



دانشگاه گیلان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هجدهم، شماره اول، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

کاربرد لجن فاضلاب و لجن فاضلاب غنی شده با کود شیمیایی بر برخی خصوصیات شیمیایی و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اوره‌آز در خاک

*سیده‌رقیه احمدپور^۱، محمدعلی بهمنیار^۲، سروش سالک‌گیلانی^۳ و اکبر فرقانی^۴

^۱دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، آدانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۲مربی گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۳استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۴

چکیده

به‌منظور بررسی سطوح و دفعات مختلف کود آلی لجن فاضلاب به همراه و بدون کود شیمیایی در زمین تحت کشت ذرت بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اوره‌آز در خاک، پژوهشی در سال ۱۳۸۷ صورت پذیرفت. این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار که فاکتور اصلی آن تیمار کودی (T_1)= تیمار شاهد بدون مصرف کود شیمیایی و آلی، T_2 = تیمار با مصرف کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل و اوره به‌ترتیب ۱۰۰، ۱۲۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار)، T_3 = ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، T_4 = ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار + نصف کود شیمیایی T_5 ، T_6 = ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، T_7 = ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار + نصف کود شیمیایی (T_2) و فاکتور فرعی سال کوددهی، ۱ سال کوددهی (سال ۸۵)، ۲ سال کوددهی (سال ۸۵ و سال ۸۶)، ۳ سال کوددهی (سال ۸۵، سال ۸۶ و سال ۸۷) انجام شد. ۶۰ روز پس از کوددهی در سال ۱۳۸۷، از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک نمونه‌برداری صورت پذیرفت (کود آلی در زمان کاشت مصرف شد). نتایج نشان داد که ماده آلی خاک با افزایش دفعات مصرف با لجن فاضلاب به‌صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. افزایش مقدار و دفعات کاربرد با لجن فاضلاب باعث افزایش نیتروژن کل نیز گردید، همچنین با افزایش سطح و دفعات کوددهی میزان پتاسیم و فسفر قابل جذب نیز افزایش یافتند، به‌طوری‌که در بیش‌تر موارد با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. فعالیت دو آنزیم

* مسئول مکاتبه: samaneh.ahmadpor@yahoo.com

اوره‌آز و فسفاتاز قلیایی با افزایش کود آلی و دفعات کوددهی با تیمار شاهد در بیش‌تر موارد اختلاف معنی‌داری داشتند. بیش‌ترین میزان عناصر غذایی P, K, نیتروژن کل و همچنین بالاترین میزان فعالیت آنزیمی در تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار با نصف کود شیمیایی مصرف شده مشاهده گردید. بین فعالیت آنزیمی و ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم قابل جذب همبستگی معنی‌داری مشاهده شد. بنابراین کاربرد لجن فاضلاب ضمن افزایش کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های خاک شده است.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، فعالیت آنزیمی، اوره‌آز، فسفاتاز قلیایی

مقدمه

امروزه تبدیل زباله‌های شهری و لجن فاضلاب شهری به کمپوست و استفاده از آن‌ها به‌عنوان کود آلی هم از نظر اصلاح خاک و افزایش سطح حاصل‌خیزی آن و هم از نظر جلوگیری از انتشار مواد آلاینده محیط زیست، بسیار مورد توجه است. در شهرهای بزرگ به‌دلیل وجود مراکز تصفیه فاضلاب هر ساله مقداری لجن فاضلاب تولید می‌شود که می‌توان آن‌ها را در زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار داد. کاربرد لجن فاضلاب شهری به‌عنوان کود آلی افزون بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بر خصوصیات زیستی خاک نیز اثرات سودمندی خواهد داشت (کینگ و موریس، ۱۹۷۲).

اگرچه استفاده از کودهای معدنی در ظاهر سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای تأمین حاصل‌خیزی خاک به‌شمار می‌رود، ولی هزینه‌های زیادی صرف تهیه کودهای شیمیایی می‌شود که استفاده از آن‌ها، آلودگی و تخریب محیط زیست و خاک را به‌دنبال دارد. از این‌رو استفاده مناسب از کودهای آلی به همراه کاربرد بهینه مواد معدنی نقش مهمی در حفظ باروری، ساختمان و فعالیت‌های حیاتی موجودات خاک ایفا می‌کند. در این بین لجن فاضلاب به‌دلیل ارزان بودن و قرار گرفتن عناصر آن در چرخه غذایی انسان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (افیونی و همکاران، ۱۹۹۸). مواد آلی به‌علت اثرات سازنده‌ای که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارند به‌عنوان رکن اساسی در باروری خاک شناخته شده‌اند. به‌طور خلاصه افزایش ماده آلی در خاک موجب تأمین عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، آهن و... منبع کربن آلی و انرژی برای ریزجانوران خاک، مقابله با تغییرات سریع pH، پایداری و نگهداری ذرات خاک به‌صورت خاک‌دانه، افزایش سرعت نفوذ آب در خاک، کاهش رواناب و کاهش خطر فرسایش خاک می‌گردد (هرناندز و همکاران، ۲۰۰۲).

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ماده آلی (لجن فاضلاب) از دیرباز به منظور بهینه سازی مقدار و نوع مصرف مطالعه شده است، ولی در این میان ویژگی‌های زیستی آن نادیده گرفته شده، بنابراین بررسی اثرات زیستی و زیست‌محیطی کاربرد لجن فاضلاب اهمیت زیادی دارد (اپستین، ۱۹۷۶).

محققان زیادی اثر لجن فاضلاب را بر خصوصیات مختلف خاک مورد بررسی قرار دادند. حجتی و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر استفاده سال‌های مختلف لجن فاضلاب را بر ماده آلی و الیورا و همکاران (۲۰۰۲) نیز اثر لجن فاضلاب بر کربن آلی خاک مورد بررسی قرار دادند. در هر دو آزمایش لجن فاضلاب ماده آلی و کربن آلی خاک را به شدت افزایش داد. همچنین سون و همکاران (۱۹۸۰) در آزمایشی مقادیر مختلف لجن فاضلاب را برای تامین فسفر مورد بررسی قرار داده و دریافتند که با افزایش ۲۰ و ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به ترتیب حدود ۱/۸۷ و ۳/۵ تن در هکتار فسفر به خاک وارد می‌شود. از سوی دیگر محققان دیگری چون لیانگ و همکاران (۲۰۰۳) و کلینگ و همکاران (۱۹۷۷) در آزمایش‌هایی با افزودن لجن فاضلاب به خاک مشاهده نمودند پتاسیم خاک افزوده گردید.

هرناندز و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که فعالیت‌های زیستی خاک مانند زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیمی با کاربرد لجن فاضلاب کاهش یافته است. در مقابل ساستر و همکاران (۱۹۹۶) و نانی پیری (۱۹۹۴) نشان دادند که افزودن لجن فاضلاب موجب افزایش فعالیت میکروبی، تنفس و فعالیت آنزیمی خاک شده است. در بررسی کیفیت خاک دشواری‌های زیادی وجود دارد و به نظر می‌رسد از میان همه این شاخص‌های قابل اندازه‌گیری، شاخص‌هایی که حساسیت بیش‌تری دارند باید مورد مطالعه قرار گیرند. در مورد شاخص‌های زیستی مقدار نیتروژن، کربن، زیست توده میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی اهمیت دارد. افزودن مواد آلی به خاک می‌تواند موجب تغییر فعالیت آنزیم‌های برون‌یاخته‌ای شده که در نخستین مراحل تجزیه مواد آلی در خاک اهمیت زیادی دارند (هالمجکو و کروس، ۱۹۸۴). از آنجا که فعالیت‌های بیوشیمیایی به حضور آنزیم‌ها وابسته‌اند، بیش‌تر واکنش‌هایی که در تبدیل مواد آلی خاک نقش دارند به وسیله آنزیم‌های برون‌یاخته‌ای انجام می‌شوند. این آنزیم‌ها در خاک دربرگیرنده اکسیدوردوکتازها، ترانسفرازها و هیدرولازها می‌باشند (دیک، ۱۹۹۴). چندین آنزیم در چرخه عناصر غذایی شناخته شده‌اند که در تبدیل مواد غذایی آلی به معدنی نقش دارند (آمادور و همکاران، ۱۹۹۷). یکی از آن‌ها آنزیم فسفاتاز قلیایی است که در تولید فسفر معدنی و شکستن استرهای فسفوری نقش دارند و از آنجا که ۹۰ درصد فسفر آلی به شکل منواستر است (ولی‌زاده و

همکاران، ۲۰۰۷) و ماده آلی نیز ترکیبات استری فسفات به خاک می‌افزاید (طباطبائی، ۲۰۰۳) نقش این آنزیم اهمیت می‌یابد. هاس و همکاران (۱۹۹۲) نیز بیان کردند که منبع اصلی آنزیم‌های خاک میکروارگانیسم‌ها هستند و آنزیم فسفاتاز قلیایی بیش‌تر به‌وسیله فعالیت قارچ‌ها تولید می‌شود. تامپسون و همکاران (۱۹۵۴) هم بیان کردند که معدنی شدن فسفر آلی یک پدیده میکروبی است و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی بعد از تجزیه اولیه ماده آلی اهمیت می‌یابد از سوی دیگر معدنی شدن فسفر آلی در خاک ارتباط زیادی با معدنی شدن کربن و نیتروژن دارد (هریسون، ۱۹۸۷). همچنین کیس و همکاران (۱۹۷۴) ارتباط مستقیم فعالیت آنزیم فسفاتاز با ماده آلی، نیتروژن کل و فسفر آلی خاک را نتیجه گرفتند. کیزیلکایا و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهش‌هایی لجن فاضلاب را با کودهای مختلف نیتروژنه غنی ساختند و مشاهده نمودند که انواع مختلف کودهای نیتروژنه در ترکیب با لجن فاضلاب فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را می‌افزاید.

اوره‌آز آنزیمی است که هیدرولیز اوره به دی‌اکسیدکربن و آمونیاک را کاتالیز می‌کند. این آنزیم در تعداد زیادی از گیاهان، میکروارگانیسم‌ها (به‌ویژه باکتری‌ها) و در معده انسان و بسیاری جانوران یافت می‌شود. اوره‌آز از این جهت که بر سرنوشت و عملکرد پرمصرف‌ترین کود نیتروژن‌دار مؤثر است، یک آنزیم منحصربه‌فرد به‌شمار می‌رود و به همین دلیل بیش از سایر آنزیم‌های خاک مورد مطالعه قرار گرفته است (برمنز و مولوانی، ۱۹۷۸). اوره یکی از مهم‌ترین کودهای شیمیایی بوده و استفاده از آن در خاورمیانه رو به افزایش است، زیرا از یک‌سو کارخانه‌های تولید آن در محل وجود دارد، و از سوی دیگر نسبت به کودهای نیتروژن‌دار، مانند نترات و سولفات آمونیوم، ارزان‌تر است (کوکسون و لپیس، ۱۹۹۶). زانتوا و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند که میان فعالیت آنزیم اوره‌آز، کربن آلی و نیتروژن خاک رابطه بسیار معنی‌داری وجود دارد. در مطالعات دیگر مشاهده شده است که افزودن لجن فاضلاب شهری موجب افزایش فعالیت میکروبی، تنفس و فعالیت آنزیمی خاک شده است (دیک و طباطبائی، ۱۹۹۲). امروزه توجه زیادی به مقدار نیتروژن فاضلاب شهری شده و با افزایش قیمت کودهای نیتروژن‌دار، کاربرد لجن فاضلاب گسترش یافته است (تیلور و همکاران، ۱۹۸۹). در این مطالعه تلاش شده است تا تأثیر افزودن مقادیر مختلف لجن فاضلاب و لجن فاضلاب غنی شده با کود شیمیایی بر میزان نیتروژن، مواد آلی، پتاسیم و فسفر قابل جذب و همچنین تأثیر آن‌ها بر فعالیت دو آنزیم فسفاتاز قلیایی و اوره‌آز که شاخص سلامت خاک می‌باشند بررسی شود.

مواد و روش‌ها

الف- منطقه مورد مطالعه و اعمال تیمار: این پژوهش در ۳ سال متوالی ۸۵، ۸۶ و ۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض شمالی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه و طول شرقی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه صورت پذیرفت. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۶ متر و دارای آب و هوای معتدل می‌باشد.

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت اسپلیت پلات با ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل تیمار کودی (جدول ۱) و فاکتور فرعی شامل سال کوددهی (۱ سال کوددهی (سال ۸۵)، ۲ سال کوددهی (۸۵ و ۸۶)، ۳ سال کوددهی (۸۵، ۸۶ و ۸۷)) اعمال گردید. اولین کوددهی در بهار سال ۸۵ انجام شده به این صورت که تمام کرت ۹×۴ کود داده شد. در سال ۸۶ کرت‌ها به دو قسمت ۶×۴ و ۳×۴ تقسیم شدند. برای دومین کوددهی فقط به کرت ۶×۴ کود داده شد و قسمت کوچک‌تر کودی دریافت نکرد. در سال ۸۷ کرت ۶×۴ به ۲ کرت ۳×۴ تقسیم گردید و فقط به یکی از این کرت‌ها کود داده شد. تیمارهای کودی اعمال شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- تیمارهای کودی اعمال شده به مزرعه.

T _۱	شاهد
T _۲	کود شیمیایی (سولفات پتاسیم ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، سوپر فسفات تریپل ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، اوره ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار)
T _۳	لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار
T _۴	لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار + نصف کود شیمیایی T _۲ (لجن فاضلاب غنی شده)
T _۵	لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار
T _۶	لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار + نصف کود شیمیایی T _۲ (لجن فاضلاب غنی شده)

ب- مراحل آزمایشگاهی: در سال ۸۷، ۶۰ روز پس از کوددهی و کاشت ذرت (کوددهی و کاشت در یک زمان در اول مردادماه) از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد. پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه و هوا خشک شدن (به مدت یک هفته در محیط آزمایشگاه) نمونه‌های خاک به‌طور جداگانه کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اوره‌از اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز ابتدا به میزان ۱ گرم خاک توزین، و سپس ۰/۲۵ میلی‌لیتر تولون و ۴ میلی‌لیتر بافر فسفات با (pH=۱۱) و ۱ میلی‌لیتر از محلول سوبسترای پارانیتروفنل به آن افزوده شد و نمونه‌ها برای ۱ ساعت در دمای 37 ± 1 درجه سانتی‌گراد در انکوباسیون قرار گرفتند. سپس محلول به‌وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده، ۴ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار و ۱ میلی‌لیتر کلرید کلسیم ۰/۵ مولار برای اتمام یافتن فعالیت آنزیمی به آن افزوده شده و کاملاً تکان داده شد. جذب نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر و به‌صورت میکروگرم پارانیتروفنل بر گرم خاک خشک در ۱ ساعت انکوباسیون ($\mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{Soil h}^{-1}$) محاسبه گردید (طباطبائی و برمنر، ۱۹۶۹).

برای تعیین فعالیت آنزیم اوره‌آز ابتدا ۵ گرم خاک با ۰/۲ میلی‌لیتر محلول اوره تیمار شده و پس از افزودن ۹ میلی‌لیتر بافر تریس (تریس هیدروکسی متیل آمینومتان pH=۹)، به مدت ۲ ساعت در دمای 37 ± 1 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد، آنگاه ۳۵ میلی‌لیتر محلول $\text{KCl}-\text{Ag}_2\text{SO}_4$ (۲/۵ مولار نسبت به KCl و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به Ag_2SO_4) به آن اضافه گردید. مقدار آمونیوم آزاد شده در سوسپانسیون موجود، به روش رنگ‌سنجی تعیین و پس از کم کردن مقدار آمونیوم در تیمار شاهد، بر حسب میلی‌گرم آمونیوم آزاد شده به‌ازای هر گرم خاک در ۲ ساعت انکوباسیون ($\text{mg N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{Soil } 2\text{ha}^{-1}$) گزارش گردید (طباطبائی، ۱۹۸۲). لازم به یادآوری است که این واحد معمول‌ترین واحد گزارش فعالیت آمیدوهیدرولازها است (فرانکن‌برگر و دیک، ۱۹۹۳). مقدار نیتروژن کل خاک بعد از هضم با استفاده از اسید سولفوریک و کاتالیزور، به روش کج‌لدال اندازه‌گیری شد (جولیوس، ۱۹۱۰). فسفر قابل جذب به روش اولسن و همکاران (۱۹۵۴) و پتاسیم قابل جذب به روش (با استات آمونیوم) کلوت (۱۹۸۶) اندازه‌گیری گردید. ماده آلی خاک نیز به روش والکی بلک (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد.

آنالیز آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسات میانگین ساده و اثرات متقابل با استفاده از نرم‌افزار SAS و MSTAT_C انجام، و نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار اکسل رسم گردید.

نتایج و بحث

خاک مورد مطالعه دارای بافت رسی سیلتی و هدایت الکتریکی عصاره اشباع این خاک ۱/۱۷ دسی‌زیمنس بر متر است. pH این خاک ۷/۵۲ می‌باشد. خاک مورد مطالعه دارای ۰/۱۵ درصد نیتروژن

و ۱/۶ درصد ماده آلی است. عناصر میکرو و سنگین در این خاک پایین بوده و میزان آهن، مس، روی، منگنز، کادمیوم، سرب، نیکل و کروم قابل جذب (روش عصاره‌گیری با DTPA) به ترتیب ۵۸، ۵، ۱، ۰/۳، ۰/۰۷۴، ۲/۷۹، ۲/۴ و ۰/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک می‌باشد.

لازم به ذکر است که لجن فاضلاب مورد استفاده در انجام این پژوهش غنی از عناصری مانند نیتروژن (۱/۷۷ درصد)، فسفر قابل جذب (۴۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک)، پتاسیم قابل جذب (۴۸۹۳/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک) و کربن آلی (۱۴/۳۷ درصد) بوده و دارای pH=۶/۵ بود. هدایت الکتریکی لجن فاضلاب مورد استفاده نیز ۳/۳ دسی‌زیمنس بر متر بوده است. مقدار آهن، مس، روی، منگنز، کادمیوم، سرب، نیکل به ترتیب ۱۳۲/۴۷، ۳۲/۱۹، ۲۱۶/۶۶، ۳۹/۶۲، ۰/۴۴، ۸/۶۱ و ۵/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم لجن خشک بود.

ماده آلی: تیمار کودی و اثر سال کوددهی بر ماده آلی تأثیر معنی‌داری داشته است (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ماده آلی خاک از تیمار شاهد تا تیمار T_۶ افزایش معنی‌داری یافته و به جز تیمار کود شیمیایی که لجن فاضلاب دریافت نکرده، بقیه تیمارهای که لجن فاضلاب دریافت نمودند از نظر ماده آلی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری داشتند. افزایش دفعات کوددهی نیز باعث افزایش ماده آلی خاک گردیده است (جدول ۳). کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار ماده آلی خاک به ترتیب ۱/۰۵ و ۹/۹۶ درصد در تیمار شاهد و در تیماری که ۳ سال متوالی ۴۰ تن در هکتار لجن فاضلاب غنی شده دریافت نمود، مشاهده گردید. در همه تیمارهای دریافت‌کننده کود آلی، مستقل از سطح و دفعات کوددهی، ماده آلی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار یافت (جدول ۴). در هر ۳ سال کوددهی با کود شیمیایی ماده آلی خاک با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری پیدا نکرد. در سطح ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، با افزایش کوددهی، میزان ماده آلی نیز افزایش یافت به گونه‌ای که در تیمارهایی که ۳ سال متوالی ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار دریافت کرده بود ماده آلی خاک افزایش معنی‌داری داشت. در ضمن میزان ماده آلی در تیمارهای لجن فاضلاب غنی شده نسبت به تیمارهایی که فقط لجن فاضلاب به تنهایی دریافت کردند، بیش‌تر بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد با مصرف کود ازته و فسفره میزان این عناصر به راحتی در اختیار ریز جانداران قرار گرفته و تجزیه ماده آلی کم‌تر صورت پذیرفت و به این دلیل به همین خاطر مقدار ماده آلی بیش‌تری در خاک باقی ماند. همان‌گونه که در جدول ۴ ملاحظه می‌گردد با مصرف ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار نیز با افزایش دفعات کوددهی روند افزایش ماده آلی اتفاق افتاد. در تیمارهایی که ۳ بار متوالی به میزان ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار دریافت کرده

بودند، افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک نسبت به شاهد و تیمار ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار پیدا کرد. در ضمن در تیمار ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتاری که ۱ یا ۲ سال کود مصرف شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. چنین به نظر می‌رسد که با گذشت زمان کوددهی، بخش تجزیه‌پذیر لجن فاضلاب تجزیه شده و تنها بخش مقاوم به تجزیه باقی می‌ماند که این بخش قادر نبود اختلاف معنی‌داری بین تیمارهایی که ۱ یا ۲ سال ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار دریافت کرده‌اند، ایجاد نماید. حجتی و همکاران (۲۰۰۷) به نتایج مشابهی دست یافتند. در سایر دفعات کوددهی بین سطوح ۲۰ و ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار اختلاف معنی‌دار مشاهده شده است. تجدید ذخایر ماده آلی خاک به‌وسیله لجن فاضلاب باعث حفظ اختلاف ماده آلی در بین تیمارهای ۲۰ و ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار شده است. چنین پیش‌بینی می‌شود که با قطع کوددهی و با گذشت زمان و تجزیه بخش ناپایدار ماده آلی، اختلاف بین تیمارهایی که سطوح مختلف لجن فاضلاب دریافت نموده‌اند کاهش یابد (جدول ۴). همچنین اولیورا و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که پس از گذشت ۱ سال از کاربرد لجن فاضلاب، مقدار کربن آلی خاک افزایش یافت. در انتهای سال دوم فقط کرت‌هایی که در سال اول لجن فاضلاب دریافت نمودند مواد آلی کاهش یافت اما در کرت‌هایی که ۲ سال متوالی لجن دریافت کرده بودند یک افزایش تجمعی مشاهده شد. محققان زیادی در مورد آثار بقایای آلی بر روی خاک پژوهش کردند و از جمله آن‌ها ولی‌زاده و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند که لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک می‌گردد.

نیترژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب: در این بررسی تیمار کودی و سال کوددهی بر میزان نیترژن کل تأثیر معنی‌داری داشته و همچنین اثر متقابل کود در سال کوددهی نیز اثر معنی‌داری بر میزان نیترژن کل داشته است (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارهای اعمال شده نشان می‌دهد که در میزان نیترژن کل سایر تیمارها نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری مشاهده شده است. میزان نیترژن کل در تیمار T_۶ تقریباً ۲ برابر تیمار شاهد نشان داد. میزان نیترژن کل به‌شدت تحت تأثیر سال کوددهی قرار گرفته، به‌طوری‌که با افزایش سال کوددهی میزان نیترژن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). کم‌ترین مقدار نیترژن (۰/۴۴ درصد) در تیمار شاهد و بیش‌ترین مقدار آن ۰/۹۵ در تیماری که ۳ سال متوالی ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار غنی شده دریافت نمود مشاهده گردید (جدول ۴). در تیمار ۱ و ۲ سال کود شیمیایی در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین در تیمار لجن فاضلاب ۱ یا ۲ سال کودخورده، به تنهایی و غنی شده، نیز با تیمار شاهد

تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد پس از گذشت بیش از ۱ یا ۲ سال از آخرین کوددهی، بخش نیتروژن قابل معدنی شدن^۱ خارج شده و یا به‌وسیله گیاه جذب و یا آب‌شویی گردیده است. در اثر فرآیند معدنی شدن نیتروژن به NH_4^+ و NO_3^- تبدیل شده و سپس توسط گیاه یا میکروارگانیزم جذب می‌شود و یا آب‌شویی می‌گردد. در اثر افزایش سطح و دفعات کود آلی ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به تنهایی و غنی شده تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد مشاهده گردید. در این راستا هرناندز و همکاران (۲۰۰۲) نیز افزایش معنی‌دار نیتروژن کل خاک را در نتیجه افزودن لجن فاضلاب گزارش نمودند.

میزان فسفر قابل جذب خاک نیز تحت‌تأثیر سال کودی و نوع تیمار کودی قرار گرفت که هر دو مورد اثر معنی‌داری بر میزان فسفر قابل جذب در خاک داشته است. میزان فسفر قابل جذب خاک با افزایش لجن فاضلاب مصرفی افزایش یافته، به‌طوری‌که بین تیمار شاهد با تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار غنی شده تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۳). کم‌ترین مقدار فسفر (۲۹/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در تیمار شاهد و بیش‌ترین مقدار آن (۱۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در تیماری که ۳ سال متوالی ۴۰ تن در هکتار لجن فاضلاب غنی شده، مصرف شد مشاهده گردید. در هر ۳ سال کوددهی در هر سطح کودی تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد مشاهده شده است. تیمارهای لجن فاضلاب با تیمارهای همسان خود که غنی شده بودند، در همه موارد تفاوت معنی‌دار داشتند. با افزایش سطوح و دفعات کاربرد لجن فاضلاب و لجن فاضلاب غنی شده تمایز معنی‌داری در میزان فسفر قابل جذب مشاهده می‌شود (جدول ۴). سون و همکاران در سال (۱۹۸۰) نشان دادند که برای تأمین ۴۰ کیلوگرم فسفر در هکتار باید ۳/۵ تن لجن فاضلاب در هکتار به خاک اضافه گردد.

میزان پتاسیم قابل جذب خاک نیز به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر سال کوددهی، تیمار کودی و اثر متقابل تیمار کودی × سال کوددهی قرار گرفت (جدول ۲). بین تیمار شاهد و تیمارهای دریافت‌کننده کود و همچنین در توالی سال‌های کوددهی میزان پتاسیم متفاوت بوده و یک روند افزایشی معنی‌دار از تیمار شاهد تا تیمار T_6 مشاهده گردید (جدول ۳). کم‌ترین مقدار پتاسیم (۲۴۶/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در تیمار شاهد و بیش‌ترین مقدار آن (۴۸۲/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در تیماری که ۳ سال متوالی ۴۰ تن در هکتار لجن فاضلاب با نصف کود شیمیایی دریافت نمود مشاهده گردید (جدول ۴).

1- Mineralizable Nitrogen

الگوی تأثیرپذیری پتاسیم از کود لجن فاضلاب همانند فسفر بوده است، لیانگ و همکاران (۲۰۰۳) و کلینگ و همکاران (۱۹۷۷) بیان کردند لجن فاضلاب موجب افزایش پتاسیم قابل جذب خاک می‌شود. و نیز بیان کردند که افزودن ماده آلی خاک باعث افزایش پتاسیم قابل جذب خاک می‌گردد.

فعالیت آنزیم اوره‌آز: سال کوددهی، تیمار کودی و همچنین اثر متقابل سال کوددهی \times تیمار کودی در سطح ۰/۰۱ بر فعالیت آنزیم اوره‌آز اثر معنی‌دار شد (جدول ۲). میزان فعالیت این آنزیم از تیمار شاهد تا تیمار T_۶ یک روند افزایشی و معنی‌داری را طی نموده و حدود ۴ برابر گشته است (جدول ۳). کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده می‌شود که برابر با ($35/8 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ Soil } \text{yr}^{-1}$) و بیش‌ترین مقدار آن ($198 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ Soil } \text{yr}^{-1}$) در تیماری که ۳ سال متوالی ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار غنی شده دریافت نموده، به‌دست آمد. در تیمارهایی که فقط کود شیمیایی دریافت نمودند با افزایش مصرف کود شیمیایی در سال‌های متوالی فعالیت آنزیم اوره‌آز کاهش یافته است (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد افزودن کود شیمیایی بدون ماده آلی مانع فعالیت آنزیم اوره‌آز گردید، به‌طوری‌که فعالیت آنزیم اوره‌آز در تیماری که فقط یک‌بار کود شیمیایی دریافت نموده نسبت به تیمارهایی که ۲ و ۳ سال کود شیمیایی دریافت نمودند، افزایش معنی‌داری مشاهده شد. کود شیمیایی در سایر تیمارهایی که به همراه کود آلی مصرف شده موجب افزایش فعالیت این آنزیم گشته است. به‌نظر می‌رسد حضور کود آلی (ماده آلی) به همراه کود شیمیایی تأثیر منفی کود شیمیایی به تنهایی بر آنزیم اوره‌آز را خنثی نموده و به همین دلیل فعالیت این آنزیم در تیمارهای کود آلی که با کود شیمیایی غنی شدند افزایش یافته است (جدول ۴). کود اوره سوسترای مناسب برای میکروارگانیسم‌هایی که آنزیم اوره‌آز تولید می‌کنند می‌باشد. زمانی که این سوسترا با ماده آلی همراه می‌شود بستر مناسبی برای فعالیت آنزیم اوره‌آز فراهم می‌گردد. برای تفسیر نتایج بیان شده نانی پیری (۱۹۹۴) مطالعاتی بر فعالیت‌های آنزیمی خاک انجام داد و دریافت که با افزایش مواد آلی به خاک بستره مناسب برای رشد ریزجانداران در خاک ایجاد می‌شود و با رشد آن‌ها فعالیت بیوشیمیایی خاک نیز افزایش می‌یابد. نتایج بارز مطالعات او تغییر فعالیت آنزیم‌های با کاربرد مواد آلی بود. او بیان کرد به‌دلیل این‌که اوره‌آز یک آنزیم برون‌یاخته‌ای ساختمانی می‌باشد، بنابراین از افزایش یا کاهش جمعیت میکروبی محیط تأثیر می‌پذیرد.

فعالیت فسفاتاز قلیایی: فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی تحت تأثیر سال کوددهی و تیمار کودی قرار گرفت و همچنین اثر متقابل سال کوددهی و تیمار کودی بر میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی معنی‌دار شد (جدول ۲).

فعالیت این آنزیم در تیمار T₆ نسبت به تیمار شاهد تقریباً ۳ برابر شده است. فعالیت این آنزیم از تیمار شاهد تا تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار غنی شده در حال افزایش است و این روند افزایشی در همه تیمارها نسبت به تیمار شاهد معنی دار می باشد. تعداد دفعات کوددهی به طور معنی داری فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را تغییر می دهند، به طوری که بیشترین مقدار در تیمار ۳ سال کود خورده می باشد (جدول ۳). کمترین مقدار فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در تیمار شاهد ($1143/78 \mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{Soil hr}^{-1}$) و بیشترین مقدار آن ($4700 \mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{Soil hr}^{-1}$) در تیمار که ۳ سال متوالی ۴۰ تن لجن فاضلاب با نصف کود شیمیایی دریافت نموده مشاهده گردید. در تیمار کود شیمیایی با افزایش سال کوددهی میزان آنزیم فسفاتاز قلیایی افزایش معنی دار نشان داد. در سطح ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار با افزایش سال کوددهی نیز افزایش معنی دار آنزیم فسفاتاز قلیایی مشاهده شد به طوری که این تیمارها با تیمارهای همسان خود که غنی شده بودند تفاوت افزایشی معنی داری داشتند (جدول ۴). ولی زاده و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیان کردند که افزودن فسفر معدنی به لجن فاضلاب باعث کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی شده است. ولی در سطح ۴۰ تن لجن فاضلاب غنی شده میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز در هر ۳ سال کوددهی نسبت به تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار در هر ۳ سال افزایش معنی داری نشان داده است. به نظر می رسد که به دلیل افزایش سطح ماده آلی از ۲۰ به ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار اثر کاهشی که کود شیمیایی بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی گذاشته است کاهش یافت (جدول ۴). کزیلکایا و همکاران (۲۰۰۴) فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را پس از کاربرد لجن فاضلاب و غنی سازی آن با نیتروژن مطالعه نمودند و نتیجه مشابهی را در مورد فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی به دست آوردند.

جدول ۲- نتیجه تجزیه واریانس شاخص های مورد مطالعه.

میانگین مربعات							
منابع تغییرات	df	درصد ماده آلی	درصد نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	اوره آز	فسفاتاز
تکرار	۲	۰/۱	۰/۰۰۳	۴۳/۰۸	۹۱/۱۳	۳۷/۴۴	۱۳۷۰۵۶/۸
سال کوددهی	۲	۲۰/۷۸**	۰/۲**	۶۸۲/۳۲**	۲۳۱۶۹/۵۹**	۵۵۹۱/۱۴**	۱۰۲۷۰۸۹۵/۲**
خطا	۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲	۹/۷۵	۹۹/۱۱	۴۲/۹۹	۴۹۱۳۶۶/۸
کود	۵	۶۱/۱۳**	۰/۲**	۴۸۷۱/۰۶**	۳۷۶۱۱/۳۴**	۱۶۵۸۴/۵۴**	۶۱۲۷۳۸۹۱/۵**
کود × سال کوددهی	۱۰	۲/۱۸**	۰/۰۱۴**	۱۵۵/۹۸**	۷۱۰**	۱۵۲۲/۴۸**	۷۹۳۱۵۸/۱**
خطا کل	۳۰	۱۶/۰۶	۰/۰۳	۴/۷۴	۱۱/۳۶	۴/۶۸	۵۰۴/۰۳
CV (درصد)	-	۴/۱۹	۴/۰۵	۶/۹۶	۳/۱۶	۵/۵۶	۱۹/۱۲

* معنی دار بودن در سطح ۵ درصد، ** معنی دار بودن در سطح ۱ درصد و ^{ns} نبود تفاوت معنی داری.

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های مورد مطالعه در تیمارهای مختلف کودی و سال‌های متفاوت مصرف.

فسفاتاز قلیایی ($\mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{Soil hr}^{-1}$)	اوره‌آز ($\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{g}^{-1} \text{Soil yr}^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	درصد نیتروژن کل	درصد ماده آلی	تیمار
۱۱۴۳/۶۷ ^c	۳۵/۷۹ ^c	۲۴۶/۲۳ ^f	۲۹/۸۵ ^e	۰/۴۴ ^f	۱/۰۵ ^e	T _۱
۱۵۶۸/۹۰ ^c	۳۸/۹۵ ^c	۳۳۸/۴۳ ^c	۶۱/۹۷ ^d	۰/۵۸ ^e	۱/۲۰ ^c	T _۲
۲۶۳۳/۶۰ ^b	۷۵/۲۳ ^d	۳۵۰/۷۲ ^d	۶۵/۵۴ ^{de}	۰/۶۴ ^d	۳/۰۳ ^c	T _۳
۳۲۰/۶۷۰ ^{ab}	۹۱/۷۹ ^c	۳۵۶/۱۳ ^c	۶۸/۶۵ ^c	۰/۷۳ ^c	۳/۷۳ ^c	T _۴
۳۵۳/۴۰ ^a	۱۲۱/۰۰ ^b	۳۹۹/۰۶ ^b	۸۳/۶۶ ^b	۰/۸۱ ^b	۶/۰۰ ^b	T _۵
۳۷۳۳/۳۰ ^a	۱۴۱/۸۹ ^a	۴۳۷/۰۳ ^a	۹۹/۰۳ ^a	۰/۸۵ ^a	۷/۵۶ ^a	T _۶
سال کوددهی						
۱۹۱۰/۷۰ ^c	۶۸/۲۶ ^c	۳۱۸/۲۸ ^c	۶۲/۶۶ ^c	۰/۵۹ ^c	۲/۸۶ ^c	Y _۱
۲۶۵۷/۷۰ ^b	۸۱/۰۳ ^b	۳۶۰/۳۸ ^b	۶۶/۹۰ ^b	۰/۶۴ ^b	۳/۴۷ ^b	Y _۲
۳۲۴۳/۹۰ ^a	۱۰۳/۰۹ ^a	۳۸۹/۶۵ ^a	۷۴/۷۹ ^a	۰/۷۸ ^a	۴/۹۵ ^a	Y _۳

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها است. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن صورت پذیرفت.

T_۱ تا T_۶ در جدول ۱ توضیح داده شد.

Y_۱: ۱ سال کوددهی، Y_۲: ۲ سال کوددهی، Y_۳: ۳ سال کوددهی.

جدول ۴- اثر متقابل لجن فاضلاب و لجن فاضلاب غنی شده بر مواد آلی، برخی خصوصیات شیمیایی و فعالیت آنزیمی.

تیمار کودی	درصد ماده آلی	درصد نیترژن کل	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	اورآز (mg N-NH ₄ ⁺ · g ⁻¹ Soil ۲hr ⁻¹)	فسفاتاز (μg PNP · g ⁻¹ Soil hr ⁻¹)
T _۱	۱/۰۵ ^۱	۰/۴۴ ^۱	۲۹/۷۷ ^۱	۲۶۴/۲۳ ^{۱۱۱}	۳۵/۷۹ ^{۱۱۱}	۱۱۴۳/۷۸ ^{۱۱۱}
T _{۲-۱}	۱/۰۱ ^۱	۰/۴۷۷ ^۱	۶۵۴ ^۱	۲۹۴/۵۱ ^۱	۴۵/۰۰ ^۱	۱۹۷/۶۷ ^{۱۱۱}
T _{۲-۲}	۱/۲۷ ^۱	۰/۵۰۶ ^۱	۵۶۳۴ ^۱	۳۴۱/۰۳ ^۱	۳۹/۵۰ ^۱	۲۸۵۰/۰۰ ^۱
T _{۲-۳}	۱/۲۹ ^۱	۰/۵۵۴ ^۱	۷۱/۷۱ ^۱	۳۷۵/۳۴ ^۱	۳۲/۳۴ ^۱	۳۵۴۰/۰۰ ^۱
T _{۲-۱}	۲/۰۷ ^۱	۰/۵۱۰ ^۱	۵۹/۱۶ ^۱	۳۲۲/۲۰ ^۱	۶۴/۰۰ ^۱	۱۰۱۰/۰۰ ^۱
T _{۲-۲}	۲/۶۴ ^۱	۰/۵۷۷ ^۱	۶۴/۲۴ ^۱	۳۵۰/۰۴ ^۱	۷۷/۳۴ ^۱	۳۲۷۳/۳۴ ^۱
T _{۲-۳}	۴/۳۱ ^۱	۰/۶۲۰ ^۱	۵۲/۳۴ ^۱	۳۸۷/۷۸ ^۱	۸۷/۳۴ ^۱	۴۴۳۳/۳۴ ^۱
T _{۳-۱}	۱/۷۱ ^۱	۰/۶۰۰ ^۱	۵۲/۳۴ ^۱	۳۳۱/۱۱ ^۱	۷۷/۳۴ ^۱	۱۶۵۳/۳۴ ^۱
T _{۳-۲}	۳/۳۰ ^۱	۰/۶۷۰ ^۱	۵۹۹/۱۷ ^۱	۳۶۲/۲۱ ^۱	۰/۰۵ ^۱	۲۰۴۶/۶۷ ^۱
T _{۳-۳}	۵/۷۹ ^۱	۰/۸۸۷ ^۱	۷۱/۱۷ ^۱	۳۶۲/۲۱ ^۱	۰/۰۵ ^۱	۲۰۴۶/۶۷ ^۱
T _{۴-۱}	۴/۱۷ ^۱	۰/۹۳۳ ^۱	۳۰/۱۸ ^۱	۳۶۲/۲۱ ^۱	۰/۰۵ ^۱	۲۰۴۶/۶۷ ^۱
T _{۴-۲}	۴/۱۷ ^۱	۰/۹۳۳ ^۱	۳۰/۱۸ ^۱	۳۶۲/۲۱ ^۱	۰/۰۵ ^۱	۲۰۴۶/۶۷ ^۱
T _{۴-۳}	۵/۷۹ ^۱	۰/۸۸۷ ^۱	۷۱/۱۷ ^۱	۳۶۲/۲۱ ^۱	۰/۰۵ ^۱	۲۰۴۶/۶۷ ^۱
T _{۵-۱}	۴/۱۷ ^۱	۰/۹۳۳ ^۱	۳۰/۱۸ ^۱	۳۶۲/۲۱ ^۱	۰/۰۵ ^۱	۲۰۴۶/۶۷ ^۱
T _{۵-۲}	۴/۱۷ ^۱	۰/۹۳۳ ^۱	۳۰/۱۸ ^۱	۳۶۲/۲۱ ^۱	۰/۰۵ ^۱	۲۰۴۶/۶۷ ^۱
T _{۵-۳}	۵/۷۹ ^۱	۰/۸۸۷ ^۱	۷۱/۱۷ ^۱	۳۶۲/۲۱ ^۱	۰/۰۵ ^۱	۲۰۴۶/۶۷ ^۱
T _{۶-۱}	۶/۴۱ ^۱	۰/۷۷۷ ^۱	۹۵/۴۰ ^۱	۳۷۵/۳۴ ^۱	۰/۰۰ ^۱	۱۵۵۶/۶۷ ^۱
T _{۶-۲}	۶/۷۰ ^۱	۰/۷۰۰ ^۱	۹۳/۶۷ ^۱	۴۵۹/۳۳ ^۱	۰/۰۰ ^۱	۴۰۹۳/۳۳ ^۱
T _{۶-۳}	۹/۹۶ ^۱	۰/۹۵۰ ^۱	۱۰۰/۰۰ ^۱	۴۸۷/۰۳ ^۱	۰/۰۰ ^۱	۴۷۸۰/۰۰ ^۱

میانگین‌هایی که در یک ستون حداقل در یک حرف مشترک هستند در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.
 ۱: ۱ سال کودخورده، ۲: ۲ سال کودخورده، ۳: ۳ سال کودخورده.

همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه: ماده آلی با خصوصیات شیمیایی و همچنین فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتاز قلیایی همبستگی بالایی نشان داد (در سطح ۰/۰۱). این همبستگی بالا نشان‌دهنده این است که با افزایش ماده آلی میزان عناصر غذایی خاک فزونی یافته (جدول ۴) و این عمل باعث افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌ها، افزایش فعالیت زیستی و بالا رفتن فعالیت آنزیمی گردید (جدول ۵).

میزان نیتروژن کل با شاخص‌های شیمیایی و همچنین فعالیت آنزیمی همبستگی مثبت و بالایی نشان داده است (جدول ۵). به نظر می‌رسد که با افزایش میزان لجن فاضلاب در خاک میزان عناصر غذایی به شدت افزایش یافته و همبستگی نیتروژن کل با سایر شاخص‌های شیمیایی این نتیجه را تأیید می‌کند.

فسفر قابل جذب خاک نیز با همه شاخص‌های شیمیایی و فعالیت آنزیمی همبستگی بالایی نشان داده است. از همبستگی بالای فعالیت آنزیمی و مواد آلی خاک با میزان فسفر قابل جذب خاک به نظر می‌رسد که با روند افزایشی ماده آلی در خاک، جمعیت زیستی و تنوع آن‌ها افزایش یافته و این عمل موجب تجزیه فسفر آلی خاک و تبدیل آن به فسفر معدنی گردید. بنابراین با تبدیل فسفر آلی به فسفر معدنی جذب آن برای گیاهان و میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌شود. هریسون (۱۹۸۷) نیز در پژوهش‌های خود به چنین نتایجی دست یافت.

در جدول ۵ همبستگی معنی‌دار و مثبت پتاسیم با شاخص‌های شیمیایی و فعالیت آنزیمی مشاهده می‌گردد. همبستگی بالای پتاسیم با ماده آلی ($r=0/86$) افزایش این عنصر را با افزایش سطوح و دفعات کود آلی نشان می‌دهد. همبستگی بالا و مثبت این عنصر با فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتاز قلیایی ($r=0/85$ و $r=0/82$) به خوبی نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌های خاک برای افزایش تنوع و فعالیت خود به این عنصر غذایی به شدت وابسته‌اند.

جدول ۵- روابط همبستگی بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه ($n=54$).

ردیف	شاخص	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	فعالیت اوره‌آز	۱					
۲	فعالیت فسفاتاز	۰/۸۷**	۱				
۳	نیتروژن کل	۰/۸۴**	۰/۸۱**	۱			
۴	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۸۱**	۰/۷۷**	۰/۸۵**	۱		
۵	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۸۵**	۰/۸۲**	۰/۹۱**	۰/۹۱**	۱	
۶	ماده آلی	۰/۹۵**	۰/۸۶**	۰/۸۸**	۰/۸۶**	۰/۸۶**	۱

** نشان‌دهنده معنی‌دار شدن در سطح ۰/۰۱ می‌باشد.

در این مطالعه، با توجه به افزایش فعالیت آنزیمی در تیمارهایی که کود آلی دریافت نمودند، می‌توان بیان کرد که با افزایش کربن قابل تجزیه، امکان افزایش جمعیت میکروبی فراهم شده و این جمعیت سطح بالاتری از فعالیت آنزیم اوره‌آز را ایجاد کرده است. بین شاخص‌های ماده آلی و فعالیت آنزیم اوره‌آز همبستگی معنی‌داری ملاحظه می‌شد (جدول ۵). حضور کربن آلی بیشتر در خاک، علاوه بر آن که امکانات فعالیت میکروب‌ها را در خاک فراهم می‌کند، جذب مولکول‌های آنزیم را روی سطح کلونیدهای آلی فراهم و باعث می‌شود که مولکول‌های آنزیم به صورت برون‌سلولی به فعالیت خود ادامه دهند. همچنین بین فعالیت آنزیمی و شاخص‌های شیمیایی و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده گردید. ارتباط خطی که بین فعالیت آنزیمی و ماده آلی وجود دارد بیانگر آن است که با افزایش مواد آلی، جمعیت میکروبی در خاک افزایش و متقابلاً سنتز این آنزیم نیز افزایش یافته است.

وجود ارتباط بالا و معنی‌دار بین آنزیم فسفاتاز قلیایی با ماده آلی ($r=0/86$) مکانیسم‌های عنوان شده در آنزیم اوره‌آز را تقویت می‌نماید. همچنین آنزیم فسفاتاز قلیایی با شاخص‌های دیگر شیمیایی مانند نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب همبستگی معنی‌داری (به ترتیب برابر با $r=0/77$ ، $r=0/81$ و $r=0/82$) در سطح $0/01$ دارد. حضور ترکیبات آلی بیشتر در خاک منجر به افزایش مقدار ترکیبات استری فسفات و در نتیجه، باعث القای تولید آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک می‌شود (طباطبائی، ۲۰۰۳). باید توجه داشت که ماده آلی لجن فاضلاب مقدار زیادی از بستر مورد نیاز آنزیم فسفاتاز قلیایی را دارا می‌باشد (هالمجکو و کروست، ۱۹۸۴).

رفتارهای مشابه این دو آنزیم مورد مطالعه، حکایت از آن دارد که عوامل کنترل‌کننده این آنزیم‌ها در خاک مشابه می‌باشند. از آنجا که آنزیم‌های بالا هر یک مسئول انجام فرآیند هیدرولیز آنزیمی بخشی از ترکیبات آلی هستند افزایش هر کدام از آن‌ها بیانگر آن است که جمعیت میکروبی خاک با دریافت کود لجن فاضلاب از سطح فعالیت بالاتری برخوردار شده و امکان سنتز مقادیر بیشتر آنزیم‌های بالا فراهم آمده است. چنین به نظر می‌رسد که لجن فاضلاب تنوع عملکرد زیستی خاک را افزایش داده و این افزایش در هیدرولیز آنزیمی ترکیبات آلی در دو چرخه نیتروژن و فسفر به‌خوبی رویت گردید (حجتی و همکاران، ۲۰۰۷).

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که افزودن لجن فاضلاب به‌عنوان کود آلی باعث افزایش عناصر غذایی و فعالیت آنزیمی شده و این روند با افزایش سطوح و دفعات کوددهی افزوده شد. به‌طوری‌که در سطوح ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار با نصف کود شیمیایی بیش‌ترین میزان عناصر غذایی و فعالیت آنزیمی مشاهده گردید. کاربرد لجن فاضلاب، افزایش ماده آلی خاک را همراه داشته و موجب بهبود افزایش فعالیت آنزیمی شده است. در تیماری که ۱ یا ۲ سال از آخرین زمان مصرف کود آلی لجن فاضلاب گذشته به‌دلیل وجود آثار باقی‌مانده کود آلی ضمن بالا بردن ماده آلی خاک، میزان نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب را نیز افزایش داده و به‌علاوه فعالیت آنزیمی نیز تحت‌تأثیر قرار گرفت. تأثیر سطوح کودی متفاوت بر ویژگی‌های مورد بررسی، به‌خوبی بیانگر این مطلب است که در سطوح مختلف کاربرد لجن فاضلاب و لجن فاضلاب غنی شده اثرات متفاوتی از خود بر جای گذاشته‌اند. به بیان دیگر عامل سطح و دفعات کوددهی به‌خوبی توانسته است تمایز ایجاد شده در شاخص‌های اندازه‌گیری شده را منعکس کند.

با توجه به نتایج آنالیز کود آلی و خاک منطقه به‌خاطر پایین بودن عناصر سنگین در خاک و لجن فاضلاب و همچنین pH قلیایی، تأثیر سوئی ناشی از عناصر سنگین بر فعالیت آنزیمی مشاهده نشد. با توجه به این نتایج می‌توان بیان نمود که افزودن لجن فاضلاب در خاک این منطقه نه تنها باعث کاهش کیفیت خاک نشده، بلکه فعالیت آنزیمی که یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سلامت و کیفیت خاک است را افزایش داده است.

منابع

1. Afyoni, M., Rezaeinezhad, Y., and Khayyambashi, B. 1998. Effect sewage sludge on yield and heavy metals absorption by lettuce and spinach. *J. Sci. and Agric. Ind.* 2: 1. 19-29.
2. Amador, J.A., Glucksman, A.M., Lyons, J.B., and Gorres, J.H. 1997. Spatial distribution of soil phosphatase activity within a riparian forest. *Soil Sci.* 162: 808-825.
3. Bremner, J.M., and Mulvaney, R.L. 1978. Urease activity in soils. P 149-196, In: Burns, R.G. (ed.) *Soil Enzyme*, Academic Press, London, UK.
4. Cookkson, P., and Iepiece, G.L. 1996. Urease enzyme activities in soils of Batinah region of the Sultanate of Oman. *J. Arid Environ.* 32: 225-238.

5. Dick, R.P. 1994. Soil enzyme activities as indicator of soil quality. P 107-124, In: Doran, J. W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (eds.), Defining soil quality for sustainable environment. J. Soil Sci. Soc. Amer, Spec. Pub. 35, Madison.
6. Dick, W.A., and Tabatabai, M.A. 1992. Potential uses of soil enzymes. P 95-127, In: Meeting, F.B. (ed.), Soil Mic Ecology: Application in Agricultural and Environmental Management. Marcel Dekker, New York.
7. Epstein, E. 1976. Effects of sewage sludge. J. Environ. Qual. 5: 4. 422-426.
8. Frankenberger, Jr., W.T., and Dick, W.A. 1993. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 945-951.
9. Halemejko, G.Z., and Chrost, R.J. 1984. The roles of phosphatases in phosphorus mineralization during decomposition of lake phytoplankton blooms. J. Hydrobio. 101: 489-502.
10. Harrison, A.F. 1987. Soil organic phosphorus. C.A.B. International United Kingdom, 257p.
11. Hass, H., Friedlin, E., and Stoffler, G. 1992. Isolation and analysis of the *Penicillium Chrysogenum* *phoA* gene encoding a secreted phosphate responsible acid phosphates. Genetics, 113: 129-133.
12. Hernandez, T., Moral, R., Prez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, A., Perez-Murica, M.D., and Garcia, C. 2002. Nitrogen mineralization potential in a calcareous soil amended with sewage sludge. J. Biores. Technol. 83: 213-219.
13. Hojati, S., Nourbakhsh, F., and khavazi, K. 2007. Microbial biomass index, enzyme activities and corn yield in a soil amended with sewage sludge. J. Soil Water Sci. 20: 1. 84-93.
14. Julius, B.C. 1910. Practical organic chemistry, Kjeldal method to measure nitrogen, 475p.
15. Keling, K.A., Peterson, A.E., Walsh, L.M., Rayan, J.A., and Keeney, D.R. (1977). A field study of the agricultural use of sewage sludge: I, Effect on Crop Yield and Uptake of N and P. Environ. Qual. 6: 339-343.
16. King, L.D., and Morris, H.D. 1972. Land disposal of liquid sewage sludge. 2. The effects on soil pH, manganese, zinc, and growth and chemical composition of rye. J. Environ. Qual. 1: 325-329.
17. Kiss, S., Stefanic, G., and Dragan-Bularda, M. 1974. Soil enzymology in romania (Part I). Contrib. Bot, Cluj, Pp: 207-219.
18. Kizilkaya, R., Askin, T., Bayarkli, B., and Saglam, M. 2004. Microbiological characteristics of soils contaminated with heavy metals. European J. Soil Bio. 40: 95-102.
19. Klute, A. 1986. Method of soil analysis part: Physical and mineralogical methods. 2 second edition. ASA Soil Science Society of America, Madison. Wisconsin. USA, 528p.

20. Liang, Y., Yang, Y., Yang, Ch., Shen, Q., Zhou, J., and Yang, L. 2003. Soil enzymatic activity and growth rice and barley as influenced by organic manure in an anthropogenic soil. *Geoderma*, 115: 149-160.
21. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science*, 42: 421-428.
22. Nannipieri, P. 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst in Sustainable Farming Systems. CSIRO, East Melbourne, Pp: 238-244.
23. Nelson, D.W., and Sommers, L.P. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *American Society Agronomy, Madison*, Pp: 539-579.
24. Olivera, F.C., Mattiazzo, M.E., Marciano, C.R., and Rossetto, R. 2002. Organic carbon, electrical conductivity, pH and CEC changes in a dystrophic yellow Latosol. *Revista Brasileira de ciencia do solo*, 2: 505-519.
25. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watenabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture Circ. 939. USA.
26. Sastre, I., Vicente, M.A., and lobo, M.C. 1996. Influence of the application of sewage sludges on soil microbial activity. *Biores. Technol.* 57: 19-23.
27. Soon, Y.K., Bates, T.E., and Moyer, J.R. 1980. Land application of chemically treated sewage sludge. Effectes on soil and plant heavy metal content. *J. Environ Qual.* 9: 497-504.
28. Tabatabai, M.A. 1982. Soil enzymes. P 539-579, In: A.C., (ed.). *Methods of soil Analysis. Part 2.* A.S.A., Madison, WI, USA.
29. Tabatabai, M.A. 2003. Enzymes: past, present and future. P 87, In: *The Second international conference on enzyme in the environment: Act, Ecology. Appl.* Prague, Czech Republic. July 14-17.
30. Tabatabai, M.A., and Bremner, J.M. 1969. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Bio. Biochem.* 1: 301-307.
31. Taylor, B.R., Parkinson, D., and Pearsons, W. 1989. Nitrogen and lignin content as predicators of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology*, 70: 97-104.
32. Thompson, L.M., Black, C.A., and Zoellner, J.A. 1954. Occurrence and mineralization of organic phosphorus in soil with particular reference to associations with nitrogen, carbon and pH. *Soil Sci.* 77: 185-196.
33. Valizadeh, F., Haghnia, Gh.H., and Lakziyan, A. 2007. Effects of (nitrogen and phosphorus) enriched sewage sludge on soil alkaline phosphatase. *J. Sci. and Agric Indus, Special Water and Soil*, 22: 1. 79-87.
34. Zantua, M.I., Dumenil, L.C., and Bremner, J.M. 1997. Relationships between soil urease activity and other soil properties. *Soil Sci.* 41: 350-352.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(1), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Chemical characteristic, enzyme activity of urease and alkaline phosphatase in a soil amended with sewage sludge and sewage sludge Enrichment with chemical fertilizer

***S.R. Ahmadpoor¹, M.A. Bahmanyar², S. S. Gilani³ and A. Forghani⁴**

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Soil Science, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Instructor, Dept. of Soil Science, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Guilan University

Received: 2009/08/29; Accepted: 2010/12/25

Abstract

The aim of this study was to investigate the effects of different rates and periods of sewage sludge and sewage sludge enrichment with chemical fertilizer application on some chemical characteristic and enzyme activity of soil in 2008. This experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications. The main factors was fertilizer treatments (T₁= no organic and inorganic fertilizer, T₂= chemical fertilizer (potassium sulfate, tripill super phosphate and urea 150, 150 and 200 Kg. ha⁻¹ respectively), T₃ and T₅ 20 and 40 Mg. ha⁻¹ respectively, T₄ and T₆, 20 and 40 Mg. ha⁻¹ with half T₂ respectively) and the secondary factor three consecutive times of sewage sludge application (2006, 2006+2007, 2006-2008 years). Soil samples were collected from 0-20 cm depth at end of 60th day of application. Results indicated that with increasing application periods of sewage sludge the amount of soil organic matter enhanced, significantly. An increasing trend was observed in total nitrogen (TN). While mean, with increasing the rates and application periods, the amount of available K and P increased significantly. Activities of urease and alkaline phosphates improved with increasing the organic fertilizers and application periods. Maximum amount of available K, P and total N, activities of urease and alkaline phosphates were observed in 40 sewage sludge ha⁻¹ + 1/2 chemical fertilizer treatment. Significant correlation was observed among enzyme activity, organic soil matter, TN, K and P. Therefore application of sewage sludge, by increasing the amount of O.C, TN, available P and K, caused to enhance the enzyme activity in soil.

Keywords: Sewage sludge, Soil enzyme activity, Urease, Alkaline phosphates

* Corresponding Author; Email: samaneh.ahmadpor@yahoo.com

