اثرات تلفیقی لجن فاضلاب شهری و کودهای شیمیایی بر غلظت عناصر کم مصرف در خاک و تربچه *(Raphanus sativus)*

رحیمه حسین‌پور[1]* و مهدی قاجار سپانلو

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ **hosseinpour2010@yahoo.com**

دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ **sepanlu@yahoo.com**

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بصورت جداگانه و تلفیقی با کود N-P-K و مدت کاربرد آن در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی، بر مقدار عناصر میکرو کل و قابل جذب در خاک و غلظت آنها در ریشه و اندام هوایی تربچه، آزمایشی سه ساله، بصورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل در سه تکرار اجراء شد. عامل اصلی 6 تیمار کودی شامل شاهد، کود شیمیایی، لجن فاضلاب 20 تن در هکتار + 50% کود شیمیایی، لجن فاضلاب20 تن در هکتار، لجن فاضلاب 40 تن در هکتار + 50% کود شیمیایی و لجن فاضلاب 40 تن در هکتار بود، و عامل فرعی نیز تفاوت کاربرد یک ساله، دو ساله و سه ساله تیمارهای کودی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که کاربرد تیمارهای مختلف کودی اثر معنی‌داری روی غلظت عناصر میکرو کل و قابل جذب خاک و میزان تجمع عناصر میکرو در ریشه و اندام هوایی تربچه داشت؛ به طوری‌که با افزایش کاربرد فاکتورهای فوق، غلظت عناصر فوق در خاک و برداشت آنها از خاک توسط گیاه افزایش یافت. همچنین مصرف سه ساله کودهای آلی و معدنی بهتر از مصرف دو ساله و یک ساله آنها بر افزایش غلظت عناصر میکرو در خاک و جذب آنها توسط اندام‌های گیاه تأثیر داشت. اثر برهمکنش بین نوع کود و مدت مصرف آن بر غلظت روی قابل جذب خاک، آهن و منگنز ریشه و مس اندام هوایی تربچه از نظر آماری معنی‌دار بود. به طوری‌که بالاترین میزان روی قابل جذب خاک مربوط به کاربرد سه سال متوالی تیمار لجن فاضلاب 40 تن در هکتار، بیشترین غلظت آهن و منگنز در ریشه تربچه مربوط به کاربرد سه سال متوالی لجن 40 تن در هکتار همراه با 50% کود شیمیایی و بیشترین غلظت مس در اندام هوایی تربچه مربوط به کاربرد سه سال متوالی لجن 20 تن همراه با 50% کود شیمیایی بود. در نهایت با توجه به نتایج حاصله از این تحقیق و تأثیر معنی‌دار استفاده از لجن فاضلاب به صورت جداگانه و غنی شده با کودهای شیمیایی، می‌توان کاربرد لجن فاضلاب به همراه کود شیمیایی و یا جداگانه را پیشنهاد نمود. اما باید در مورد امکان ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی و آلودگی آنها در خاک هوشیار بود.

واژه‌های کلیدی: آهن، روی، مس، منگنز، کودهای آلی

مقدمه

حفظ مقدار مطلوب ماده آلی خاک یکی از اساسی‌ترین اصول کشاورزی پایدار است. بنابراین مواد آلی باید مرتباً به خاک اضافه شوند (افیونی 1377). استفاده از مواد آلی به علت تأثیرات مفیدی که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک دارند، یکی از ارکان مهم باروری خاک به حساب می‌آید. این

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: ساری، کیلومتر 9 جاده دریا، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده علوم زراعی، گروه مهندسی علوم خاک

* دریافت: 90/3/1 و پذیرش: 92/4/17

Archive of SID

www.SID.ir

در حالی است که بیش از 60 درصد خاک‌های ایران کمتر از یک درصد ماده آلی دارند (آجودان‌زاده و همکاران، 1378). یکی از عوامل تعیین کننده بهره‌وری خاک، وضعیت عناصر غذایی آن است. کاربرد زباله‌های آلی در مقادیر مناسب می‌تواند وضعیت عناصر غذایی و نیز خصوصیات دیگر خاک را بهبود ببخشد. لجن فاضلاب به عنوان کود آلی از دیر باز جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی داشته و استفاده از آن برای تأمین عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف گیاهی و مواد آلی خاک مورد توجه بوده است. لجن فاضلاب حاوی عناصر پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر کم مصرف شامل آهن، روی، مس و منگنز می‌باشد (عرفان منش، 1376؛ واثقی و همکاران، 1380). در میان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، عناصر کم مصرف هر چند در مقادیر کم مورد نیاز می‌باشند اما فقدان آنها می‌تواند مسائل جدی در تولید محصول و سلامتی انسان‌ها و حیوانات ایجاد کند (گوپتا و همکاران، 2008). معمولاً، خاک‌ها شامل مقادیر کافی از عناصر کم مصرف مطابق نیاز گیاه می‌باشند، اما در برخی مناطق کمبود عناصر کم مصرف اتفاق می‌افتد که می‌تواند عملکرد محصولات را کاهش دهد (لوکاس و کنِزک، 1973).

استفاده از لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی در کشورهای زیادی در جهان و همچنین ایران گسترش یافته است (بهبهانی‌نیا و همکاران، 2009). افزایش غلظت عناصر کم مصرف نظیر *Fe*، *Mn*، *Zn* و *Cu* در خاک و گیاه به دنبال کاربرد فاضلاب شهری در مطالعات زیادی به اثبات رسیده است (خیامباشی، 1376؛ عرفان منش، 1376؛ کرمی و همکاران، 1386؛ افیونی و همکاران، 2006؛ بیگدلی و سیلسپور، 2008). مصرف لجن فاضلاب در برخی موارد در برطرف کردن نیاز گیاهان به عناصر کم مصرف بسیار مؤثرتر از سایر منابع عمل کرده است، برای مثال رفع کمبود روی در ذرت به وسیله لجن فاضلاب بسیار مؤثرتر از مصرف سولفات روی بوده است (سومرز، 1977).

معدنی شدن مواد آلی لجن فاضلاب ممکن است فلزات را به صورت گونه‌های قابل استفاده زیستی آزاد نماید که این گونه‌ها به وسیله ریشه گیاهان بهتر جذب می‌شوند. بنابراین مدت زمان مصرف لجن فاضلاب اهمیت فراوانی در جذب فلزات سنگین به وسیله گیاه دارد (هودجی و همکاران، 1381). البته نظریه‌های متفاوتی در مورد اثر گذشت زمان بر وضعیت فلزات سنگین در خاک و قابلیت دسترسی آنها برای گیاه مطرح شده است. بر اساس نظریه اثر بمب زمان، این نگرانی وجود دارد که فلزات سنگین در خاک های تیمار شده با لجن فاضلاب، با گذشت زمان متحرک شده و قابلیت دسترسی آن‌ها برای گیاه افزایش یابد، اسیدی شدن خاک به دنبال تجزیه مواد آلی و اکسایش گوگرد دلیل این مسأله می‌باشد (کرمی و همکاران، 1386). از سویی دیگر برخی معتقدند که بر اساس نظریه کهنه شدن، قابلیت دسترسی فلزات سنگین وارد شده به خاک همراه لجن فاضلاب با گذشت زمان کاهش می‌یابد، این امر می‌تواند به علت جذب شدید آن‌ها توسط خاک و مواد آلی لجن باشد (کرمی و همکاران، 1386؛ مک برید، 1995؛ مک گرس و همکاران، 1995). اگرچه وجود برخی از فلزات سنگین برای رشد بیولوژیک گیاهان لازم‌اند، ولی باید توجه داشت که غلظت‌های کمی بیش از حد آستانه این عناصر، می‌تواند برای حیات گیاهی و جانوری بسیار خطرناک باشد (برتی و جاکوب، 1996؛ مک گرس و همکاران، 2000). شایان ذکر است که رفتار فلزات سنگین افزوده شده به خاک از طریق لجن فاضلاب تحت تأثیر عوامل مختلفی است، که از مهم‌ترین آنها می‌توان به *pH* خاک اشاره کرد. *pH* اساساً رفتار و دسترسی گیاهان را به فلزات سنگین در خاک تعیین می‌کند. قابلیت دسترسی فلزات سنگین رابطه معکوس با *pH* دارد (واثقی و همکاران، 1382).

نظر به حفظ سلامت مصرف کنندگان، کنترل وضعیت فلزات در خاک‌های کشاورزی، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در این راستا دو عامل مقدار تجمعی لجن به کار رفته و زمان سپری شده از کاربرد لجن، اثرات مهمی بر غلظت، قابلیت دسترسی و تحرک فلزات سنگین در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب دارا می‌باشند (کرمی و همکاران، 1386). محدودیت‌هایی نیز از لحاظ زمان به کارگیری لجن فاضلاب در محصولات کشاورزی برای به حداقل رسانیدن خطرات بهداشتی بالقوه برای گیاهان، جانوران و انسان وجود دارد به طوری که نمی‌توان از آن در زمان رشد و نمو میوه‌ها و سبزیجات و به خصوص در گلخانه‌های پلاستیکی و شیشه‌ای استفاده برد (چسترز و همکاران، 1975). لذا بطورکلی می‌توان اظهار نمود که افزودن لجن فاضلاب و سایر مواد زائد شهری به خاک باعث افزایش غلظت عناصر کم مصرف خاک می‌گردد زیرا فاضلاب و لجن فاضلاب همواره دارای مقدار زیادتری از این عناصر نسبت به خاک هستند، گرچه عناصر مذکور مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرند ولی مصرف پی در پی و بیش از حد لجن فاضلاب ممکن است به مسمومیت برخی از گیاهان نسبت به این عناصر منجر گردد (چانگ و همکاران، 1982).

Archive of SID

www.SID.ir

یکی از جنبه‌های کشاورزی پایدار مصرف تلفیقی کود است (پراساد، 1996). در کاربرد تلفیقی کودهای آلی با کوهای شیمیایی، کود آلی نه تنها عناصر غذایی را به کندی از خودش آزاد می‌کند بلکه از تلفات کودهای شیمیایی در طول دنیتریفیکاسیون، تبخیر و آبشویی به واسطهٔ پیوند عناصر غذایی و آزاد کردن تدریجی آنها جلوگیری کرده و بدینگونه مانع از تلفات عناصر غذایی می‌گردد (اصغر و همکاران، 2006). کودهای *N-P-K* کودهای فعالی هستند که به سهولت عناصر مغذی را برای گیاه تأمین می‌کنند و کمپوست لجن فاضلاب کود کند رهایی است که یک آرایش منظم از همه عناصر غذایی را در خاک فراهم می‌کند، اسیدیته خاک را کاهش می‌دهد و خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک را بهبود می‌بخشد (وی و لیو، 2005). میوه‌ها و سبزیجات به عنوان منبع غنی از عناصر میکرو، دارای خواص آنتی اکسیدانی هستند، که عامل دفاعی در برابر اختلالات مزمن سلامت می‌باشند. در میان انواع گوناگون سبزیجات، سبزیجات میوه‌ای و سبزیجات ریشه‌ای در مقایسه با سبزیجات برگی تازه در رژیم غذایی روزانه رواج بیشتری دارند (تاروادی و اگت، 2005). با توجه به آن که اکثر مطالعات انجام شده در مورد نیاز غذایی تربچه به عناصر غذایی کم مصرف بر مبنای مصرف کودهای شیمیایی بوده است و بدلیل کمبود اطلاعات در مورد واکنش این گیاه به کودهای آلی (لجن فاضلاب) لازم است که اثرات کودهای آلی و غیر آلی اضافه شده به خاک بر غلظت عناصر کم مصرف در خاک و جذب آنها توسط تربچه مطالعه شود. بنابراین هدف از انجام این مطالعه ارزیابی اثرات لجن فاضلاب بصورت جداگانه و تلفیقی با کودهای *N-P-K* در بهبود عناصر کم مصرف خاک و غلظت آنها در ریشه و اندام هوایی تربچه بوده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی 1385 در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (عرض جغرافیایی 34 درجه و 33 دقیقه شمالی- طول جغرافیایی 52 درجه و 6 دقیقه شرقی – ارتفاع از سطح دریا 16 متر) انجام گرفت. نمونه‌های خاک از عمق صفر تا 30 سانتیمتری سطح خاک برداشت شده و برای تعیین برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه انتقال یافت. pH نمونه‌های خاک و لجن در گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به روش های معمول اندازه گیری شد. فسفر قابل جذب به روش اولسن و سومرز (اولسن و سومرز، 1990)، پتاسیم قابل جذب توسط استات آمونیم (نیودسن و پترسون، 1990)، عصاره‌گیری گردید. غلظت فسفر و پتاسیم به ترتیب به وسیله دستگاه رنگ سنجی (اسپکترو فتومتر هیتاچی مدل 20-200) و شعله سنجی (فلم فتومتر مدل 410) تعیین شد. مواد آلی خاک با استفاده از روش والکلی و بلاک و نیتروژن کل خاک به وسیله دستگاه کجدال اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، غلظت قابل جذب عناصر آهن، روی، مس و منگنز در خاک و لجن فاضلاب به وسیله DTPA 0/005 نرمال و غلظت کل این عناصر به وسیله هضم لجن فاضلاب به وسیله اسید نیتریک غلیظ، اسید کلریدریک 70 درصد و آب اکسیژنه 30 درصد عصاره‌گیری شد (وسترمن، 1990). سپس غلظت عناصر مذکور در عصاره‌های حاصل توسط دستگاه اتمیک تعیین شد. برخی خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مورد آزمایش و لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول 1 آورده شده است.

در مرحله بعد طی یک آزمایش مزرعه‌ای اثرات کاربرد لجن به روش آماری کرت‌های خرد شده در قالب بلوک های کامل تصادفی با دو عامل در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. عامل اصلی تیمارهای کودی شامل: شاهد یا بدون مصرف کود شیمیایی و لجن فاضلاب (*T*1)، کود شیمیایی (150 کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم،100 کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و 150 کیلوگرم در هکتار اوره) (*T*2)، لجن فاضلاب 20 تن در هکتار + 75 کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، 50 کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات و 75 کیلوگرم در هکتار اوره (*T*3)، لجن فاضلاب 20 تن در هکتار (*T*4)، لجن فاضلاب 40 تن در هکتار + 75 کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، 50 کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات و 75 کیلوگرم در هکتار اوره (*T*5) و لجن فاضلاب 40 تن در هکتار (*T*6) و عامل فرعی نیز به صورت، تفاوت کاربرد یک ساله (1385)، دو ساله (1386- 1385) و سه ساله (1387- 1386- 1385) تیمارهای کودی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب که، کرت اصلی (در ابعاد 3×12 متر) در سال 1385 مشخص و تیمار کودی در آن اعمال گردید، در سال 1386 در سطح دو سوم (در ابعاد 3×8 متری) مجدداً تیمارهای کودی اجرا گردید و یک سوم باقیمانده بدون مصرف لجن فاضلاب زیر کشت قرار گرفت. در سال 1387، سطح 3×8 که در سال 1386 تیمار کودی اجرا شده بود به دو قسمت مساوی تقسیم شد و نیمی از آن (در ابعاد 4×3 متری) برای سه سال متوالی تیمار کودی در آن اجرا شد.

کشت گیاه در اسفند ماه 1387 انجام گرفت. در طول دوره رشد گیاه، عملیات وجین علف‌های هرز با دست انجام و در این آزمایش سموم آفت کش نیز به کار نرفت. برداشت گیاهان 45 روز بعد از کاشت و در

Archive of SID

www.SID.ir

فروردین صورت گرفت. پس از برداشت، نمونه‌های گیاهی چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس ریشه‌ها و اندام هوایی گیاه در آون تهویه‌دار در دمای 65 درجه سانتی گراد به مدت 48 ساعت خشک شدند. برای تعیین غلظت آهن، روی، مس و منگنز در ریشه و اندام هوایی گیاه، ابتدا نمونه‌های گیاهی پودر شده و عصاره گیری به روش سوزاندن خشک و هضم در اسید کلریدریک انجام شد (امامی، 1375). سپس غلظت عناصر مذکور در عصاره‌های حاصل به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. پس از پایان کار تجزیه کمی، داده‌های به دست آمده توسط نرم افزارهای MSTATC و SPSS تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت عناصر کم نیاز کل و قابل جذب خاک

آهن

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین مربوط به غلظت عناصر کم نیاز کل و قابل جذب خاک در جداول 2 و 3 آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تیمارهای کودی بر میزان آهن کل خاک تأثیر معنی‌داری نداشت. اثر سال بر مقدار آهن کل خاک معنی‌دار بود. با مصرف تیمارهای کودی به مدت سه سال متوالی در مقایسه با کاربرد یک ساله و دو ساله آنها بیشترین میزان آهن کل در خاک مشاهده گردید.

با توجه به نتایج به دست آمده اثر تیمارها بر غلظت آهن قابل جذب خاک معنی‌دار نبود. اثر مدت کوددهی بر مقدار آهن قابل جذب خاک معنی‌دار بوده است، و با افزایش در دفعات کاربرد کود غلظت آهن قابل جذب خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت. به طوری‌که کاربرد سه ساله تیمارهای کودی در مقایسه با کاربرد یک ساله و دو ساله آن، باعث افزایش بیشتری در میزان آهن قابل جذب خاک شد. اما تفاوت معنی‌داری در کاربرد یک ساله با کاربرد دو ساله تیمارهای کودی مشاهده نشد.

روی

مطابق جداول 2 و 3 اثر تیمارها بر غلظت روی کل و قابل جذب خاک معنی‌دار بود. اعمال کلیه تیمارهای کودی موجب افزایش میزان روی کل و قابل جذب خاک در مقایسه با تیمار بدون کود شد. ضمن اینکه میزان روی قابل جذب خاک در تیمار N-P-K نیز نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار شد. حداکثر مقدار روی کل و قابل جذب خاک در تیمار لجن فاضلاب 40 تن در هکتار بدست آمد. مدت مصرف کود بر غلظت روی کل و قابل جذب خاک تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین میزان روی کل و قابل جذب خاک در کاربرد سه ساله تیمارهای کودی در مقایسه با کاربرد یک ساله و دو ساله آنها بدست آمد (جداول 2 و 3).

مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع کود و مدت مصرف آن (شکل 1) تفاوت معنی‌داری را در مقدار روی قابل جذب خاک در تیمارهای مورد بررسی نشان داد. به طوری‌که کاربرد سه سال متوالی لجن فاضلاب 40 تن در هکتار بیشترین افزایش در مقدار روی قابل جذب خاک را به خود اختصاص داد.

مس

با توجه به جداول 2 و 3 اثر تیمارها بر غلظت مس کل و قابل جذب خاک معنی‌دار بود. میزان مس کل و قابل جذب خاک در تیمار لجن فاضلاب 40 تن در هکتار بالاترین و در تیمار شاهد کمترین مقدار را دارا می‌باشد. بین تیمارهای لجن فاضلاب 20 تن در هکتار، کود شیمیایی و شاهد اختلاف معنی‌داری از لحاظ این پارامتر مشاهده نشد. تعداد دفعات کاربرد کود بر میزان مس کل و قابل جذب خاک اثر معنی‌داری نشان داد. کاربرد سه سال متوالی تیمارهای کودی در مقایسه با کاربرد یکساله و دوساله تیمارهای کودی بیشترین افزایش را در میزان مس خاک نشان داد.

منگنز

با توجه به نتایج جداول 2 و 3 اثر تیمارهای مختلف کودی و برهمکنش بین نوع کود و مدت کاربرد آن بر میزان منگنز کل و قابل جذب خاک از لحاظ آماری معنی‌دار نشد. اثر سال بر میزان منگنز کل و قابل جذب خاک معنی‌دار شد و با افزایش در دفعات مصرف تیمارهای کودی میزان منگنز کل و قابل جذب خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت. به طوری‌که کاربرد سه ساله آن نسبت به کاربرد یک ساله و دو ساله افزایش بیشتری را در میزان منگنز قابل جذب خاک سبب شد.

تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر فراهمی عناصر کم نیاز در ریشه و اندام هوایی تربچه

نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین غلظت عناصر میکرو در ریشه و اندام هوایی تربچه در جداول 4 و 5 آورده شده است.

آهن

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تیمارهای کودی، مدت کاربرد کود و برهمکنش بین این دو عامل بر غلظت آهن در ریشه تربچه معنی‌دار بوده است (جدول 4). غلظت آهن در ریشه تربچه متناسب با افزایش سطح

Archive of SID

www.SID.ir

لجن فاضلاب افزایش یافت که این افزایش در تیمار لجن فاضلاب 40 تن در هکتار همراه با 50 درصد کود شیمیایی بین تمام تیمارهای کودی معنی‌دار شد (جدول 5). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل بین نوع کود و مدت کوددهی (شکل 2) نشان می‌دهد که بیشترین غلظت آهن در ریشه تربچه در کاربرد سه سال متوالی تیمار لجن 40 تن در هکتار همراه با 50 درصد کود شیمیایی به دست آمد.

تیمارهای کودی و اثر متقابل بین نوع کود و دفعات کاربرد آن تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن در اندام هوایی تربچه نداشت. اثر دفعات کوددهی بر غلظت آهن در اندام هوایی تربچه معنی‌دار شد. با افزایش در تعداد دفعات کاربرد کود میزان غلظت آهن در ریشه و اندام هوایی کاهو نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت، به طوری که بیشترین غلظت آهن در ریشه و اندام هوایی تربچه در کاربرد سه سال متوالی تیمارهای کودی در مقایسه با کاربرد یک ساله و دو ساله مشاهده شد (جداول 4 و 5).

روی

غلظت روی در ریشه تربچه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کودی و مدت کاربرد کود قرار گرفت (جدول 4). نتایج مقایسه میانگین در جدول 5 نشان می‌دهد که بیشترین غلظت روی در ریشه تربچه در تیمار لجن فاضلاب 40 تن در هکتار و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد می‌باشد. این افزایش در میزان غلظت روی ریشه متناسب با افزایش در مقادیر کاربرد لجن فاضلاب بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین (جدول 5) نشان می‌دهد که غلظت روی در ریشه متناسب با افزایش در تعداد دفعات کاربرد تیمارهای کودی بود، به طوری که بیشترین غلظت روی در ریشه در کاربرد سه ساله تیمارهای کودی مشاهده شد.

اثر تیمارهای کودی و دفعات کاربرد کود بر غلظت روی در اندام هوایی تربچه معنی‌دار شد (جدول 4). با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول 5) غلظت روی در اندام هوایی تربچه متناسب با افزایش سطح لجن در خاک افزایش یافت که این افزایش در تیمارهای لجن فاضلاب 20 تن غنی شده با 50 درصد کود شیمیایی، لجن فاضلاب 40 تن و لجن فاضلاب 40 تن در هکتار همراه با 50 درصد کود شیمیایی نسبت به شاهد معنی‌دار شد. اثر دفعات کوددهی بر غلظت روی در اندام هوایی تربچه (جدول 5) نشان می‌دهد که با افزایش در تعداد دفعات کاربرد کود در خاک میزان غلظت روی در اندام هوایی تربچه به طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین افزایش در کاربرد سه ساله تیمارهای کودی مشاهده شد.

مس

نتایج تجزیه واریانس (جدول 4) نشان می‌دهد که تیمارهای کودی اثر معنی‌داری بر غلظت مس در ریشه تربچه نشان نداد. غلظت مس در ریشه تربچه به طور معنی‌داری تحت تأثیر مدت کوددهی قرار گرفت. غلظت مس در ریشه متناسب با افزایش در تعداد دفعات کاربرد کود افزایش یافت و بیشترین افزایش در کاربرد سه ساله تیمارهای کودی به دست آمد (جدول 5).

غلظت مس در اندام هوایی تربچه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کودی، مدت کوددهی و برهمکنش بین این دو عامل قرار گرفت (جدول 4). اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر غلظت مس در اندام هوایی تربچه (جدول 5) نشان می‌دهد که غلظت مس در اندام هوایی تربچه در همه تیمارها نسبت به شاهد معنی‌دار شد. در رابطه با اثر مدت کوددهی نتایج نشان می‌دهد (جدول 5) که با افزایش در تعداد دفعات کوددهی غلظت مس در اندام هوایی تربچه افزایش یافت. به طوری که در کاربرد سه ساله تیمارهای کودی بیشترین افزایش مشاهده شد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود و مدت کوددهی بر غلظت مس در اندام هوایی تربچه (شکل 3) نشان می‌دهد که در کاربرد سه سال متوالی لجن فاضلاب 20 تن در هکتار همراه با 50 درصد کود شیمیایی حداکثر غلظت مس در اندام هوایی تربچه به دست آمده است.

منگنز

تیمارهای کودی بر غلظت منگنز ریشه تربچه تأثیر معنی‌داری داشت (جدول 4). بیشترین غلظت منگنز ریشه تربچه در تیمار لجن فاضلاب 20 تن در هکتار همراه با 50 درصد کود شیمیایی به دست آمد. بین این تیمار و تیمارهای لجن فاضلاب 20 تن در هکتار، لجن فاضلاب 40 تن و لجن فاضلاب 40 تن در هکتار همراه با 50 درصد کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. اثر مدت کوددهی بر غلظت منگنز ریشه تربچه معنی‌دار شد. با افزایش در تعداد دفعات کاربرد کود غلظت منگنز ریشه به طور معنی‌داری افزایش یافت. به طوری که در کاربرد سه ساله تیمارهای کودی بیشترین افزایش آن مشاهده شد (جداول 4 و 5).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بین نوع کود و مدت کودهی (شکل 4) نشان می‌دهد که با کاربرد سه سال متوالی لجن فاضلاب 20 تن در هکتار همراه با 50 درصد کود شیمیایی بیشترین میزان غلظت منگنز در ریشه تربچه بدست آمده است.

اثر دفعات کوددهی بر غلظت منگنز در اندام هوایی معنی‌دار بوده است (جدول 4). و با افزایش در

Archive of SID

www.SID.ir

تعداد دفعات کوددهی غلظت منگنز در اندام هوایی تربچه نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد سه ساله تیمارهای کودی بیشترین افزایش در غلظت منگنز اندام هوایی تربچه را به خود اختصاص داد (جدول 5).

بحث

نتایج آزمایش نشان داد که غلظت عناصر غذایی کم مصرف در خاک و گیاه تربچه در تیمارهایی که لجن فاضلاب را به عنوان کود آلی مخصوصاً بصورت ترکیبی با کودهای *N-P-K* دریافت کرده بودند بالاتر از بقیه تیمارها بود. کاربرد اصلاح کننده‌های آلی از جمله لجن فاضلاب سبب افزایش تجمعی و اولیه در غلظت عناصر غذایی و همچنین مواد آلی در خاک می‌شود که به موجب آن خصوصیات خاک بهبود یافته که این نتایج در تیمار کود شیمیایی مشاهده نشد (کاسترو و همکاران، 2009). نتایج این تحقیق نشان داد که به دنبال کاربرد لجن فاضلاب بعنوان کود آلی، میزان عناصر کم مصرف در خاک افزایش یافت، و این افزایش متناسب با افزایش در تعداد دفعات و مقادیر کاربرد لجن فاضلاب بود (جدول3)، در همین ارتباط، خیامباشی (1376)، عرفان منش (1376)، کرمی و همکاران (1386)، اسکوسن و کلینگر (1991)، آنتونیادیس و آلووی (2002) نیز افزایش غلظت‌های عناصر کم مصرف کل و قابل عصاره‌گیری با *DTPA* در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب در مقایسه با شاهد را متناسب با مقدار و تعداد دفعات لجن مصرفی گزارش کردند. فاضلاب و لجن حاصل از آن دارای مقادیر متفاوتی از عناصر کم مصرف می‌باشد که اکثراً مقدار آنها از مقادیر این عناصر در خاک بیشتر است. به همین جهت مصرف لجن فاضلاب در مقادیر زیاد و به صورت متوالی ممکن است منجربه تجمع این عناصر در خاک و گیاه گردد (اسمیت، 2009).

مطالعات درباره عناصر میکرو کل خاک‌ها محدود است. در بیشتر خاک‌ها مقدار عناصر کم مصرف کل به پتانسیل فراهمی عناصر برای گیاهان مربوط نیست. اما، مقدار کل فراوانی نسبی را نشان می‌دهد (گوپتا، 2008). برآورد فقط مقدار کل کاتیون‌های عناصر کم مصرف در خاک هیچ اطلاعاتی راجع به تحرک، فراهمی برای گیاه، واکنش‌پذیری شیمیایی و اثرات بیولوژیکی عرضه نمی‌کند. ارزیابی تأثیر آنها در کشاورزی برای تشخیص فرم‌هایی که عملاً در خاک وجود دارند ضروری است (نارول، 2010).

نتایج این تحقیق همچنین حاکی از آن است که با کاربرد لجن فاضلاب به صورت جداگانه و یا به صورت تلفیقی با کود *N-P-K* در مقادیر و دفعات مختلف غلظت برخی عناصر غذایی کم مصرف در اندام هوایی و ریشه گیاه تربچه به طور معنی‌داری نسبت به شاهد و کود شیمیایی افزایش یافت. تحقیقات نشان می‌دهد که با مصرف کودهای آلی فراهمی عناصر غذایی از جمله عناصر غذایی کم مصرف به واسطه مکانیسم‌های مختلف افزایش می‌یابد (مگدوناق و همکاران، 1995). کاربرد لجن فاضلاب در خاک، تولید کمپلکس‌های آلی محلول با فلزات می‌کند، که این کمپلکس‌ها بسیار متحرک بوده و در مقایسه با یون‌های فلزی آزاد به سهولت به وسیله گیاهان جذب می‌شوند (بهبهانی نیا، 2009). تحقیقات زیادی افزایش غلظت فلزات کم مصرف در بافت‌های گیاه را به دنبال کاربرد لجن فاضلاب در خاک گزارش کردند، زیرا که به علت فرآیند کمپوست شدن، این عناصر در فرم‌های سهل الوصول برای گیاهان می‌باشند (لوگان و چنی، 1983؛ کری و همکاران، 1987؛ برتی و جاکوبز، 1996، هودا و همکاران، 1996). به دنبال کاربرد لجن فاضلاب غلظت عناصر کم مصرف در محصولات سیب-زمینی، چغندرقند، کلم سفید (اسچل تینجا، 1987)، کلم بروکلی (پرز- مورسیا و همکاران، 2006)، گوجه‌فرنگی (عرفانی آگاه، 1375)، کاهو و اسفناج (عرفانی آگاه، 1375، واثقی و همکاران،1380؛ افیونی و همکاران، 1377؛ بهبهانی نیا و همکاران، 2009)، گندم (کرمی و همکاران، 1386) به طور معنی‌داری افزایش یافت. علت افزایش جذب عناصر کم مصرف در اندام‌های گیاهی با کاربرد لجن، افزایش مقدار کل و قابل عصاره‌گیری با *DTPA* عناصر کم مصرف خاک می‌باشد (خدیوی، 1382؛ کرمی و همکاران، 1386؛ مک برید، 2002؛ مورا و همکاران، 2002). اثر تجمعی لجن فاضلاب به مدت سه سال متوالی نیز باعث افزایش معنی‌داری در غلظت عناصر کم مصرف در گیاه تربچه شد. همان طوری‌که کاوزال و همکاران (2005) گزاش کردند اثر تجمعی کاربرد 52 تن در هکتار در سال لجن فاضلاب طی دو سال متوالی سبب عملکرد 45 تن در هکتاری تربچه شد. که علاوه بر عملکرد، پارامترهای دیگر نیز به طور معنی‌دار تفاوت‌های تیمارها را نشان دادند.

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که بیشترین غلظت مس در اندام هوایی تربچه متعلق به تیمار لجن فاضلاب 20 تن در هکتار غنی شده با 50 درصد کود شیمیایی بوده است (نمودار 3). اندام هوایی تربچه تمایل زیادی به تجمع مس دارد (ساکارییاه و همکاران، 2005)، و از آنجایی که مس تمایل به جذب شدن خیلی قوی در خاک دارد گیاهان جذب این عنصر را خیلی بیشتر نسبت به روی کنترل می‌کنند. بنابراین فراهمی مس و غلظت آن در

Archive of SID

www.SID.ir

بافت گیاه، معمولاً خیلی کمتر از روی است (کاباتا-پندیاس و پندیاس، 1992).

رویهم رفته، تیمارهای کودی آلی چه به صورت تلفیقی با کودهای *N-P-K* و چه به صورت جداگانه تأثیر زیادی بر غلظت عناصر غذایی کم مصرف در خاک و نهایتاً فراهمی آنها برای گیاه تربچه داشته است. اصغر و همکاران (2006) گزارش کردند که افزایش در رشد و عملکرد تربچه می‌تواند به افزایش عرضه عناصر غذایی در حضور کود آلی به عنوان یک منبع غنی از عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف منسوب گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در خاک باعث افزایش غلظت عناصر غذایی کم مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) در خاک و بافت‌های گیاه تربچه شده است. همچنین کاربرد سه سال متوالی تیمارهای کودی لجن فاضلاب در مقایسه با کاربرد یک ساله و دو ساله آنها بیشترین اثر را در افزایش غلظت عناصر کم مصرف خاک، ریشه و اندام هوایی تربچه داشته است، اما کاربرد سه سال متوالی لجن فاضلاب با توجه به اثرات تجمعی لجن پیشنهاد نمی‌شود. بنابراین استفاده از لجن فاضلاب در مزرعه باید از هر جهت بررسی شود، و نیز با توجه به محتوای بالای عناصر کم مصرف در لجن فاضلاب توصیه می‌شود مصرف آن بر اساس خصوصیات خاک و گونه گیاهی مورد نظر انجام شود. تعیین مقادیر کاربرد لجن فاضلاب در زمینهای کشاورزی نیز باید بر اساس خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب صورت گیرد. از آنجایی که سبزیجات ریشه‌ای از جمله تربچه به استفاده از لجن فاضلاب حساس می‌باشند باید دقت بیشتری در کاربرد لجن فاضلاب در کشت تربچه مبذول داشت. همچنین پیشنهاد می‌شود که تحقیقات گسترده تری برای استاندارد نمودن روش و مقادیر مناسبی از کاربرد این اصلاح کننده آلی صورت بگیرد.

جدول 1- خصوصیات شیمیایی خاک مورد نظر و لجن فاضلاب مورد استفاده

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده	واحد	لجن فاضلاب مورد استفاده		خاک
pH	-	6/5		7/55
قابلیت هدایت الکتریکی	dSm^{-1}	5/5		1/17
کربن	%	21		2/41
نیتروژن	%	1/4		0/234
فسفر	ppm	4300		14/56
پتاسیم	ppm	4893/9		264/84
بافت	-	-		سیلتی رسی
		کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
آهن	ppm	16541/5	86/94	25642	44/63
منگنز	ppm	235/5	43/34	481/88	9/92
روی	ppm	471	318/03	100/04	1/02
مس	ppm	41/75	25/75	26/5	2/21
کادمیم	ppm	2/59	0/61	1/06	0/04
سرب	ppm	54/45	4/98	31/23	0/67
کروم	ppm	164	0/21	29/3	0/02
نیکل	ppm	217/6	42/19	42/35	0/5

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس اثرات مقادیر کود و کاربرد سالانه کود بر غلظت عناصر میکرو کل و قابل جذب خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		آهن		روی		مس		منگنز	
		کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
تکرار	2	334352/1$^{n.s}$	19/77$^{n.s}$	2932/4*	1/63$^{n.s}$	16/41$^{n.s}$	0/59 $^{n.s}$	22/47$^{n.s}$	11/64$^{n.s}$
نوع کود	5	1141463/5$^{n.s}$	17/16$^{n.s}$	520/55$^{n.s}$	43/26***	33/98**	3/3*	280$^{n.s}$	11/44$^{n.s}$
خطای a	10	1580038/9	54/64	374/41	1/24	5/25	0/88	250/81	121/28
کاربرد سالانه کود	2	15424121/3***	214/8***	3038/66***	34/6 ***	55/9***	7/16***	4687/2***	764/6***
اثر متقابل	10	2106924/18$^{n.s}$	18/5$^{n.s}$	126/72$^{n.s}$	3/74***	4/51$^{n.s}$	0/63$^{n.s}$	382/8$^{n.s}$	56/86$^{n.s}$
خطای b	24	930601/06	11/41	233/57	0/69	4/58	0/36	206/91	48/69

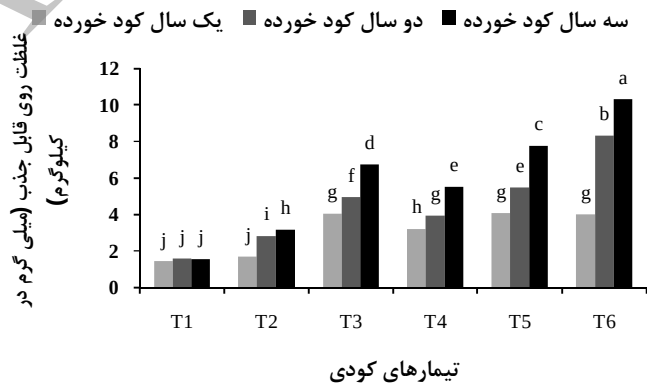
***: در سطح 0/001، **: در سطح 0/01 و *: در سطح 0/05 معنی‌دار است و n.s معنی‌دار نیست.

جدول 3- مقایسه میانگین غلظت عناصر میکرو کل و قابل جذب خاک (میلی گرم در کیلو گرم)

تیمار	آهن		روی		مس		منگنز	
	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
T1	25642^{a}	46/55^{a}	97/68^{b}	1/03^{e}	26^{d}	3/07^{c}	481/76^{b}	14/04^{a}
T2	26334^{a}	50/83^{a}	102/69^{ab}	2/57^{d}	26/89^{cd}	3/54^{c}	484/19^{ab}	16/09^{a}
T3	26371^{a}	52/11^{a}	112/26^{ab}	5/23^{b}	28/65^{bcd}	4/42^{ab}	494/7^{ab}	15/77^{a}
T4	25913^{a}	52/26^{a}	105/37^{ab}	4/22^{c}	27/74^{bc}	4/01^{bc}	487/67^{a}	17/19^{a}
T5	26595^{a}	52/68^{a}	119/38^{a}	5/77^{b}	29/24^{a}	4/52^{ab}	487/04^{ab}	17/42^{a}
T6	26615^{a}	54/06^{a}	108/66^{ab}	7/55^{a}	31/49^{b}	5/03^{a}	484/7^{ab}	16/08^{a}
کاربرد سالانه کود								
مصرف یکساله	25312^{c}	49/1^{b}	96/78^{b}	3/08^{c}	26/56^{c}	3/6^{b}	471/71^{c}	10/31^{b}
مصرف دوساله	26317^{b}	52/39^{b}	104/19^{b}	4/52^{b}	28/35^{b}	4/05^{b}	485/92^{b}	15/40^{b}
مصرف سه ساله	27105^{a}	56^{a}	122/05^{a}	5/85^{a}	30/08^{a}	4/84^{a}	503/91^{a}	23/24^{a}

* : میانگین هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح 5% آزمون دانکن اختلاف معنی دار ندارند.

T_1: شاهد (بدون مصرف کود شیمیایی و لجن فاضلاب)، T_2: کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل هر یک به میزان 75 و اوره 200 کیلوگرم در هکتار)، T_3: لجن فاضلاب 20 تن در هکتار همراه با 50 درصد کود شیمیایی، T_4: لجن فاضلاب 40 تن در هکتار، T_5: لجن فاضلاب 40 تن در هکتار به همراه 50 درصد کود شیمیایی، T_6: لجن فاضلاب 40 تن در هکتار.



شکل 1- مقایسه میانگین اثرات متقابل انواع کود و کاربرد سالانه کود بر غلظت روی قابل جذب در خاک

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 4- تجزیه واریانس اثرات مقادیر کود و کاربرد سالانه کود بر غلظت عناصر میکرو ریشه و اندام هوایی تربچه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		آهن		روی		مس		منگنز	
		ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
تکرار	2	524/46*	1999/1$^{n.s}$	2648/73$^{n.s}$	1189/28 $^{n.s}$	172/22$^{n.s}$	130/97$^{n.s}$	7/15$^{n.s}$	1746/02$^{n.s}$
تیمار کودی	5	9639/9***	3069/28$^{n.s}$	5487/9 *	10814/45*	182/55$^{n.s}$	1114/8***	48/74**	814/27$^{n.s}$
خطای a	10	82/82	20472/77	1280/9	3614/71	90/04	73/31	5/99	1557/77
دفعات کوددهی	2	28320/4***	235403/3***	11962/9***	16824/8***	918/91***	1030/4***	133/8***	6789/95***
اثر متقابل	10	1834/82***	9670/57$^{n.s}$	1606/3$^{n.s}$	1437/41$^{n.s}$	115 $^{n.s}$	122/46*	10/96*	488/38$^{n.s}$
خطای b	24	69/19	7001/77	1226/64	594/62	104/57	45/64	3/73	440/78

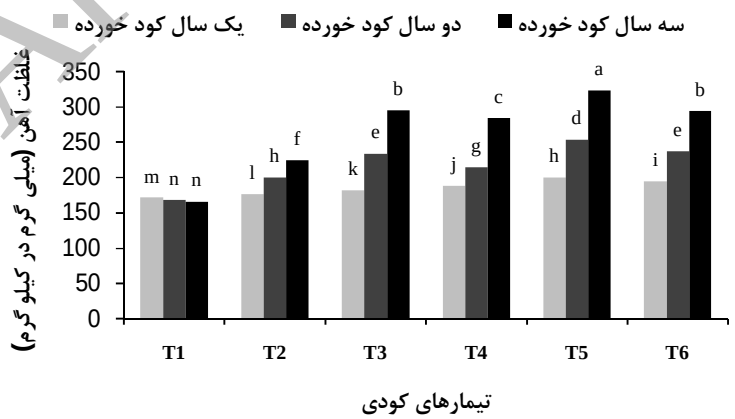
***: در سطح 0/001. **: در سطح 0/01 و *: در سطح 0/05 معنی‌دار است و n.s معنی‌دار نیست

جدول 5- مقایسه میانگین غلظت عناصر میکرو (میلی‌گرم در کیلوگرم) در ریشه و اندام هوایی تربچه در تیمارهای مختلف

تیمار	آهن		روی		مس		منگنز	
	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
T_1	168/34^{e}	520/94^{a}	47/57^{b}	151/78^{c}	13/86^{b}	35/78^{c}	13/1^{b}	86/09^{a}
T_2	200/09^{d}	487/31^{a}	61/29^{b}	176/80 ^{bc}	23/33^{ab}	46/61^{b}	15/09^{b}	96/84^{a}
T_3	236/73^{bc}	491/63^{a}	64/57^{b}	209/89^{b}	20/64^{ab}	59/64^{a}	19/08^{a}	101/08^{a}
T_4	229/11^{c}	519/91^{a}	82/91^{ab}	179/38^{bc}	22/62^{ab}	50/74^{b}	17/37^{a}	77/76^{a}
T_5	259/09^{a}	529/75^{a}	84/80^{ab}	249/46^{a}	23/30^{ab}	63/13^{a}	18/82^{a}	101/87^{a}
T_6	240/81^{b}	527/06^{a}	118/07^{a}	215/07^{ab}	27/44^{a}	64/45^{a}	17/73^{a}	88/63^{a}
دفعات کوددهی								
یکبار کوددهی	185/63^{c}	390/72^{c}	52/18^{b}	165/15^{c}	16/7^{b}	46/51^{c}	14/1^{c}	76/22^{b}
دو بار کوددهی	217/04^{b}	530/14^{b}	73/88^{b}	199/94^{b}	18/88^{b}	52/17 ^{b}	16/9^{b}	86/19^{b}
سه بار کوددهی	264/42^{a}	617/44^{a}	103/53^{a}	226/10^{a}	30/02^{a}	61/5^{a}	19/54^{a}	113/72^{a}

* : میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح 5% آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

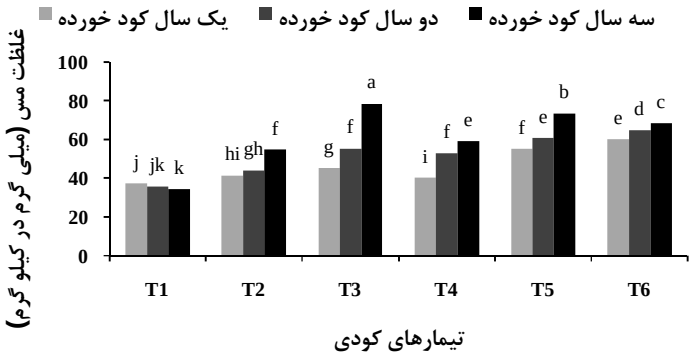
T_1: شاهد (بدون مصرف کود شیمیایی و لجن فاضلاب)، T_2: کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل هر یک به میزان 75 و اوره 200 کیلوگرم در هکتار)، T_3: لجن فاضلاب 20 تن در هکتار همراه با 50 درصد کود شیمیایی، T_4: لجن فاضلاب 40 تن در هکتار، T_5: لجن فاضلاب 40 تن در هکتار به همراه 50 درصد کود شیمیایی، T_6: لجن فاضلاب 40 تن در هکتار.



شکل 2- مقایسه میانگین اثرات متقابل انواع کود و کاربرد سالانه کود بر غلظت آهن در ریشه تربچه

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 3- مقایسه میانگین اثرات متقابل انواع کود و کاربرد سالانه کود بر غلظت مس در اندام هوایی تربچه

شکل 4- مقایسه میانگین اثرات متقابل انواع کود و کاربرد سالانه کود بر غلظت منگنز در ریشه تربچه

فهرست منابع:

۱. افیونی، م.، ی. رضایی نژاد و ب. خیام باشی.1377. اثر لجن بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله اسفناج و کاهو، علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 2. شماره اول. 19-29.

۲. آجودان زاده، م.، ا. گلچین و ج. لامعی هروانی. 1378. بررسی تأثیر متقابل کیفیت و مقدار ماده آلی و سطوح نیتروژن مصرفی بر عملکرد سیب زمینی.

۳. امامی، ع. 1375. روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول. نشریه شماره 982. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

٤. خدیوی، بروجنی،1382. اثر کودهای آلی بر اشکال شیمیایی فلزات سنگین در خاک و جذب این عناصر توسط گندم . پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. خیامباشی، ب. 1376. اثر استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود در آلایش و انباشت عناصر سنگین در خاک و گیاه. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

٦. عرفان منش، م. 1376. اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر برخی خصوصیات خاک و جذب و تراکم عناصر سنگین به وسیله اسفناج و گوجه فرنگی. دانشگاه صنعتی اصفهان. پایان نامه، 117 صفحه.

۷. عرفانی آگاه، ع. 1375. بررسی اثر فاضلاب‌های تصفیه شده خانگی بر کیفیت و عملکرد گوجه‌فرنگی و کاهو و ویژگی‌های خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد در رشتهٔ آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. 230 صفحه.

Archive of SID

www.SID.ir

۸. عرفان منش، م. 1376. اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های خاک و جذب و تراکم عناصر سنگین به وسیله اسفناج و گوجه‌فرنگی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۹. کرمی، م.، ی. رضایی نژاد.، م. افیونی و ح. شریعتمداری. 1386. اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت عناصر سرب و کادمیوم در خاک و گیاه گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 11: 1. 79-94.

۱۰.کرمی، م.، م. افیونی.، ی. رضایی نژاد و ا. ح. خوشگفتارمنش. 1386. آثار تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت روی و مس در خاک و گیاه گندم. پایان نامه دکترا، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۱.هودجی، م.، م. ج.، عابدی.، م. افیونی و س. ف. موسوی. 1380. تأثیر مصرف لجن فاضلاب و کادمیوم بر غلظت کادمیوم در شاهی، کاهو و اسفناج. مجله علوم کشاورزی. 57-72.

۱۲. واثقی، س. ح. شریعتمداری. م. افیونی و م. مبلی. 1380. اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در گیاهان کاهو و اسفناج در خاک های با pH متفاوت. مجله علوم و فنون باغبانی ایران، جلد 2، شماره های 3 و 4، صفحه های 125 تا 142.

۱۳.واثقی، س.، م. افیونی.، ح. شریعتمداری و م. مبلی. 1382. اثر لجن فاضلاب و pH بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف و فلزات سنگین. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال هفتم، شماره سوم.

14. Afyuni, M., R. Schulin., and Y. Rezaeinejad. 2006. Extractability and plant uptake of Cu, Zn, Pb and Cd from a sludge-amended Haplargid in central Iran. Arid Land Res. Manag. 20(1): 29-41.
15. Antoniadis, V., and B. J. Alloway. 2002. The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludge- amended soils. Environ. Pollut. 117: 515- 521.
16. Asghar, H. N., M. Ishaq., Z. A. Zahir., M. Khalid., and M. Arshad. 2006. Response of radish to integrated use of nitrogen fertilizer and recycled organic waste. Pak. J. Bot., 38(3): 691-700.
17. Behbahaninia, A., S. A. Mirbagheri., N. Khorasani., J. Nouri., and A. H. Javid. 2009. Heavy metal contamination of municipal effluent in soil and plants. Journal of Food, Agriculture & EnvironmentVol.7(3&4) : 851-856.
18. Berti, W.R., and., L.W. Jacobs. 1996. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sludge application. J. Environ. Qual. 25: 1025-1032.
19. Bigdeli, M., and M. seilsepour. 2008. Investigation of metals accumulation in some vegetables irrigated with waste water in Shahre Rey-Iran and toxicological implications. American-Eurasian j. Agric. & Environ. Sci., 4 (1): 86-92
20. Castro, E., P. Manas., and J. De las Heras. 2009. A comparision of the applications of different waste products to a lettuce crop: Effects on plant and soil properties. Scientia Horticulturae 123, 148-155.
21. Chang, A. C., A. L. Page., G. E. Wameke., and G. B. Johanson. 1982. Effect of sludge application on the zinc accumulation in Swiss chard and radish. J. Environ. Qual, 16: 217-221.
22. Chesters, G., O. J. Attone., and O. N. Allen. 1957. Soil aggregation in relation to various soil constituents. Soil Sce. Soc. Am. Proc. 21: 272-273.
23. Corey, R.B., L.D. King., C. Lue-Hing., D.S. Fanning., J.J. Street., and J.M. Walker. 1987. Effects of sludge properties on accumulation of trace elements by crops. P25-51 In. land Application of Sludge, Food Chain Implications.A. L, Page et al., (ed) Lewis Pub., Chelsa, MI.

Archive of SID

www.SID.ir

24. Gupta, A. P., Narwal, R. P., and Antil, R. S. (1989). Effect of different levels of nitrogen and sewage sludge on wheat. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 37: 576-578.
25. Gupta, U. C., WU. Kening., and Siyuan, L. 2008. Micronutrients in soils, crops, and livestok. Earth Science Frontiers. 15(5): 110-125.
26. Kabata, P. and A. H. Pendias. 1992. Trace element in soil and plants 2nd ed., CRC press, New York.
27. Kauthale, V. K., P. S. Takawale, P. K. Kulkarni., and J. N. Daniel. 2005. Influence of Flyash and Sewage Sludge Application on Growth and Yield of Annual Crops. International Journal of Tropical Agriculture. Vol. 23 (1-4): 49-54.
28. Knudsen, D. and., G. A. Peterson. 1990. Lithium, sodium, and potassium. In: A.L. Page. (eds.), Methods of soil analysis. Part2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison, WI, U.S.A. 225-246.
29. Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
30. Logan, T. J., and R.L. Chaney. 1983. Utilization of municipal wastewater sludge on land-metals. P. 235-236. In A.L. Page et al. (ed.) Proc. Of the 1983 Workshop on Utilization of Municipal Wastewater and Sludge on Land. Denver, CO. 23-25 Feb. 1983. Univ. Of California, Riverside.
31. Lucas, R. F., and B. D. Knezek. 1973. Climatic and Soil Conditions Promoting Micronutrient Deficiencies in Plants. Micronutrients in Agriculture. Soil Science Soc. Of America.
32. Luo, Y.M., and Christie, P. 1998. Bioavailability of copper and zinc in soils treated with alkaline stabilized sewage sludges. Journal of Environmental Quality 27, 335–342.
33. Mcdonagh, J., B. Fand., V. Toomson., K. Limpinuntana., and E. Giller. 1995. Grain lequmes and green manures as pre-rice crops in North Thailands. II. Residue decomposition. Plant and Soil. 177: 127-136.
34. McBride, M. B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge. Journal Environment Qualified. 24: 5-18.
35. McGrath, S. P., A. M. Chaudri., and K. E. Giller. 1995. Long-term effects of metal in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. Journal Industrial. Microbiological. 14: 97-104.
36. McGrath, S. P., F. J. Zhao., S. J. Dunham., A. R. Crosland., and K. Coleman. 2000. Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. Journal Environment Qualified. 29: 875-883.
37. Morera, M. T., J. Echeverria., and J. Garrido. 2002. Bioavailability of heavy metals in soils amended with sewage sludge. Can. J. Soil Sci. 82: 433-438.
38. Narwal, R.P., R. Kumar., and R.S. Antil. 2010. Long-term effect of farmyard manure and N on the distribution of zinc and copper in soil fractions under pearl millet-wheat cropping system. Proceedings of 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Australia, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.
39. Olsen, S. R., and L. E. Sommers. 1990. Phosphorus. PP. 403-431. In: A. L. Page. (Eds.), Methods of soil analysis. Part 2.2nd ed. Argon. Monogr. 9. A.S.A. Madison. WI. U.S.A.
40. Perez-Murcia, M. D., R. Moral., J. Moreno-Caselles., A. Perez-Espinosa., and C. Paredes. 2006. Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. Bioresource Technology 97: 123–130.

Archive of SID

www.SID.ir

41. Scheltinga, H. M. H., 1987.Sludge in agriculture: the European approach. Wat. Sci. Tech. 18: 9-18.
42. Skousen, J., and C. Clinger.1991. Sewage sludge land application program in west Virginia. J. Soil and Water Cons. 48. (2): 145-151.
43. Sommers, L, E. 1977. Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizers. J. Environ, Qual. 6(6): 225-231.
44. Sukkariyah, B. F., G. Evanylo., L. Zelazny., and R. L. Chaney. 2005. Cadmium, Copper, Nickel, and Zinc Availability in a Biosolids-Amended Piedmont Soil Years after Application.
45. Tarwadi, K., and V. Agte. 2005. Antioxidant and micronutrient quality of fruit and root vegetables from the Indian subcontinent and their comparative performance with green leafy vegetables and fruits. *J Sci Food Agric* 85:1469–1476.
46. Westerman, R. L. 1990. Soil testing and plant analysis. SSSA, Madison, WI.
47. Wei, Y. J., and Y. Liu. 2005. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. Chemosphere. (59): 1257-1265.

Archive of SID

www.SID.ir