸۷/۷۹ a	۰/۱۴۵ b	۰/۹ bc
-P (غیرریزوسفر)	HE	۳۹/۴۰ c	۲۴/۳۳ b	۰/۱۳۲ c	۰/۹ bc
	PW	۲۱/۸۸ de	۱۶/۹۵ def	۰/۰۹۲ e	۱/۰۹ abc
	WS	۵۹/۵۴ b	۲۲/۵۰ bc	۰/۱۱۲ d	۱/۱ abc

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) ندارند

شاهد (Cont)، کمپوست ضایعات هرس سیب، انگور (PWC)، عرقیات گیاهی (HE)، هرس سیب،انگور (PW)، کاه وکلش گندم (WS). با گیاه (+P)، بدون گیاه (-P)

(+EW.PWC) بود (جدول ۴). این افزایش می‌تواند به‌دلیل پایین‌بودن C/N و نیز شکل کمپوست‌شده این ماده آلی نسبت به سایر مواد مورد استفاده باشد، از طرف دیگر فرآیند معدنی شدن نیتروژن در حضور کرم‌های خاکی، بسیار بیشتر صورت می‌پذیرد و این منجر به تولید نیتروژن به فرم NO_3^- می‌گردد که تحت شرایط بهینه و مطلوب توسط کرم *E. foetida* تشدید می‌گردد (۲۶). حضور کرم خاکی حتی در شرایط بدون کاربرد مواد آلی سبب افزایش معدنی شدن نیتروژن به‌ویژه تولید آمونیم گردید (جدول ۴). به‌طور کلی مطالعات نشان داده که در اثر فعالیت کرم‌های خاکی، سالانه حداقل ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن معدنی در خاک آزاد می‌شود (۲۱). هنگام عبور خاک از روده کرم‌خاکی، معدنی شدن مواد آلی باعث رهاسازی آمونیوم قابل توجهی در خاک می‌شود و با گذشت زمان نیز، در اثر نیتریفیکاسیون بخشی از نیتروژن کل و آمونیوم به نیترات تبدیل می‌گردد (۲۲).

مقایسه میانگین اثرات متقابل موادآلی و گیاه بر کربن آلی (OC) و نیتروژن کل (N) نیز نشان داد افزودن مواد آلی به خاک همراه با حضور گیاه (اثر ریزوسفری) تأثیر معنی‌داری را نسبت به شرایط بدون موادآلی (Cont) و گیاه، بر کربن آلی و نیتروژن کل خاک داشت (جدول ۵). در شرایط بدون کاربرد موادآلی، حضور گیاه منجر به افزایش ۲/۹ برابر کربن آلی و ۱/۵ برابر نیتروژن کل نسبت به خاک غیرریزوسفری گردید. همچنین تیمار (+P.PWC) ۴۶ درصد کربن آلی و ۱۴ درصد نیتروژن کل را نسبت به تیمار (-P.PWC) افزایش داد. قسمت عمده کربن آلی که وارد خاک می‌شود مربوط به بقایای گیاهی است، به‌نظر می‌رسد این افزایش به‌دلیل افزودن مواد آلی مختلف به خاک باشد. از طرف دیگر به‌دلیل همبستگی بالای کربن آلی و نیتروژن کل، با افزودن مواد آلی به خاک نیتروژن کل هم افزایش می‌یابد (۳۰). از طرفی کرم‌های خاکی با تجزیه مواد اولیه و خام، موادی با نسبت C/N پایین تولید می‌کنند. این نسبت با سوختن کربن در هنگام تنفس و اضافه شدن نیتروژن در هنگام دفع حاصل می‌گردد و احتمالاً در غلظت‌هایی که قابل جذب برای میکروب‌ها است، تشکیل می‌شود. این فعالیت‌ها، باعث افزایش رشد میکروبی و در نتیجه

جدول۶. اثرات متقابل گیاه و کرم خاکی بر برخی خواص شیمیایی خاک

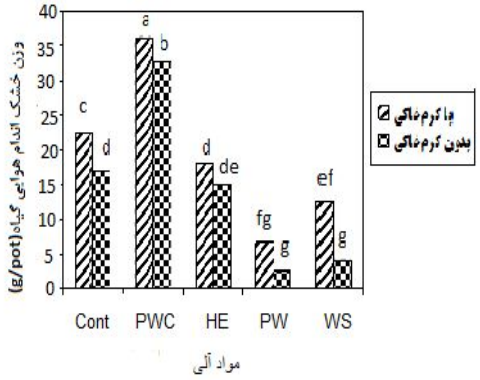
کرم خاکی	گیاه	NH_4^+ (mg/Kg)	NO_3^- (mg/Kg)	OC (٪)
+EW	+P	۱۹/۵۹ [b]	۱۶/۳۸ [b]	۱/۱۷ [a]
	-P	۵۶/۰۳ [a]	۴۳/۳۵ [a]	۱/۰۴ [b]
-EW	+P	۱۸/۳۱ [b]	۱۵/۲۴ [b]	۱/۰ [a]
	-P	۳۸/۸۷ [a]	۲۴/۶۸ [a]	۰/۷ [b]

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) ندارند. با کرم‌خاکی (EW+)، بدون کرم‌خاکی (EW-)، با گیاه (P+)، بدون گیاه (P-)

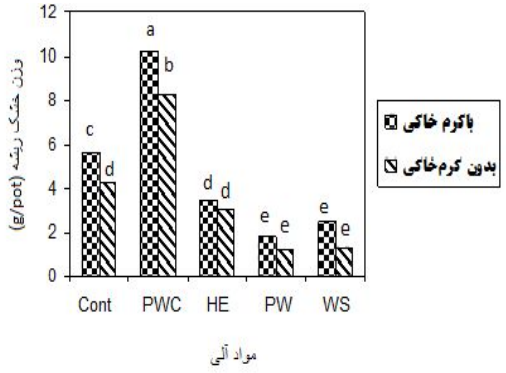
افزایش فرآیند تجزیه می‌گردد. با چنین فعالیت‌هایی کرم‌های خاکی نسبت C/N را کاهش داده و باعث فراهمی نیتروژن کافی برای گیاهان می‌شوند (۱۶).

مقایسه میانگین اثر متقابل کرم‌خاکی و گیاه بیانگر افزایش معنی‌دار در مقدار کربن آلی خاک بود (جدول ۶). احتمالاً این افزایش به‌دلیل حضور گیاه (اثر ریزوسفر) باشد، زیرا ریشه‌ها از منابع عمده کربن آلی هستند. البته حضور کرم‌های‌خاکی منجر به افزایش نسبی کربن آلی در ریزوسفر و غیرریزوسفر گیاه نسبت به شرایط بدون کرم‌خاکی گردید. لیکن تأثیر ریزوسفر در افزایش کربن آلی خاک در هر دو شرایط حضور و عدم‌حضور کرم خاکی معنی‌دار بود (جدول۶). تأثیر فعالیت کرم‌های خاکی بر چرخه کربن وابسته به زمان می‌باشد. هضم مواد آلی در حین عبور خاک از روده کرم‌ها منجر به افزایش قابل توجهی در معدنی شدن عناصر می‌شود. در روده کرم‌خاکی به‌دلیل وجود آب اضافی و موکوس، میکروارگانیسم‌ها شرایط مناسبی را برای فعالیت و تجزیه مواد آلی خاک به فرم‌های قابل دسترس دارند بنابراین رهاسازی عناصرغذایی قابل دسترس در نتیجه فعالیت کرم‌های خاکی، افزایش می‌یابد (۷ و ۲۳). به‌علاوه در دستگاه گوارش کرم‌های خاکی آنزیم های متعددی مانند پروتئاز، آمیلاز، ساکاراز، لیپاز، کیتیناز و سلولاز یافت می‌شوند که باعث تسریع فرآیند تجزیه موادآلی می‌گردند، این مواد آلی هم به‌عنوان منبع انرژی وکربن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها عمل نموده و هم منجر به تحریک جمعیت میکروبی در ریزوسفر و افزایش بیومس ریشه گیاه می‌شوند و چون ریشه‌ها جزو منابع کربن آلی خاک محسوب می‌شوند در نتیجهٔ افزایش بیومس آنها، میزان کربن آلی نیز در خاک افزایش می‌یابد (۱).

تأثیر فعالیت کرم‌های خاکی بر شاخص‌های رشدگیاه از جمله وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک ریشه چشم‌گیر بود (شکل‌های ۱ و۲). نتایج نشان داد در تیمارهای مختلف مواد آلی، حتی در تیمار بدون مواد آلی (Cont) کرم‌خاکی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گیاه داشت. بالاترین مقدار وزن خشک اندام‌های هوایی در تیمار (PWC) معادل ۳۶/۱۷ گرم در گلدان مشاهده گردید و حضور کرم خاکی در این تیمار سبب افزایش بیشتر وزن خشک اندام هوایی شد. تأثیر مشخص نیتروژن، افزایش رشد اندام‌های هوایی گیاه می‌باشد (۳) .کرم‌های خاکی با تجزیه مواد اولیه و خام بستر، موادی با نسبت C/N پایین تولید می‌کنند و باعث فراهمی نیتروژن کافی برای گیاهان می‌شوند. بنابراین افزایش فرآوری و تولید نیترات از طریق تحریک فعالیت باکتریایی توسط کرم‌های خاکی (۲۲) و نیز بالابودن میزان نیتروژن در تیمار کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور (PWC) می‌تواند دلیل افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی، در این تیمار باشد. پایین‌ترین وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه از تیمار (PW) به‌دست آمد که می‌تواند مربوط به بالا بودن C/N در این بقایا باشد. لازم به‌ذکر است که



شکل ۱. حضور و عدم حضور کرم خاکی در تیمارهای مختلف مواد آلی بر وزن خشک اندام های هوایی(g/pot)



شکل ۲. حضور و عدم حضور کرم خاکی در تیمارهای مختلف مواد آلی بر وزن خشک ریشه (g/pot)

در طول فصل رشد، زردی مربوط به کمبود نیتروژن در گیاهان این تیمار مشاهده گردید که می‌تواند بیانگر وقوع ایموبیلیزاسیون نیتروژن یا دوره رکود نیترات در این تیمار باشد.

پایین‌ترین مقدار نیترات در خاک ریزوسفر و غیرریزوسفر همین تیمار (PW) مشاهده گردید (جدول ۵). در تیمار کاه و کلش (WS) نیز روندی مشابه با تیمار (PW) حاصل شد، به‌طوری که وزن خشک اندام‌های هوایی در تیمار شاهد (بدون مواد آلی) به‌صورت معنی‌داری بالاتر از این دو تیمار بود. وزن خشک ریشه گیاه در حضور کرم‌خاکی در تیمارهایPWC، Cont، HE، WSو PW به‌ترتیب ۲۲٪، ۳۱٪، ۱۶٪، ۹۱٪ و ۵۲٪ نسبت به‌شرایط بدون حضور کرم‌خاکی افزایش یافت. همچنین بالاترین مقدار وزن خشک ریشه مربوط به تیمار PWC (g/pot ۱۰/۱۸) بود. اثرات مفید فعالیت کرم‌خاکی بر رشد گیاهان به‌خصوص گیاهان مرتعی (۳۵) و در سیستم‌های کشت گیاهان زراعی (۱۳) گزارش شده است. نتایج تحقیقات نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار بیومس گیاهی در حضور کرم‌های خاکی است (۱۳، ۳۱). کرم‌خاکی با ترشح مواد هومیک از طریق اثرگذاری بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه سبب بهبود رشد گیاه می‌گردد (۶). همچنین برخی اسیدهای آلی که از بدن کرم دفع می‌شوند و در فضولات کرم موجودند، به‌عنوان مواد تحریک کننده رشد گیاه عمل می‌کنند (۱۹). نتایج سایر مطالعات نیز نشان داد که کرم‌های خاکی از طریق سرعت بخشیدن به چرخه عناصر غذایی، تجزیه مواد آلی، بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، رشد گیاهان را بهبود می‌بخشد (۸). در یک تحقیق گلخانه‌ای، داب و همکاران (۱۲) اثر کرم خاکی را بر ریشه نوعی شبدر مطالعه و دریافتند که فعالیت کرم‌های خاکی وزن خشک ریشه‌های شبدر را ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش داد. بیکر و همکاران (۵) نیز اثر کرم خاکی خانواده *Lumbricid* را بر عملکرد و کیفیت گندم و شبدر بررسی کردند به‌طوری که حضور کرم‌های خاکی منجر به ۳۹ درصد افزایش در بیومس گندم، ۳۵ درصد افزایش در عملکرد دانه و ۱۴ درصد افزایش در نیتروژن گردید (۵).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج نشان داد که میزان آمونیوم، نیترات، کربن آلی، نیتروژن کل خاک و وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه گیاه، در خاک تلقیح شده با کرم ورمی‌کمپوست در مقایسه با خاک بدون کرم افزایش نشان داد. همچنین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در تیمارهایی که کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور (PWC) دریافت کرده بودند، در مقایسه با سایر تیمارها بالاتر بود. تأثیر کرم‌های خاکی در شرایط حضور گیاه (خاک ریزوسفری) در مقایسه با شرایط عدم حضور آن (غیرریزوسفر) تشدید گردید.

منابع مورد استفاده

۱. اصغرنیا، ح.، ق. عمرانی، و ع. عمویی. ۱۳۸۲. مقایسه کمپوست هوازی با کمپوست تهیه شده توسط کرم خاکی ورمی کمپوست از نظر زمان رسیدن و کیفیت میکروبی و شیمیایی. ششمین همایش کشوری بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مازندران. ۳۰ شهریور تا ۲ مهر ۱۳۸۲.

۲. رسولی صدقیانی، م. ح و ا. سپهر. ۱۳۹۰. تأثیر کاربرد لجن فاضلاب و کودهای دامی در معدنی‌شدن نیتروژن و خصوصیات ریزوسفری گیاهان ذرت و آفتابگردان، نشریه آب و خاک ۲۵: ۳۳۷– ۳۲۷.

۳. محمودی، ش.، م. حکیمیان. ۱۳۸۴. مبانی خاکشناسی. چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.

4. Achutan Nair, G., K. YossefAbdelgader, M. Filogh Abdelsalam and J. I. Birones Maria. 2005. Ocurrence and density of earthworms in relation to soil factors in Benghazi, Libya. Afr. J. Ecol. 43:150-154.
5. Baker, G. H., L. Williams, P. J. Carter and C. A. Edwards. 1997. Influence of Lumbricide earthworms on yield and quality of wheat and clover in glasshouse trials. Soil Biol. Biochem. 29: 599- 602.
6. Baker, G. H., P. J. Carter and V. J. Barrett. 1999. Influence of earthworms, Aporrectodea spp.(*Lumbricidiae*), on pasture production. Aust. J. Agr. Res. 50: 1247-1252.
7. Barois, I. and P. Lavelle. 1986. Changes in respiration rate and some physicochemical properties of a tropical soil during transit through *Pontoscolex coretlzrurus* (Glossoscolecidz, Oligochæta). Soil Biol. Biochem. 18: 539-541.
8. Binet, F., V. Hallaive and P. Curmi. 1997. Agricultural practices and the spatial distribution of earthworm abundance, maize plants, and soil compaction. Soil Biol. Biochem. 22:577-583.
9. Boyer, J., R. Micellon, A. Chabanne, G. Reversat and R. Tiber. 1991. Effect of terifoli cover crop and earthworm inoculation on maize crop and soil organisms in Reunion Island. Biol. Fertil. Soils 28:364- 370.
10. Caravaca, F. and A. Roldan. 2003. Effect of *Eisenia foetida* earthworms on mineralization kinetics, microbial biomass, enzyme activities, respiration and labile C fractions of three soils treated with a composted organic residue. Biol. Fertil. Soils. 38: 45-51.
11. Chen, Y. M., M. K. Wang, S. Y. Zhuang and P. N. Chiang. 2006. Chemical and physical properties of rhizosphere and bulk soils of three tea plants cultivated in Ultisols. Geoderma 136: 378-387.
12. Doube, B. M., O. Schmidt, K. Killham and R. Correll. 1997. Influence of mineral soil on the palatability of organic matter for lumbricid earthworms: a simple food preference study. Soil Biol. Biochem. 29: 569-575.
13. Edwards, C. A. and J. E. Bater. 1992. The use of earthworms in environmental management. Soil Biol. Biochem. 24:1683-1689.
14. Edwards, C. A. and J. P. Bohlen. 1996. Biology and Ecology of Earthworms, Third Edition. Chapman and Hall, London.
15. Edwards, C. A. 2004. Earthworm ecology. Third Edition. CRC Press, Boca Raton, FL. 441 p.
16. Hameed, R., J. Cortez and M. B. Bouche. 1993. Influence of the quality of litter with earthworms on the dynamics of nitrogen and plant production. Pedobiologia. 37:178-192.
17. Haynes, R. J. and P. M. Fraser. 1998. A comparison of aggregate stability and biological activity in earthworm casts and uningested soil as affected by amendment with wheat or lucerne straw. Soil Sci. 49:629-636.
18. Kalbitz, K., D. Schwesig, J. Rethemeyer and E. Matzner. 2005. Stabilization of dissolved organic matter by sorption to the mineral soil. Soil Biol. Biochem. 37: 1319-1331.
19. Kale, R. D. 1998. Earthworm Cinderella of Organic Farming. Prism Books pvt. Ltd., 70 p.
20. Ladd, J. N., R. C. Foster and J. O. Skjemstad. 1993. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. Geoderma 56:401-434.
21. Lavelle, P., G. Melendez, B. Pashanasi and R. Schaefer.1992. Nitrogen mineralization and reorganization in casts of the geophagous tropical earthworm *Pontoscolexs* (Glossoscolecidae). Biol. Fertil. Soils 14: 49-53.
22. Lindquist, B. 1941. Investigation of some earthworms for demonstration of broad leaf litter and for the structure of mull. ABC Biology Book PP. 62-70.
23. Martin, A., J. Cortez, I. Barois and P. Lavelle. 1987. *Lesmucus intestinaux* de ver de terre, moteur de leurs interactions avec lamicroflore. Rev. Biol. Ecol. Sol. 24: 549-558.
24. Martens, D. A. 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. Soil Biol. Biochem. 32: 361-369.
25. Mulvaney, R. L. 1996. Nitrogen-Inorganic Forms. PP. 1123-1184 *In*: Methods of Soil Analysis. Part 2. Soil Science Society of America, WI.
26. Needha, A. E. 1957. Components of the nitrogenous excreta in the earthworms *Lubricus terrestris* and *E. foetida*

(savigny). J. Exp. Biol. 34: 425-446.
27. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP. 539-579. *In*: Methods of Soil Analysis.Part 2. Soil Science Society of America, WI.
28. Palm, C. A., C. N. Gachengo, R. J. Delve, G. Cadisch and K. E. Giller. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: Application of an organic resource database. Agr. Ecosyst. Environ. 83:27-42.
29. Raiesi, F. and E. Asadi. 2006. Soil microbial activity and turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem. Biol. Fertil. Soils 43:76-82.
30. Salardini, A. A. 1995. Soil Fertility, The University of Tehran Press. (In Persian). 428 p.
31. Scheu, S. 2004. Effect of earthworms on plant growth: Patterns and perspectives. Pedobiologia 47: 846-865.
32. Shen, J., Z. Rengel, C. Tang and F. Zhang. 2003. Role of phosphorus nutrition in development of cluster roots and release of carboxylate in soil grown Lupinus albus. Plant Soil Sci. 248: 199-206.
33. Stockdill, S. M. J. 1959. Earthworms improve pasture growth. New Zeal. J. Agr. Res. 98:227-233.
34. Stockdill, S. M. J. and G. G. Cossens. 1966. The role of earthworms in pasture production and moisture conservation. P. New Zeal. Grassland Assoc. 168-183.
35. Stockdill, S. M. J. 1982. Effects of introduced earthworms on the productivity of New Zealand pastures. Pedobiologia 24: 29-35.
36. Suthar, S. 2008. Earthworm communities a bio indicator of arable land management practices: A case study in semiarids region of India. Ecol. Indicators 9:588-594.
37. Turpault M. P., G.R. Gobran and P. Bonnaud. 2007. Temporal variations of rhizosphere and bulk soil chemistry in a Douglas fir stand. Geoderma 137: 490–496.