به زراعی کشاورزی
دوره ۱۵ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۲
صفحه‌های ۶۳-۵۳

مقایسهٔ پتانسیل لجن فاضلاب با کمپوست زبالهٔ شهری از نظر غنی‌کردن خاک با برخی عناصر ریزمغذی

سیدمجید موسوی*[۱]، زهرا احمدآبادی[۲]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرج ـ ایران
۲. کارشناس ارشد، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری ـ ایران

تاریخ وصول مقاله: ۹۱/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۹/۱۱

چکیده

برای مقایسهٔ پتانسیل کودهای آلی لجن فاضلاب با کمپوست زبالهٔ شهری از نظر ورود عناصر ریزمغذی به خاک، تحقیقی به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه اجرا شد. تیمارهای کودی به‌عنوان عامل اصلی و شامل کود شیمیایی، کودهای آلی(۲۰ و ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، ۲۰ و ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار+۵۰ درصد کود شیمیایی، ۲۰ و ۴۰ تن کمپوست در هکتار، ۲۰ و ۴۰ تن کمپوست در هکتار+۵۰ درصد کود شیمیایی) و شاهد بودند. عامل فرعی (سال‌های مصرف) شامل ۳ تیمار (۱، ۲ و ۳ سال کوددهی) بود. نتایج نشان داد که تیمارهای کودی و سال‌های مصرف کود، هر دو به‌طور معنی‌داری انباشت عناصر ریزمغذی در خاک را از نظر کل و قابلیت جذب افزایش داد و تأثیر تیماری کودی لجن فاضلاب بیشتر بود. بالاترین میزان آهن کل و قابل جذب، روی کل و قابل جذب، منگنز کل و مس کل در سطوح کودی لجن فاضلاب به‌دست آمد و بیشترین منگنز و مس قابل جذب به ترتیب در تیمارهای ۳ سال کاربرد ۴۰ تن کمپوست و ۲۰ تن کمپوست+۵۰ درصد کودشیمیایی حاصل شد.

کلیدواژه‌ها: خاک، سال‌های مصرف، عناصر ریزمغذی، کمپوست، لجن فاضلاب.

* نویسنده مسئول Email: majid62mousavi@gmail.com

۱. مقدمه

عناصر ریزمغذی عناصری ضروری برای رشد گیاهان هستند که گیاهان به مقدار خیلی کم به آن‌ها نیاز دارند. زمانی که مقدار یک عنصر غذایی ضروری در خاک از حدود طبیعی بیشتر شود، می‌تواند برای گیاهان تحت کشت سمیت ایجاد کند [۲، ۲۲]. کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی مانند لجن فاضلاب و کمپوست زبالهٔ شهری به‌عنوان کود هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست محیطی توصیه‌شدنی است. دلایل اصلی استفاده از مواد آلی ذکرشده، عناصر غذایی موجود در آن‌ها است که برای بهبود شرایط نامناسب خاک بسیار مفیدند [۱]. برتری کودهای آلی مثل کمپوست نسبت به دیگر مواد حاصلخیزکنندهٔ خاک، سرعت عمل آن‌ها در مدت زمانی کوتاه و همچنین، تأثیرات مفید چندگانهٔ آن‌ها بر خصوصیات خاک و گیاه است که در قابلیت دسترسی عناصر میکرو برای گیاه نقش دارند [۱۸]. هیف [۱۱] و همکاران در طی آزمایش، به منظور بررسی اثر کاربرد کمپوست بر میزان عناصر ریزمغذی در خاک در مقایسه با کود شیمیایی، نتیجه‌گیری کردند که خاک‌های تحت تیمار کمپوست، غلظت بیشتری از روی، مس و آهن را دارند به‌علاوه کاربرد این پسمانده‌های آلی در کشاورزی، با احیای چرخهٔ عناصر، آثار مفیدی بر حاصلخیزی خاک و تغذیهٔ گیاهان دارند [۲۳]. با وجود این، فلزات سنگین موجود در این مواد آلی می‌توانند مسئله‌ساز باشند [۱، ۲۰]. محیط خاک غرقاب در اکوسیستم‌های کشت برنج شرایط احیایی و پیچیده‌ای دارد که با حلالیت اکسیدهای آهن و منگنز، پویایی عناصر کم مقدار خاک را افزایش می‌دهد [٦]. در محیط احیایی خاک شالیزار، بیشتر عناصری که در نتیجهٔ مصرف کودهای آلی به محیط خاک وارد می‌شوند، با ورود به محلول خاک امکان جذب آن‌ها به وسیله برنج نیز افزایش می‌یابد. در مطالعه‌ای نشان داده شد که در نتیجهٔ مصرف ۱۰ سالهٔ لجن فاضلاب به‌عنوان کود، انباشت مس و روی در خاک به میزان زیادی افزایش می‌یابد [۳]. کودهای آلی مصرفی در کشاورزی مانند کود دامی و کمپوست زبالهٔ شهری مقدار قابل جذب آهن، منگنز، مس و روی خاک را به مقدار چشمگیری افزایش می‌دهد [۱۲]. نتایج مطالعهٔ دیگری نیز نشان داد که بعد از یک سال تیمار خاک با لجن فاضلاب، سطوح آهن، مس و روی قابل جذب خاک به مقدار بسیار زیادی افزایش نشان داد [۲۱]. از آنجا که توجه کمی به تأثیر جامدهای زیستی بر وضعیت عناصر ریزمغذی خاک شده است و با توجه به اهمیت این عناصر در رشد و عملکرد گیاهان، هدف از این تحقیق، مقایسهٔ لجن فاضلاب و کمپوست زبالهٔ شهری بر میزان انباشت عناصر ریزمغذی آهن، منگنز، مس و روی در خاک است.

۲. مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت کرت‌های خردشده با طرح پایهٔ بلوک کامل تصادفی با دو عامل در سه تکرار، در سال ۱۳۸۸، در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. این منطقه در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ٤۲ دقیقهٔ شمالی از نصف‌النهار گرینویچ و میانگین ارتفاع ۱٦ متر از سطح دریا واقع شده است. براساس داده‌های هواشناسی در طول این سه سال مشاهده می‌شود که تغییرات اقلیمی فاحش و تأثیرگذاری در طول سال‌های اجرای طرح رخ نداده است (جدول ۱). تیمارهای کودی به‌عنوان عامل اصلی شامل لجن فاضلاب و کمپوست زبالهٔ شهری غنی‌شده و غنی‌نشده با کود شیمیایی، در ۱۰ تیمار شامل ۲۰ و ٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، ۲۰ و ٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار+۵۰ درصد کود شیمیایی، ۲۰ و ٤۰ تن کمپوست در هکتار، ۲۰ و ٤۰ تن کمپوست در هکتار

جدول ۱. مقادیر میانگین سالانه بارندگی، درجه حرارت و درصد رطوبت نسبی شهر ساری

	سال ۸۶	سال۸۷	سال ۸۸
بارندگی (میلی‌متر)	۷۱۵/۱	۷۳۸/۵	۷۰۰
درجهٔ حرارت (سانتی‌گراد)	۱۷/۳	۱۷/۸	۱۷/۶
رطوبت نسبی (درصد)	۸۱	۸۲	۸۱

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق۳۰ سانتی‌متر) و کودهای آلی مورد مطالعه

خصوصیت	خاک	لجن فاضلاب	کمپوست زبالهٔ شهری	واحد
بافت خاک	سیلتی رسی	–	–	–
شن	۷/۳	–	–	٪
سیلت	٤٤/۷	–	–	٪
رس	٤۸	–	–	٪
کربن آلی	۱/٦	۳۱/٤	۲۲/٦۳	٪
آهک کل	۲۸/۷٤	۲۲/۱۳	۱٤/٤۷	٪
اسیدیته	۷/٦۳	٦/۲	۷/٤۱	–
قابلیت هدایت الکتریکی	۱/۸٤	۸/۸	۳/۲	dSm^{-1}
آهن کل	۵۰۲۸/۱۱	۲٦۳۸۰	۷۱۵٤/۸۱۵	ppm
آهن قابل جذب	۷٦/۹٤	۱۳۵/۱٤	۲۷۳/۲٦	ppm
منگنز کل	۲۱۵/٦٤۵	۵۲۲/۲٤	۲۵۱/۹٦۵	ppm
منگنز قابل جذب	۳۳/۳٤	۲٤۸/۷	۵۲/٤۱	ppm
مس کل	۲٦/۷	۵۷/۰۱	۳٦۲/۱۸۵	ppm
مس قابل جذب	۵/۳	۲۵/۷۵	۳۷/۵۲	ppm
روی کل	۸۷/۲۸	٤۷۱/٤۹	۷٦٦/۱۹۵	ppm
روی قابل جذب	٦/٤۵	۳۱۸/۰۳	۱۰۳/۹٤	ppm

+۵۰ درصد کود شیمیایی، کود شیمیایی (شامل: ۱۰۰ کیلوگرم اوره، ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) و تیمار شاهد به خاک اضافه شد. عامل فرعی (سال‌های مصرف کود) نیز در سه سطح شامل: ۱ سال مصرف، ۲ سال مصرف و ۳ سال مصرف انتخاب شد. بدین منظور، در سال ۱۳۸٦، در کرت‌های ۱۲×۳ متری تیمارهای کودی اضافه شد؛ در سال ۱۳۸۷، در دو سوم سطح کرت‌های اولیه، یعنی ۸×۳ متر تیمارهای کودی اضافه شد. در سال ۱۳۸۸(سال سوم)، کرت‌های ۸×۳ متری به دو قسمت مساوی تقسیم و در یک قسمت تیمارهای کودی اعمال و در نیمی دیگر اجرا نشد و تمام تیمارها در سال‌های ۱۳۸٦ الی ۱۳۸۸زیر کشت برنج قرار گرفتند. برای اینکه از اختلاط تیمارها جلوگیری شود پس از آماده‌سازی زمین اصلی و تقسیم آن به کرت‌های با

ابعاد مورد نظر، اطراف هر کرت به عمق ٤٠ سانتی‌متر با پلاستیک پوشانده شد. پیش از اجرای طرح، از خاک سطحی (٠ـ ٣٠ سانتی‌متر) و کودهای آلی مورد استفاده به منظور تعیین محتوای عناصر ریزمغذی و برخی خصوصیات فیزیک و شیمیایی شامل: بافت خاک [٢٥]، کربن آلی [٨]، آهک کل، اسیدیته (با استفاده از دستگاه pH متر[1]) و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره‌های گل اشباع با دستگاه EC متر[2] (شوری‌سنج) نمونه‌برداری شد (جدول ٢). همچنین، در سال ١٣٨٨، پس از برداشت محصول، از افق سطحی (٠ـ٣٠ سانتی‌متر) تیمارهای مورد نظر نمونه‌برداری شد و سپس، مقادیر آهن، منگنز، مس و روی کل خاک پس از عصاره‌گیری با اسید کلریدریک و اسید نیتریک با دستگاه جذب اتمیک[3] تعیین شد [٥]. با استفاده از روش دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید [١٧][4] شکل قابل جذب این عناصر نیز اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS 16 و MSTATC 2 و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ٥ درصد استفاده شد.

٣. نتایج و بحث

نتایج نشان داد که هم اصلاح‌کننده‌های آلی و هم سال‌های مصرف به‌طور معنی‌داری وضعیت توزیع عناصر مورد مطالعه (آهن، منگنز، مس و روی) در خاک را تحت تأثیر قرار دادند. اثر متقابل کود در سال‌های مصرف فقط در مورد آهن قابل جذب، منگنز و روی کل معنی‌دار نشد (جدول ٣).

نتایج مقایسهٔ میانگین‌های تأثیرات ساده نشان داد که بیشترین آهن قابل جذب و منگنز کل در تیمار ٤٠ تن لجن فاضلاب غنی‌شده با ٥٠ درصد کود شیمیایی اتفاق افتاد که حدود ٢/٧ برابر میزان اندازه‌گیری‌شده در تیمار شاهد بود (جدول ٤). کاربرد تیمار ٤٠ تن لجن فاضلاب در هکتار هم به‌صورت جداگانه و هم به‌صورت غنی‌شده با کود شیمیایی بیشترین روی کل را در خاک تجمع داد که حدود ٣٠ درصد بیشتر از میزان اندازه‌گیری‌شده در تیمار شاهد بود (جدول ٣). بالاترین آهن کل (٥٧٣٤٠ میلی‌گرم در کیلوگرم)، مس کل (٣٤/٦١٣ میلی‌گرم در کیلوگرم) و روی قابل جذب (١٦/٦٢١ میلی‌گرم در کیلوگرم) نیز هنگامی حاصل شد که ٤٠ تن لجن فاضلاب غنی‌شده با کود شیمیایی طی ٣ سال متوالی به خاک اضافه شد، همچنین، نتایج مربوط به بررسی سالانهٔ میزان قابل جذب عناصر به این صورت بود که در سال اول بالاترین مقادیر قابل جذب منگنز، مس و روی به ترتیب ٥٤٦/٧، ٧/١ و ١١/٧ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است که در تیمار ٤٠ تن لجن فاضلاب+١/٢ کود شیمیایی حاصل شد، در سال دوم بالاترین مقادیر قابل جذب منگنز، مس و روی به ترتیب ٦٦٩/٨، ٧/٨ و ١٥/٤ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که به ترتیب در تیمارهای ٤٠ تن کمپوست+١/٢ کود شیمیایی، ٢٠ تن کمپوست+١/٢ کود شیمیایی و ٤٠ تن لجن فاضلاب+١/٢ کود شیمیایی مشاهده شد و در نهایت، در سال سوم بالاترین میزان قابل جذب منگنز، مس و روی به ترتیب ٧١٢/٧، ٩ و ١٦/٦١ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که به ترتیب مربوط به تیمارهای ٤٠ تن کمپوست+١/٢ کودشیمیایی، ٢٠ تن لجن فاضلاب+١/٢ کود شیمیایی و ٤٠ تن لجن فاضلاب[5]+١/٢ کود شیمیایی بود (جدول ٥).

1. 3520 pH Meter, JENEWAY
2. 4510 Conductivity Meter, JENEWAY
3. Varian (SpectrAA-10) Atomic Absorption
4. DTPA
5. DTPA

جدول ۳. نتایج تجزیهٔ واریانس تجمع عناصر ریزمغذی در خاک

منبع تغییرات	آهن کل	آهن قابل جذب	منگنز کل	منگنز قابل جذب	مس کل	مس قابل جذب	روی کل	روی قابل جذب
کود (A)	**	*	*	**	*	**	**	**
سال‌های مصرف (B)	**	**	**	**	**	**	**	**
A×B	**	ns	ns	**	**	*	ns	**
ضریب تغییرات (%)	۲۹/۷	۲۲/٤	٦/۷	۲۸/۰	۸/۷	۱۸/۹	۱٤/۱	۲۸/۲

به ترتیب علائم * و ** بیانگر معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و ns بیانگر نداشتن تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

جدول ٤. مقایسهٔ میانگین‌های تأثیرات ساده تیمارهای کودی و سال‌های مصرف بر انباشت عناصر ریزمغذی در خاک

تیمار ها	آهن قابل جذب	منگنز کل	روی کل
	میلی‌گرم در کیلوگرم		
کود			
۲۰ تن کمپوست در هکتار	۱۷۸/۰٤^{bcd}	۵۷۰/٤۷^{ab}	۱۰۳/٤٦^{b}
٤۰ تن کمپوست در هکتار	۱۸۹/٤۲^{ab}	۵۵۷/۰٦^{abc}	۱۰٦/۲۹^{ab}
۲۰ تن کمپوست در هکتار+۵۰ درصد کود شیمیایی	۱۵٤/۱۱^{de}	۵٤۸/۷۰^{bc}	۹۳/۳۵^{c}
٤۰ تن کمپوست در هکتار+۵۰ درصد کود شیمیایی	۱۷۸/٤۱^{bcd}	۵٦۰/۳۷^{ab}	۱۰۸/۹۹^{ab}
۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار	۱٦۰/۲٤^{cd}	۵٦٦/۷٤^{ab}	۱۰۲/۵٦^{b}
٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار	۱۹۲/۰٦^{ab}	۵٦۱/٦۳^{ab}	۱۱۳/۷۵^{a}
۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار+۵۰ درصد کود شیمیایی	۱۷۹/۹۱^{bc}	۵٦٦/٦۲^{ab}	۱۰۱/۸٤^{b}
٤۰ تن لجن فاضلاب در هکتار+۵۰ درصد کود شیمیایی	۲۰٦/۲٦^{a}	۵۷٦/۰۱^{a}	۱۱۲/۰٦^{a}
کود شیمیایی	۱٦۲/۹۵^{cd}	۵۳۵/۵٦^{cd}	۹۰/۱۷^{c}
شاهد	۷٦/۱٤^{e}	۲۱۳/۲٤^{d}	۸۷/۲۸^{c}
سال‌های مصرف			
۱ سال مصرف	۱٤۵/۷٤^{c}	۵٤۱/۸٤ ^{c}	۹٤/٤۹^{c}
۲ سال مصرف	۱۷۵/۲۸^{b}	۵۵٦/٤٤^{b}	۹۹/۷۵^{b}
۳ سال مصرف	۱۹۹/۹۵^{a}	۵۷۱/۳٤^{a}	۱۱۱/٦۸^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵).

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین‌های تأثیرات متقابل کود در سال‌های مصرف بر انباشت عناصر ریزمغذی در خاک

صفات		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
آهن کل	P1	۲۲۳۷۰^{jk}	۱۶۷۶۰	۲۲۲۱۰^{jk}	۲۸۲۶۰$^{g-j}$	۲۹۲۳۰$^{e-j}$	۳۲۶۸۰$^{e-j}$	۲۷۷۰۰$^{h-k}$	۳۴۰۷۰$^{e-i}$	۳۴۵۰۰$^{e-i}$	۵۰۲۴^{lm}
	P2	۲۸۸۷۰$^{f-j}$	۳۴۰۸۰^{k}	۳۲۸۸۰$^{e-j}$	۳۴۹۰۰$^{e-i}$	۳۳۸۹۰$^{e-i}$	۳۴۳۹۰$^{e-i}$	۳۴۱۴۰$^{e-i}$	۴۶۲۰۰$^{b-d}$	۳۵۴۴۰$^{d-i}$	۵۰۲۶^{lm}
	P3	۳۹۱۵۰$^{c-h}$	۴۰۴۳۰$^{e-i}$	۳۹۶۳۰$^{c-g}$	۴۶۹۲۰^{bc}	۳۴۷۶۰$^{e-i}$	۴۰۶۰۰^{be}	۵۰۹۲۰^{ab}	۵۷۳۴۰^{a}	۳۱۶۲۰$^{e-j}$	۵۰۲۶^{lm}
منگنز قابل جذب	P1	۲۹۸/۳^{q}	۳۷۸/۲$^{n-p}$	۳۸۷/۹$^{n-p}$	۴۵۷/۱^{jk}	۳۷۳/۲^{op}	۴۰۲/۱^{mn}	۳۸۳/۵$^{n-p}$	۵۴۶/۷^{g}	۴۵۴/۳^{jk}	۳۴/۰^{s}
	P2	۳۶۵/۶^{p}	۵۹۹/۷^{e}	۵۱۱/۸^{h}	۶۶۹/۸^{bc}	۴۱۴/۷^{lm}	۳۹۸/۷$^{m-o}$	۵۲۵/۳^{gh}	۶۱۵/۵^{e}	۴۶۳/۰^{ij}	۳۴/۹^{s}
	P3	۴۳۴/۳^{kl}	۶۲۳/۷^{de}	۵۷۳/۵^{f}	۷۱۲/۷^{a}	۴۸۴/۲^{i}	۶۱۳/۵^{e}	۶۴۶/۳^{cd}	۶۷۲/۰^{b}	۵۱۳/۹^{h}	۳۴/۹^{s}
مس کل	P1	۲۶/۵$^{i-l}$	۲۶^{kl}	۲۷/۴$^{g-l}$	۲۷/۱^{hl}	۲۶/۶$^{i-l}$	۲۶/۷$^{i-l}$	۲۷/۸$^{g-k}$	۲۸/۹$^{c-h}$	۲۷/۱$^{h-l}$	۲۶/۴$^{l-l}$
	P2	۲۷/۴$^{g-l}$	۲۵/۸^{l}	۲۸/۴$^{e-i}$	۳۰/۵^{cd}	۲۸/۰$^{f-j}$	۲۸/۲$^{f-j}$	۲۹/۸$^{c-f}$	۳۰/۱$^{c-e}$	۲۸/۸$^{d-h}$	۲۶/۷$^{i-l}$
	P3	۲۹/۲$^{c-g}$	۲۹/۸$^{c-f}$	۳۰/۷^{c}	۳۲/۳^{b}	۲۹/۲$^{c-g}$	۳۰/۱$^{c-e}$	۳۲/۷^{b}	۳۴/۶^{a}	۲۸/۰$^{f-j}$	۲۶/۷$^{i-l}$
مس قابل جذب	P1	۶/۵$^{e-j}$	۵/۷$^{i-l}$	۶/۹۷$^{c-g}$	۶/۳$^{e-k}$	۵/۶$^{i-l}$	۶/۱$^{g-k}$	۵/۷$^{i-l}$	۷/۱$^{b-g}$	۵/۸$^{h-l}$	۵/۲^{kl}
	P2	۷/۲$^{b-g}$	۶/۵$^{e-j}$	۷/۸^{bc}	۷/۰$^{c-g}$	۶/۶$^{d-i}$	۶/۹$^{c-h}$	۷/۴$^{b-e}$	۷/۳$^{b-f}$	۵/۷$^{i-l}$	۴/۹^{l}
	P3	۹/۱^{a}	۷/۷$^{b-d}$	۸/۹^{a}	۸/۲^{ab}	۷/۱$^{b-g}$	۷/۴$^{b-e}$	۹/۰^{a}	۸/۰$^{a-c}$	۶/۲$^{f-k}$	۵/۴^{jk}
روی قابل جذب	P1	۷/۵$^{l-n}$	۸/۶$^{j-l}$	۷/۶$^{k-n}$	۱۱/۰^{hi}	۷/۸$^{k-m}$	۸/۱$^{j-l}$	۹/۳^{j}	۱۱/۷^{gh}	۷/۵$^{l-n}$	۶/۴^{n}
	P2	۸/۱$^{j-l}$	۸/۹^{jk}	۸/۸$^{j-l}$	۱۲/۵$^{e-g}$	۱۲/۷$^{d-g}$	۱۰/۵^{i}	۱۲/۷$^{d-g}$	۱۵/۴^{b}	۸/۳^{jkl}	۶/۶^{mn}
	P3	۱۲/۰^{gh}	۱۲/۱^{gh}	۱۲/۳^{fg}	۱۳/۸^{cd}	۱۳/۶$^{c-e}$	۱۴/۴^{bc}	۱۳/۴$^{c-f}$	۱۶/۶^{a}	۸/۷$^{j-l}$	۶/۴^{n}

در هر صفت حروف مشابه نشان‌دهندهٔ نبودن اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست براساس آزمون دانکن ($P\leq$۰/۰۵).

F1=۲۰ تن کمپوست در هکتار، F2=۴۰ تن کمپوست در هکتار، F3=۲۰ تن کمپوست+۱/۲ کود شیمیایی، F4=۴۰ تن کمپوست+۱/۲ کود شیمیایی، F5=۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، F6=۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، F7=۲۰ تن لجن فاضلاب+۱/۲ کود شیمیایی، F8=۴۰ تن لجن فاضلاب+۱/۲ کود شیمیایی، F9=کود شیمیایی، F10=شاهد P1=۱ سال کوددهی، P2=۲ سال کوددهی، P3=۳ سال کوددهی.

با کاربرد ۳ سالهٔ ٤٠ تن کمپوست+٥٠ درصد کود شیمیایی نیز بیشترین منگنز قابل جذب (۷۱۲/۷۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) اندازه‌گیری شد که حدود ۲۰/٤ برابر میزان اندازه‌گیری‌شده در تیمار شاهد بود (جدول ٥) که با نتایج تحقیق آلوولافه [۲۲] مطابقت داشت؛ وی دلیل این امر را سطوح بالای عناصر ریزمغذی این مواد آلی بیان کرد. نتایج مطالعات دیگر نیز نشان داد که غلظت آهن، منگنز و روی قابل استخراج خاک با عصاره‌گیر دی. تی. پی.ای[1] در نتیجه تیمار خاک با کودهای آلی مختلف افزایش می‌یابد [١٦]. فاکتوری که می‌تواند بر قابلیت استفادهٔ این عناصر تأثیر بگذارد اسیدیتهٔ خاک است [١٥]. قابلیت استفادهٔ این عناصر در دامنهٔ اسیدیتهٔ ٦ تا ٨ به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. در حالی که، در اسیدیتهٔ پایین‌تر از ٦ قابلیت استفادهٔ آن‌ها کاهش می‌یابد [۹، ۱۹] از آنجا که اصلاح‌کننده‌های آلی مورد استفاده محتوای کربن آلی بالایی دارند (جدول ۲)، با اضافه‌شدن به خاک باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شوند و قابلیت استفادهٔ عناصر ریزمغذی خاک بهبود می‌یابد. اهمیت مواد آلی بر قابلیت استفادهٔ عناصر ریزمغذی در مطالعات دیگری نیز اثبات شده است [۳، ۲٥]. بنابراین، یکی از علل اندازه‌گیری غلظت بالای فرم قابل جذب آهن، منگنز، مس و روی در این تحقیق، محتوای مادهٔ آلی بالای خاک تحت تیمار با کودهای آلی مورد استفاده است. بالاترین مس قابل جذب به‌دست‌آمده در این مطالعه نیز به سطوح ۲۰ تن کمپوست در هکتار و ۲۰ تن کمپوست و لجن فاضلاب غنی‌شده با ٥٠ درصد کود شیمیایی اختصاص داشت که ضمن نداشتن اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها دارای حدود ٦٧ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بودند (جدول ٥) که نتایج به‌دست‌آمده با نتایج گزارش‌شدهٔ زانگ [۲۸] و همکاران مطابقت داشت. همچنین، با افزایش سال‌های کوددهی از ۱ سال به ۳ سال، تجمع این عناصر در خاک به‌طور منظم افزایش یافت (جدول٤). آهن کل، طی ۳ سال کوددهی به ترتیب ۳٥/٦ و ٢٤ درصد افزایش یافت. غلظت منگنز کل در تیمارهای ۲ و ۳ سال کوددهی در مقایسه با ۱ سال کوددهی به ترتیب حدود ۲/٦۹ و ٥/٤ درصد افزایش یافت. همچنین، میزان مس کل در سال سوم کوددهی، حدود ۱٥ درصد بیشتر از سال دوم و ۲۰ درصد بیشتر از سال اول در خاک تجمع یافت. در ضمن، انباشت روی کل در خاک، طی ۳ سال کوددهی به ترتیب ٥/٦ و ۱۱/۹٥ درصد افزایش نشان داد. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۱، خاک و کودهای آلی مورد مطالعه، مقدار چشمگیری کلسیت (آهک) داشتند. بنابراین، عناصری مثل روی و منگنز به مقدار بسیار زیادی با کربنات کلسیم و منیزیم خاک جذب شده است و کمبود این عناصر در خاک‌های با محتوای کربنات کلسیم و منیزیم بالا، بسیار رایج است [۷]. یافته‌های این تحقیق دربارهٔ تأثیر کاربرد لجن فاضلاب و کمپوست زبالهٔ شهری به‌عنوان کود آلی بر رشد و عملکرد برنج نشان داد که بالاترین زیست توده (۲۳/۳۳ تن در هکتار)، محتوای کلروفیل (٤٦/٥۲) و ارتفاع (١٦۲/٦ سانتی‌متر) در تیمار ۳ سال کاربرد ٤٠ تن لجن فاضلاب+٥٠ درصد کود شیمیایی اتفاق افتاد. طی ۳ سال کاربرد متوالی ٤٠ تن کمپوست غنی‌شده با کود شیمیایی بیشترین عملکرد برنج (٦/٨٦ تن در هکتار) به‌دست آمد که حدود ۱۰۰ درصد بیشتر از عملکرد اندازه‌گیری‌شده در تیمار شاهد بود. در مطالعات متعددی تأثیرات مثبت کودهای آلی مانند لجن فاضلاب و کمپوست بر رشد و عملکرد گیاهان تحت تیمار به محتوای بالای عناصر ریزمغذی و پرمصرف این مواد آلی ربط داده شده است [٦ ، ۲۳]. همچنین، در این تحقیق تأثیر کاربرد لجن فاضلاب و کمپوست زبالهٔ شهری بر برخی خصوصیات

1. DTPA

شیمیایی خاک مانند کربن آلی، اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی، ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که این فاکتورها نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کودهای آلی استفاده شدند و سطوح کودی لجن فاضلاب تأثیر بیشتری در مقایسه با سطوح کودی کمپوست داشتند؛ به‌طوری که، بالاترین کربن آلی (٤/٥١ درصد)، فسفر قابل جذب (١٨/٧٣ میلی‌گرم در کیلوگرم)، نیتروژن کل (٠/٧٠ درصد)، قابلیت هدایت الکتریکی (٢/٢ دسی‌زیمنس بر متر) به تیمار ٣ سال مصرف ٤٠ تن لجن فاضلاب+٥٠ درصد کود شیمیایی اختصاص داشت و بیشترین پتاسیم قابل جذب (٤٠٦ میلی‌گرم در کیلوگرم)، نیز در تیمار ٣ سال مصرف ٤٠ تن کمپوست+٥٠ درصد کود شیمیایی اندازه‌گیری شد.

در این تحقیق مشاهده شد که در نتیجهٔ کاربرد کمپوست زبالهٔ شهری و لجن فاضلاب، اسیدیتهٔ خاک نیز کاهش می‌یابد. اگرچه، به دلیل ظرفیت بافری بالای خاک‌های آهکی، تغییرات اسیدیتهٔ خاک بسیار کم است [١٠]؛ با این حال، کاهش اسیدیتهٔ خاک در این تحقیق نیز مشاهده شد. به‌طوری که، پایین‌ترین اسیدیتهٔ اندازه‌گیری‌شده در این تحقیق (٧/٠٨) در تیمار ٣ سال کاربرد ٤٠ تن کمپوست غنی‌شده با کود شیمیایی به‌دست آمد. نتایج مطالعه‌های متعددی نیز افزایش کربن آلی خاک [١٣، ٢١]، نیتروژن کل، پتاسیم و فسفر قابل جذب [٢٧] و قابلیت هدایت الکتریکی [١٦] را در نتیجهٔ کاربرد کودهای آلی مختلف مانند کمپوست زبالهٔ شهری و لجن فاضلاب، نشان داده است. مادهٔ آلی خاک اثر مستقیم و معنی‌داری بر قابلیت استفاده آهن، منگنز و روی دارد در حالی که، تأثیر آن بر قابلیت استفاده مس ناچیز است. به علاوه، اثر متقابل عناصر پرمصرف و ریزمغذی دیگر، قابلیت استفاده آهن، منگنز، مس و روی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [٤]. کاربرد طولانی مدت تیمارهای کودی مختلف می‌تواند غلظت و قابلیت استفادهٔ عناصر پرمصرف خاک را تغییر دهد که این تغییر می‌تواند سطوح عناصر ریزمغذی خاک را تحت تأثیر قرار دهد. برای مثال، کاربرد بیش از حد فسفر، از پویایی روی در خاک جلوگیری می‌کند و باعث وقوع کمبود روی در گیاهان تحت کشت می‌شود که دلیل آن، تشکیل رسوب فسفات روی است با این حال، وقتی که فسفر در سطوح مناسبی به خاک اضافه شود، به‌طور معنی‌داری مقدار کربنات، مادهٔ آلی و اکسید آهن پیوندشده با عنصر روی را کاهش می‌دهد و باعث افزایش مقدار تبادلی و آمورف اکسید آهن پیوندشده با منگنز و روی می‌شود [١٤، ٢٤].

١.٣. نتایج مطالعه های همبستگی میان فاکتورهای مورد مطالعه

براساس یافته‌های این تحقیق، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تمامی عناصر مورد مطالعه به غیر از منگنز کل و مس کل (r=+٠/١٨ns) مشاهده شد (جدول٦). بالاترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار به همبستگی میان روی قابل جذب و منگنز قابل جذب تعلق داشت (r=+٠/٧٦**). درصد کربن آلی به‌طور مثبت و معنی‌داری فرم قابل جذب آهن، منگنز و روی را تحت تأثیر قرار داد؛ در حالی که، این همبستگی در مورد مس قابل جذب معنی‌دار نشد [٤]. با افزایش درصد آهک کل میزان فرم قابل جذب عناصر مورد مطالعه نیز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت [٧]. در حالی که، فرم کل این عناصر به جز روی که همبستگی منفی داشت، همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد آهک کل خاک نشان دادند (جدول٦). بالاترین ضریب همبستگی مثبت و معنی دار آهک (r=+٠/٥٣**) به منگنز و مس کل اختصاص داشت؛ در حالی که، کمترین ضریب همبستگی منفی و معنی‌دار آهک (r=-٠/٤٢*) در مورد آهن و منگنز قابل جذب اتفاق افتاد (جدول ٦).

جدول ٦. همبستگی ساده میان فاکتورهای مورد مطالعه (n=۳۰)

	آهن کل	آهن قابل جذب	منگنز کل	منگنز قابل جذب	مس کل	مس قابل جذب	روی کل	روی قابل جذب	آهک کل	کربن آلی
آهن کل	۱									
آهن قابل جذب	+۰/۵۸**	۱								
منگنز کل	+۰/۳٤**	+۰/٤۷*	۱							
منگنز قابل جذب	+۰/٦۷**	+۰/٦۳**	+۰/٤۳**	۱						
مس کل	+۰/٦٦**	+۰/٤٦**	+۰/۱۸ns	+۰/٦۲**	۱					
مس قابل جذب	+۰/۵۰**	+۰/٤۹**	+۰/٤۲**	+۰/۵۸**	+۰/۵۲**	۱				
روی کل	+۰/٤۷**	+۰/۷۳**	۰/۵۵**	+۰/۵۸**	+۰/۳۹**	+۰/٤۳**	۱			
روی قابل جذب	+۰/٦۳**	+۰/٦٤**	+۰/۵۷**	+۰/۷٦**	+۰/٦۸**	+۰/۵۷**	+۰/۷۱**	۱		
آهک کل	+۰/۳۸*	−۰/٤۲**	+۰/۵۳**	−۰/٤۲**	+۰/۵۳**	−۰/۳۸*	+۰/٤۱**	−۰/۳۹*	۱	
کربن آلی	+۰/۲۷**	+۰/۲۱*	+۰/۱۵ns	+۰/۳۱**	+۰/۳۰**	+۰/۲۵ns	+۰/۰۹ns	+۰/۱۹*	+۰/۳۱**	۱

به ترتیب * و ** معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار هستند.

۲.۳. نتیجه‌گیری

طی ۳ سال کاربرد متوالی اصلاح‌کننده‌های آلی مختلف غلظت کل و قابل جذب عناصر ریزمغذی خاک (آهن، منگنز، مس و روی) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت و در اکثر موارد سطوح کودی غنی‌شده با ۵۰ درصد کود شیمیایی مقادیر بیشتری از این عناصر را در خاک تجمع داد. در تیمارهای کودی لجن فاضلاب در مقایسه با کمپوست زبالهٔ شهری غلظت‌های بیشتری از آهن و روی کل و قابل جذب و همچنین، منگنز و مس کل به‌دست آمد. در حالی که، بالاترین میزان فرم قابل جذب منگنز و مس در تیمارهای کودی کمپوست اتفاق افتاد. به‌طور کلی، اصلاح‌کننده‌های آلی مورد استفاده در این تحقیق محتوای مادهٔ آلی خاک را افزایش داد که نتیجهٔ آن افزایش فرم قابل جذب عناصر ریزمغذی مورد مطالعه بود که در نهایت، به افزایش رشد و عملکرد گیاه تحت کشت منجر شد. همچنین، نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش سال‌های کوددهی از ۱ به ۳ سال غلظت عناصر ریزمغذی خاک نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

منابع

۱. احمدآبادی، ز؛ قاجار سپانلو، م؛ بهمنیار، م، ع؛ (۱۳۸۹). «اثر کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت عناصر کم مصرف خاک و جذب آن‌ها به وسیله گیاه دارویی گاوزبان». *مجلهٔ آب و فاضلاب*. ٦، ۱، ص. ۱۰۱ ـ ۱۱۰.

۲. ملکـــوتی، م، ج؛ همـــایی، م؛ (۱۳۷۳). *حاصـــلخیزی خـاک‌هـای منـاطق خـشک مـشکلات و راه حـل‌هـا*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ٤٩٤ صفحه.

3. Aggelides SM and Londra PA (1999) Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. Bioresource Technology.71:253-259.

4. Aulakh MS and Malhi SS (2005) Interactions of nitrogen with other nutrients and water: Effect on crop yield and quality, nutrient use efficiency, carbon sequestration, and environmental pollution. Adv. Agron. 86: 342–409.

5. Baker DE and Amacher MC (1982) Nickel, copper, zinc and cadmium. In: Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 323-336.

6. Bhattacharya P, Chakraborty A, Chakrabarti K, Tripathy S and Powell MA (2005) Chromium uptake by rice and accumulation in soil amended with municipal solid waste compost. Chemosphere. 60: 1481-14.

7. Cavallaro M and Mebride MB (1978) Copper and cadmium adsorption characteristics of selected acid and calcareous soils. Soil Science Society of American Journal. 42: 550-555.

8. Chapman HD and Praff PF (1961) Methods of analysis for soil, plant and water. University of California. Division of Agricultural Science. 29: 142-149.

9. Euroconsult BV (1985) Agricultural compedium: for rural development in the tropics and subtropics. Amsertam/New York, Tokyo: Elsevier/Oxford. Pp. 738.

10. Harding SA, Clapp CE and Larson WE (1984) Nitrogen availability and uptake from field soil five years after incorporation of sewage sludge. J. Environ. Qual.14: 95-100.

11. Heaf C, Weipu X, Junliung L, Qinggian Z, Yanging H and Gang C (2007) Application of Composted Sewage Sludge (CSS) as a soil amendment for Turfgrass growth. African Journal of Biotechnology. 29: 96-104.

12. Hsiao-Lei Wang VI and Lohr D (1984) Growth response of selected vegetable crops to spent mushroom compost application in a controlled environment .Plant and Soil. 82: 31–40.

13. Jimenez MP, Horra A, M Pruzzo L and Palma RM (2009) Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameter. Biol. Fertil. Soils. 35: 302–306.

14. Kaushik RD, Gupta VK and Singh JP (1993) Distribution of zinc, cadmium, and copper forms in soils as influenced by phosphorus application. Arid Soil Res. 7:163–171.

15. Landon JR (1991). Booker topical soil manual, A handbook for soil survey agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. U.K: Longman Sci and Technical. Pp: 474.

16. Li Y, Zhou DM, Cang L, Zhang HL, Fan XH and Qin SW (2007) Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. Soil & Tillage Research.96:166–173.

17. Lindsay WL and Norvell WA (1978) Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal. 42: 421-428.

18. Mamo M, Rosen CJ, Halbach TR and Moncrief JF (1998) Corn yield and nitrogen uptake in sandy soils amended with municipal solid waste compost. Journal of Production Agriculture.11: 460-475.

19. Mizota C and Van LP (1989) Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic parent materials in diverse climatic regions, International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). Soil monograph. Pp: 194.

20. Mousavi SM, Bahmanyar MA and Pirdashti HA (2011) Phytoextraction of nickel and chrome in paddy soil amended with municipal solid waste and sewage sludge. Journal of Environmental Science and Engineering, 5: 660-666.

21. Mylavarapu RS and Zinati GM (2009) Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. Scientia Horticulturae.120: 426–430.

22. Olowolafe A (2008) Effects of using municipal waste as fertilizer on soil properties in Jos area, Nigeria, Resources. Conservation and Recycling. 521: 266–1270.

23. Robin A, Smidt RAK and Dickson W (2001) Use of compost in agriculture, frequently asked questions (FAQs) Remade Scotland. Pp: 324-336.

24. Shuman LM (1988) Effect of phosphorus level on extractable micronutrients and their distribution among soil fractions. Soil Science Society of American Journal. 52: 136–141.

25. Titilola O (2006) Effects of fertilizer treatments on soil chemical properties and crop yields in a cassava-based cropping system. Journal of Applied Sciences Research. 2: 1112-1116.

26. Westeman REL (1990) Soil testing and plant analysis. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin. Pp: 323-336.

27. Yang CM, Yang LZ and Ouyang Z (2005) Organic carbon and its fractions in paddy soil as affected by different nutrient and water regimes. Geoderma. 124: 133–142.

28. Zhang SX,Wang XB and Jin K (2001) Effect of different N and P levels on availability of zinc, copper, manganese and iron under arid conditions. Plant Nutrition and Fertilizer Science. 7: 391–396.