تأثیر لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر رشد و عملکرد و جذب آهن، روی، منگنز و نیکل در گل جعفری

معصومه شریفی*، مجید افیونی و امیرحسین خوشگفتارمنش[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۰/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۵/۱۸)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر لجن فاضلاب، کمپوست و کود گاوی بر رشد و جذب آهن، روی، منگنز و نیکل در گل جعفری آزمایشی گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی با سه تیمار (لجن فاضلاب، کمپوست و کود گاوی به مقدار ۲۵ تن در هکتار) و در ۳ تکرار انجام شد. کاربرد ضایعات آلی اثر معنی‌داری بر افزایش ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک داشت. تیمار کمپوست سبب افزایش قابل توجه Fe، Zn، Mn و Ni قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک شد. کاربرد ضایعات آلی باعث افزایش معنی‌دار رشد گل جعفری شد، در حالی که بیشترین مقدار رشد گیاه مربوط به تیمار کمپوست بود. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار جذب آهن، روی، منگنز و نیکل توسط شاخساره گل جعفری و همچنین بیشترین درصد انتقال فلزات به شاخساره مربوط به تیمار کمپوست بود. به طور کلی استفاده از کمپوست در کاشت گل جعفری اثر مثبتی بر شاخص‌های رشد و مقدار جذب عناصر کم مصرف توسط گیاه داشت.

واژه‌های کلیدی: ضایعات آلی، گل جعفری، رشد، عناصر کم مصرف

مقدمه

گل جعفری (*Tagetes signata* L.) یک گیاه علفی و یک ساله از تیره مرکبه یا کمپوزه است. گل، برگ و بوته این گیاه بوی تندی دارد و گل‌های بزرگ، منفرد و چندتایی را تولید می‌کند که به رنگ‌های نارنجی یا زرد می‌باشند (۲۰). این گیاه مقاوم به گرما و کم آبی بوده و بیشتر از آن به عنوان یک گیاه زینتی در پارک‌ها، چمن‌کاری‌ها، میادین و بولوارهای داخل شهر استفاده می‌شود. شکل رویشی این گیاه به صورت نشا یکساله است. حدود ۶ تا ۱۲ هفته قبل از کاشت در محیط باز، بذر این گیاه در شرایط محیطی کنترل شده مانند گلخانه کشت شده و پس از قوی شدن گیاه، به محل مورد نظر انتقال پیدا می‌کند (۲۰). برای رشد گل جعفری، خاکی سبک با زهکشی مناسب و ماده آلی کافی نیاز است. در اراضی خشک و نیمه خشک، مقدار ماده آلی خاک بسیار کم است. در ایران مقدار ماده آلی در بیش از ۶۰٪ از اراضی کشاورزی کمتر از ۱٪ است (۳). از طرف دیگر، خاک این مناطق اغلب به علت داشتن خاصیت قلیایی (pH >۷) و درصد بالای آهک، دارای کمبود شکل قابل جذب عناصر غذایی، به ویژه عناصر کم مصرف مانند آهن، مس، روی و منگنز برای گیاهان می‌باشد. کمبود عناصر کم مصرف از عوامل محدود کننده رشد گیاه،

۱. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sharifimsm@yahoo.com

زیبایی ظاهری گیاه و ایجاد و گسترش فضای سبز محسوب می‌شود. برای توسعه فضای سبز و حفظ محیط زیست، افزایش ماده آلی به خاک ضروری است. در همین راستا استفاده از ضایعات آلی یکی از مهمترین راه‌های تأمین ماده آلی خاک و بازچرخ طبیعی این ترکیبات است (۳۵). بر اساس گزارش آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) در سال ۲۰۰۰ مقدار لجن تولید شده در آمریکا ۷ میلیون تن بوده که حدود ۵۴٪ آن در اراضی کشاورزی استفاده شده است (۲۵).

کاربرد کودهای آلی (لجن فاضلاب، کمپوست و کود گاوی) در خاک‌های سنگین می‌تواند دانه بندی، تخلخل، نفوذپذیری و تهویه را بهبود بخشد و در خاک‌های شنی به نگه‌داری آب و مواد غذایی کمک می‌کند (۹). همچنین استفاده از ضایعات آلی علاوه بر افزایش ماده آلی، باعث افزودن مقادیری نیتروژن، فسفر و عناصر کم مصرف (نظیر آهن و روی) به خاک شده که این امر منجر به بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود (۱۴و۲۸). مطالعات مختلف نشان داده است که ضایعات آلی مانند لجن فاضلاب، کمپوست زباله و کود گاوی به طور طبیعی حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای از عناصر کم مصرف است که به علت وجود مواد آلی زیاد به صورت کلات‌های آلی درآمده و باعث افزایش حلالیت و قابلیت جذب این عناصر در خاک می‌شوند (۳۰). بر اساس گزارش دلگن و همکاران (۱۶) کاربرد لجن فاضلاب در خاک سبب افزایش تعداد برگ و طول ساقهٔ خیار شد. در مطالعه دیگری، افزودن لجن فاضلاب به خاک جنگلی دارای درختان کاج، باعث افزایش غلظت عناصر غذایی در خاک و افزایش معنی‌دار رشد گیاه شد (۱۴). مطالعات شبانیان بروجنی (۷) نشان داد که مقدار رشد چند نمونه گیاه فضای سبز شامل چمن، قرنفل و میمون با کاربرد لجن فاضلاب افزایش یافته است. خیام باشی (۵) در یک مطالعه مزرعه‌ای نشان داد که افزایش لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دو گیاه کاهو و اسفناج شد. عملکرد کاهو و اسفناج به ترتیب از ۰/۳ و ۴/۵ تن در هکتار در تیمار شاهد به ۱/۵ و ۱۰ تن در هکتار در تیمار ۴۵ تن لجن خشک در هکتار افزایش یافت.

اگرچه انتظار می‌رود استفاده از مواد زاید جامد آلی به دلیل‌دارا بودن مقدار بالای نیتروژن و فسفر سبب افزایش عملکرد شود، اما وجود مقدار بالای فلزات سنگین در آنها و ایجاد سمیت برای گیاه و یا افزایش شوری ناشی از کاربرد آنها در خاک ممکن است سبب کاهش رشد گیاه شود (۳۴). در یک بررسی که توسط مک گرات و همکاران (۲۶) صورت گرفت اثرهای نامطلوب باقی مانده استفاده از لجن فاضلاب کاهش تثبیت نیتروژن و کاهش عملکرد شبدر بود. در آزمایش دیگری، استفاده از لجن فاضلاب به دلیل افزایش بیش از حد شوری، موجب کم شدن عملکرد کاهو و یولاف شد (۱۵).

به هرحال، کاربرد علمی ضایعات آلی شهری و صنعتی در اراضی کشاورزی، به ویژه فضای سبز، مشکل دفع آنها را نیز تا حدودی بر طرف می‌کند. بنابراین این منابع مهم قابل استفاده نباید به عنوان ضایعات دفع نشدنی تلقی شوند، بلکه باید با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی و انجام تحقیقات مختلف، زمینه را برای کاربرد آنها فراهم نمود. در کشور ما نیز از یکسو دفع مناسب پسماندهای شهری و صنعتی و از سوی دیگر یافتن منابع آلی مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از پسماندهای آلی در کاشت گیاهان فضای سبز، به علت داشتن فلزات سنگین خطرناک، یکی از بهترین راهکارهای دفع این ضایعات می‌باشد زیرا این گیاهان به مصرف تغذیه انسان و دام نمی‌رسد. بنابراین لازم است در جهت بازیافت ضایعات و پیشگیری از آلودگی محیط زیست، استفاده از این مواد به عنوان کود آلی در کاشت گیاهان فضای سبز به طور دقیق مورد بررسی قرار گیرد.

هدف از انجام این پژوهش گلخانه‌ای بررسی تأثیر کاربرد لجن فاضلاب پلی‌اکریل، کمپوست زباله شهری اصفهان و کود گاوی بر رشد و جذب آهن، روی، منگنز و نیکل در بافت‌های گل جعفری و توزیع نسبی این عناصر در ریشه و شاخساره این گیاه بود.

مواد و روش‌ها

یک نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) که از نظر رده بندی هاپلو آرجیدز (*Fine loamy, mixed, thermic, Typic Haploargids*) بود، از مزرعه لورک نجف آباد واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان تهیه شده، به گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انتقال داده شد. بخشی از نمونه‌های خاک نیز جهت تعیین تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شد. این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی در سه تیمار و سه تکرار با گیاه گل جعفری پاکوتاه *(Tagetes signata)* انجام گرفت. تیمارها شامل لجن فاضلاب کارخانه پلی اکریل، کمپوست زباله شهری اصفهان وکود گاوی پوسیده بود. برای اعمال تیمارها ابتدا لجن، کمپوست و کود گاوی به مدت یک هفته در دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس در گلخانه هواخشک شده و سپس هر کدام به نسبت ۲۵ تن در هکتار به خوبی با خاک مخلوط شدند. یک نمونه از خاک بدون دریافت تیمار کودی به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. پس از اعمال تیمارها در خاک، هر گلدان با سه کیلو گرم خاک پر شد. به این ترتیب هر تیمار شامل ۹ گلدان بود. در هرگلدان ۳ عدد بذر گل جعفری کشت شد. با استفاده از آبیاری سطحی، رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حد ۷۵-۷۰ درصد ظرفیت مزرعه تأمین شد. مبارزه با علف‌های هرز به صورت مکانیکی انجام شد. در طول دوره رشد گیاه، با توجه به بالا بودن غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در آزمون خاک قبل از کاشت، از کود این عناصر استفاده نشد.

دو ماه پس از کاشت بذرها، برداشت بوته‌ها انجام شد. پس از جداسازی شاخساره و ریشه گیاهان، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس خشک کن قرار داده شده، سپس وزن خشک شاخساره و ریشه گیاهان اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خشک شده به وسیله آسیاب به صورت پودر درآمده و برای تعیین غلظت آهن و روی، نمونه‌های گیاهی به روش اکسایش تر و با استفاده از اسید نیتریک ۷۰٪، اسید کلریدریک غلیظ و آب اکسیژنه ۳۰٪ هضم شدند (۱۲). برای تعیین غلظت کل فلزات در لجن فاضلاب، کمپوست و کود گاوی نیز به همین روش عصاره‌گیری شد (۳۱). شکل قابل جذب آهن و روی در نمونهٔ خاک به وسیله محلول DTPA (Diethylene Triamine Pentaacetic Acid) ۰/۰۰۵ مولار در pH ۷/۲ عصاره‌گیری شد (۲۳). غلظت عناصر مورد نظر در عصاره‌های گیاه، لجن، کمپوست و کود گاوی به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۳۰۳۰ در طول موج خاص هر عنصر اندازه‌گیری شد (۲۷). قابلیت هدایت الکتریکی و pH نمونه‌های خاک و کودهای آلی در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد (۲۷). ظرفیت تبادلی خاک با روش استات سدیم اندازه‌گیری شد (۱۲). برای تعیین مقدار ماده آلی خاک و نمونه‌های کودی از روش اکسایش تر استفاده شد (۱۲). نتایج و داده‌های به دست آمده به عنوان پاسخ‌های گیاهی با نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

۱. ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد بررسی

برخی ویژگی‌های شیمیایی کمپوست، لجن فاضلاب و کود گاوی در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار pH در عصاره اشباع کودها اختلاف زیادی را نشان نداد. pH کمتر لجن فاضلاب ناشی از حضور اسیدهای آلی فراوان حاصل از تخمیر مواد آلی و همچنین اسیدهای معدنی وارد شده به سیستم انتقال فاضلاب همراه پساب می‌باشد (۱). کود گاوی بیشترین و کمپوست کمترین هدایت الکتریکی را داشت. بالا بودن هدایت الکتریکی کود گاوی به عوامل مختلفی از جمله رژیم غذایی حیوان بستگی دارد. کاربرد مقادیر زیاد لجن و کود گاوی در خاک ممکن است سبب افزایش شوری خاک شود.

لجن فاضلاب و کمپوست دارای مقادیر قابل توجهی ماده آلی می‌باشند (جدول ۱). بنابراین اضافه شدن ماده آلی به خاک می‌تواند اثرهای مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

جدول ۱. برخی ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده

ویژگی	واحد	لجن فاضلاب	کمپوست	کود گاوی	حد مجاز USEPA503
pH	–	۷/۳	۷/۵	۷/۷	–
هدایت الکتریکی (EC)	$dS\ m^{-1}$	۱۹/۳	۱۵/۸	۱۹/۸	–
ماده آلی (OM)	٪	۲۸/۸	۴۷/۵	۱۸/۸	–
نیتروژن کل	٪	۷/۴	۱/۸	۰/۹	–
منگنز	$mg\ kg^{-1}$	۱۰۲۴	۹۰۰	۱۱۵۰	–
آهن	$mg\ kg^{-1}$	۹۱۲۵	۵۸۷۵	۱۲۱۷۵	–
روی	$mg\ kg^{-1}$	۳۸۸	۳۸۱	۱۹۳	۲۸۰۰
مس	$mg\ kg^{-1}$	۷۴	۲۳۵	۶۹	۱۵۰۰
نیکل	$mg\ kg^{-1}$	۳/۳	۲۲/۶	۳۵/۹	۴۲۰
کادمیم	$mg\ kg^{-1}$	۱/۵	۳/۰	۲/۰	۳۹
کرم	$mg\ kg^{-1}$	۴۹/۴	۱۰۹/۰	۴۰/۷	۳۰۰۰
کبالت	$mg\ kg^{-1}$	۵/۰	۳/۱	۵/۸	–

و در نهایت رشد و عملکرد گیاه داشته باشد. با درنظر گرفتن درصد نیتروژن کل در لجن، کمپوست و کود گاوی، با اضافه کردن ۲۵ تن در هکتار از این کودها، مقدار قابل توجهی نیتروژن به خاک اضافه می‌شود که سهم به‌سزایی در تأمین نیاز گیاه به این عنصر دارد. بخش عمده نیتروژن به صورت آلی بوده که از طریق فرایندهای زیستی به تدریج معدنی شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (۲۴).

جدول ۱ غلظت برخی از عناصر سنگین در کودهای مورد استفاده در این آزمایش را نشان می‌دهد. وجود عناصری نظیر روی و آهن در این کودها برای گیاه مفید است. در مقابل، غلظت بالای عناصری مانند کادمیم در این کودها ممکن است زیانبار باشد. در کاربرد ضایعات آلی در کشاورزی توجه به غلظت عناصر سنگین سمی اهمیت زیادی دارد. زیرا استفاده زیاد و درازمدت از این ترکیبات می‌تواند موجب آلودگی خاک و انتقال این عناصر به زنجیرهٔ غذایی انسان و حیوان شود. مقایسه غلظت عناصر مذکور در لجن، کمپوست و کود گاوی مورد آزمایش با استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) (۳۳) نشان داد که غلظت این عناصر در محدوده مجاز بوده و این کودها از پتانسیل آلودگی کمی برخوردار می‌باشند.

۲. تأثیر کودهای آلی بر برخی ویژگی‌های خاک

تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. در ادامه، نتایج تأثیر کاربرد کودهای آلی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و همچنین غلظت فلزات قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک گزارش شده است.

تأثیر تیمارهای کودی بر pH خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. کاربرد کودهای آلی در مقایسه با شاهد، تأثیر معنی‌داری بر pH خاک نداشت. با توجه به زیاد بودن ظرفیت بافری خاک‌های آهکی، مقادیر زیادی از کود آلی و مدت زمان بسیار طولانی لازم است تا کاهش قابل ملاحظه‌ای در pH خاک ایجاد شود (۱۳). کاربرد کودهای آلی در مقایسه با شاهد، باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک شد (جدول ۳). کمپوست و لجن فاضلاب دارای مقدار ماده آلی بیشتری در مقایسه با کود گاوی بوده و به همین دلیل، افزایش بیشتری در ماده آلی خاک ایجاد کردند. نتایج پژوهش‌های مختلف، افزایش ماده آلی خاک را در اثر کاربرد کودهای آلی نشان داده است (۲ و۲۹). افزایش ماده آلی خاک سبب بهبود ویژگی‌های

جدول ۲. تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

ویژگی اندازه‌گیری شده	واحد	مقدار
بافت	_	لوم رسی سیلتی
pH	_	۸/۵
هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۲/۷
ماده آلی	٪	۱/۴
ظرفیت تبادل کاتیونی	$cmol+\ kg^{-1}$	۱۴/۸
آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA	$mg\ kg^{-1}$	۴/۳
روی قابل عصاره‌گیری با DTPA	$mg\ kg^{-1}$	۱/۷

جدول ۳. اثر کاربرد کودهای آلی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک

تیمار	pH	ماده آلی (٪)	CEC $cmol+\ kg^{-1}$	EC $(dS\ m^{-1})$
شاهد	۷/۸ a	۱/۴۵b	۱۴/۱۰b	۲/۷۵b
لجن فاضلاب	۷/۸ a	۱/۹۶a	۱۵/۹۳ a	۴/۰۷a
کمپوست	۸/۱ a	۲/۰۰ a	۱۴/۶۰b	۳/۱۳b
کود گاوی	۸/۱ a	۱/۹۰ a	۱۶/۱۰ a	۳/۰۵b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

فیزیکی و شیمیایی خاک شده و رشد گیاه را افزایش می‌دهد (۱۶).

افزودن کودهای آلی به خاک، سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شد (جدول ۳). این افزایش در تیمار کود گاوی (۱۶/۱) و لجن فاضلاب (۱۵/۹۳) در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود. گنجایش تبادل کاتیونی خاک با درصد ماده آلی خاک رابطه مستقیم دارد. افزودن کودهای آلی به خاک، افزایش ماده آلی و به دنبال آن، افزایش گنجایش تبادل کاتیونی خاک را موجب شده است (۱۷). خیام باشی (۵) گزارش کرد که پس از افزودن مقادیر ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار لجن فاضلاب، گنجایش تبادل کاتیونی افزایش نشان داد و این افزایش در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری بیش از عمق ۳۰-۱۵ خاک بود که دلیل آن را می‌توان بیشتر بودن بقایای آلی در لایه سطحی خاک دانست.

کاربرد کودهای آلی سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک در مقایسه با شاهد شد، اگرچه افزایش EC تنها در تیمار لجن فاضلاب معنی‌دار شد (جدول ۳). به طور کلی، کاربرد کودهای آلی در خاک، به ویژه خاک‌های قلیایی مناطق خشک، باعث تجمع نمک و افزایش EC خاک می‌شود (۱۱).

۳. اثر کاربرد کودهای آلی بر غلظت فلزات قابل عصاره‌گیری با DTPA

کاربرد لجن فاضلاب و کمپوست در مقایسه با شاهد، سبب افزایش معنی‌دار آهن قابل جذب خاک شد (جدول ۴). غلظت آهن قابل جذب خاک در تیمار کود گاوی نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد. بیشترین مقدار آهن قابل جذب برابر با ۸/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم، مربوط به تیمار کمپوست بود. آهن قابل جذب خاک در تیمار کمپوست، تا حدود دو برابر شاهد افزایش یافت. با وجود کمتر بودن غلظت آهن در کمپوست و لجن فاضلاب در مقایسه با کود گاوی، غلظت آهن

جدول ۴. مقایسه اثر کاربرد کودهای آلی بر غلظت قابل عصاره‌گیری با DTPA فلزات سنگین در خاک

تیمار	Fe	Zn	Mn	Ni
شاهد	۴/۳۰^{c}	۱/۶۶ ^{b}	۸/۵۰^{ab}	۱/۰۳^{b}
لجن فاضلاب	۷/۰۰^{b}	۲/۲۰ ^{ab}	۸/۳۰ ^{ab}	۱/۰۵^{b}
کمپوست	۸/۹۰ ^{a}	۳/۴۰ ^{a}	۹/۰۰^{a}	۱/۱۸^{a}
کودگاوی	۵/۲۰ ^{c}	۲/۵۰ ^{ab}	۷/۰۰ ^{b}	۰/۹۲^{c}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

قابل جذب در این تیمارها بیشتر از کود گاوی بود. علت این پدیده را می‌توان به تشکیل کمپلکس‌های آلی آهن با مواد آلی موجود در کود گاوی ربط داد. کود گاوی استفاده شده در این آزمایش از نوع پوسیده بود و احتمال تشکیل کلات‌های آلی نامحلول فلزات، با شکل‌های پوسیده موادآلی بیشتر است (۱۰). آهن توسط بخش آلی هوموسی شده کود گاوی در خاک با پیوند قوی جذب شده و سبب کاهش آهن قابل جذب در مقایسه با کمپوست و لجن فاضلاب شده است.

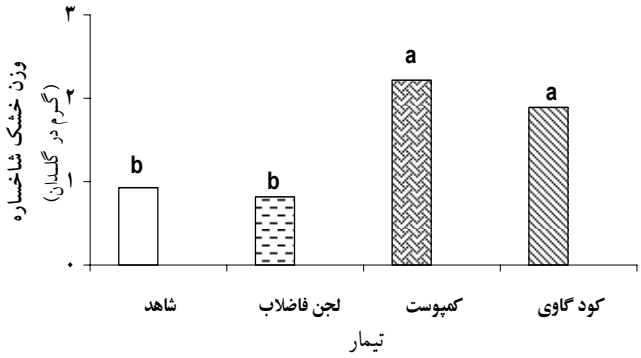
از طرفی برخی مطالعات نشان داد که ماده آلی اضافه شده به خاک توسط کود آلی با تشکیل کمپلکس با آهن، از رسوب آن جلوگیری کرده و حلالیت آن را در خاک بالا می‌برد (۳۰). افزایش مقدار آهن قابل جذب در خاک‌های تیمار شده با لجن و کمپوست را می‌توان به افزایش مقدار ماده آلی خاک ربط داد (جدول ۳). عباسی زاده (۸) گزارش کرد که لجن فاضلاب موجب افزایش آهن قابل جذب خاک شد. افزایش مقدار آهن قابل جذب خاک، به ویژه در خاک‌های آهکی، از اهمیت فوق‌العاده زیادی بر خوردار است، چرا که کمبود آهن از مهمترین مشکلات تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی است. افزایش مقدار آهن قابل جذب با مصرف کمپوست، لجن فاضلاب و کود گاوی نشان دهنده پتانسیل این کودها در کاهش مشکل کمبود آهن می‌باشد.

تیمارهای لجن فاضلاب، کمپوست و کود گاوی اثر معنی‌داری بر افزایش روی قابل جذب خاک داشتند. اگرچه بیشترین افزایش مربوط به تیمار کمپوست بود. نتایج مطالعات خدیوی بروجنی (۴) نیز نشان داد که کاربرد کودهای آلی سبب افزایش روی قابل جذب در خاک می‌شود که علت این پدیده، تجمع زیاد روی در حضور کودهای آلی در شکل‌های محلول (یونی و کمپلکس‌های آلی محلول) و تبادلی می‌باشد. بررسی‌های کلباسی و همکاران (۲۱) نشان داد که در خاک‌های آهکی، روی به صورت کربنات روی رسوب کرده و از دسترس گیاه خارج می‌شود. به همین دلیل، کمبود روی قابل جذب نیز یکی از مشکلات اصلی تغذیه گیاه در خاک‌های اصفهان بوده و به نظر می‌رسد کاربرد کودهای آلی با افزایش ماده آلی خاک بتواند تا حد زیادی در رفع این کمبود مؤثر باشد.

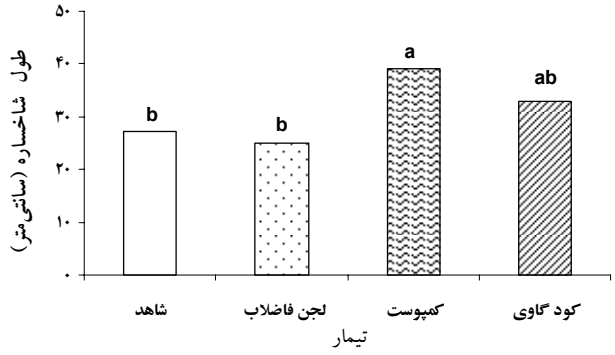
افزایش مقدار آهن و روی قابل جذب خاک در اثر کاربرد کودهای آلی، علاوه بر این که به وجود مقدار قابل ملاحظه این فلزات در کودهای آلی مربوط می‌شود، تجزیه مواد آلی کودها، تشکیل اسیدهای آلی و افزایش اسید کربنیک خاک را به دنبال داشته که در نهایت با کاهش pH خاک می‌تواند بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف نظیر آهن و روی اثر بگذارد.

مقدار منگنز قابل جذب در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب و کود گاوی در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری نداشت اما کاربرد کمپوست در خاک سبب افزایش معنی‌دار منگنز قابل عصاره‌گیری با DTPA خاک شد (جدول ۴). افزایش غلظت منگنز قابل جذب با استفاده از کودهای آلی در موارد متعدد گزارش شده است. بر اساس گزارش دلگن و همکاران (۱۶) اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک سبب افزایش مقدار قابل جذب Fe، Zn و Mn در خاک شد.

مقدار نیکل قابل جذب خاک با کاربرد کمپوست در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۴). مقدار نیکل



شکل ۱. وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان) گل جعفری در تیمارهای کود آلی



شکل۲. طول شاخساره (سانتی‌متر) گل جعفری در تیمارهای کود آلی

کود گاوی در مقایسه با کمپوست و لجن فاضلاب بیشتر بود. با این وجود کاربرد لجن فاضلاب و کمپوست مقدار نیکل قابل جذب خاک را بیشتر از کود گاوی افزایش داد که این موضوع را می‌توان به ترکیب متفاوت کودهای مورد استفاده ربط داد. مواد آلی و ترکیبات معدنی کود گاوی سطوح جذبی مناسبی را برای فلزات ایجاد نموده و سبب کاهش حلالیت و حرکت آنها می‌شوند. مواد آلی و باقیمانده‌های معدنی کودهای آلی شامل کانی‌های رسی، فسفات‌ها، سیلیکات‌ها و اکسیدهای آهن، آلومینیوم و منگنز مهمترین مواد جاذب برای فلزات سنگین هستند که می‌توانند این فلزات را برای طولانی مدت تثبیت کنند. فلزات سنگین می‌توانند بسته به شرایط محیط خاک توسط هر کدام از این بخش‌ها جذب و یا غیر فعال شوند (۲۲).

به طور کلی، کاربرد کمپوست سبب افزایش معنی‌دار آهن، روی، منگنز و نیکل قابل جذب خاک شد و این افزایش نشان دهنده پتانسیل این کود در برطرف کردن کمبود این عناصر در خاک می‌باشد.

۴. اثر کاربرد کودهای آلی بر رشد و عملکرد گیاه

نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد کمپوست، کود گاوی و لجن فاضلاب در خاک منجر به افزایش ارتفاع و عملکرد وزن خشک اندام هوایی گل جعفری در مقایسه با شاهد (بدون کاربرد کود آلی) شد (شکل‌های ۱و۲). این افزایش رشد احتمالاً به دلیل حضور ماده آلی و عناصر غذایی در این ترکیبات می‌باشد. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی گل جعفری (۲/۲۳ گرم در گلدان) مربوط به تیمار کمپوست بود که با تیمار کود گاوی اختلاف معنی‌داری نداشت، اما با تیمار لجن فاضلاب و شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد. بیشترین ارتفاع اندام هوایی گل جعفری (۳۴ سانتی‌متر) مربوط به تیمار کمپوست بود که اختلاف معنی‌داری با شاهد و تیمارهای لجن فاضلاب و کود گاوی داشت.

کاربرد کمپوست در خاک سبب افزایش معنی‌دار آهن، روی، منگنز و نیکل قابل جذب و نیز مقدار ماده آلی خاک شد. همه این عوامل سبب افزایش بیشتر رشد گل جعفری در این تیمار شد. ارتفاع اندام هوایی گل جعفری در تیمار کود گاوی با تیمار لجن فاضلاب اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین ارتفاع اندام هوایی گل جعفری (۲۳ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد بود که با تیمارهای کود آلی اختلاف معنی‌داری داشت.

۵. جذب آهن، روی، منگنز و نیکل توسط شاخساره و ریشه گل جعفری

مقدار جذب آهن شاخساره گل جعفری (حاصل ضرب غلظت آهن در عملکرد وزن خشک شاخساره) در تیمارهای کمپوست و کود گاوی در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری داشت و بیشترین جذب آهن توسط گل جعفری مربوط به تیمار

جدول ۵ . اثر تیمارهای مختلف کود آلی بر جذب فلزات ($gr\ ha^{-1}$) در شاخساره و ریشه گل جعفری

تیمار	Fe		Zn		Mn		Ni	
	شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه
شاهد	۱۲۱^{b}	۵۲۶^{b}	۲۰/۲ ^{ab}	۱۹/۲ ^{c}	۴۰۵^{ab}	۱۵۷^{ab}	۴/۷^{b}	۷/۹^{b}
لجن فاضلاب	۸۶^{b}	۶۵۳^{ab}	۱۵/۰ ^{b}	۲۰/۴۷ ^{c}	۲۳۶ ^{b}	۱۲۷ ^{b}	۵/۴^{b}	۹/۷^{ab}
کمپوست	۲۵۰ ^{a}	۶۴۳ ^{ab}	۴۸/۰ ^{a}	۳۲/۱ ^{a}	۶۹۵^{a}	۱۵۹^{ab}	۱۱/۵^{a}	۱۲/۰^{ab}
کودگاوی	۱۶۷ ^{ab}	۷۲۳ ^{a}	۲۹/۷ ^{ab}	۲۵/۷ ^{b}	۵۹۱ ^{ab}	۱۸۰ ^{a}	۱۴/۲^{a}	۱۴/۱^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

کمپوست بود (جدول ۵). با کاربرد کودهای آلی، مقدار جذب آهن توسط ریشه گیاه در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری داشت. کاربرد کودهای آلی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد وزن خشک شاخساره و ریشه گیاه و افزایش غلظت آهن شاخساره و ریشه گیاه شد. در نتیجه با کاربرد کودهای آلی، مقدار جذب آهن توسط گیاه افزایش یافت. مطالعات عباسی زاده (۸) نیز نشان داد که مصرف کمپوست و لجن فاضلاب در خاک سبب افزایش معنی‌دار جذب آهن توسط ذرت شد.

کاربرد کودهای آلی سبب افزایش جذب روی توسط شاخساره گل جعفری شد، اگرچه جذب روی تنها در تیمار کمپوست افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد داشت (جدول ۵). اغلب خاک‌های آهکی با مشکل کمبود آهن و روی مواجه می‌باشند که این کمبودها در مورد خاک‌های آهکی اصفهان نیز گزارش شده است. استفاده از کودهای آلی در خاک می‌تواند تا حد قابل توجهی این کمبودها را جبران کند. در پژوهشی، کاربرد کودکمپوست حاصل از زباله‌های شهری در خاک موجب افزایش جذب روی توسط ذرت شد (۶).

استفاده از کودهای آلی سبب افزایش جذب روی شاخساره گیاه شد، اما این افزایش در بیشتر تیمارها در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۵). عامل رقت ناشی از رشد می‌تواند دلیل احتمالی این نتیجه باشد. اگر افزایش غلظت فلز در گیاه در اثر کاربرد کودهای آلی متناسب با افزایش عملکرد گیاه باشد، جذب فلز توسط گیاه نیز افزایش می‌یابد. جذب روی توسط ریشه گل جعفری نیز در تیمارهای کمپوست و کود گاوی افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد داشت. به طور کلی در تمام تیمارها مقدار جذب آهن و روی توسط شاخساره گیاه بیشتر از جذب توسط ریشه گیاه بود.

مقدار جذب منگنز توسط شاخساره گل جعفری تنها در تیمار کمپوست افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد داشت (جدول ۵). جذب منگنز در ریشه گل جعفری نیز در تیمار کود گاوی افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد داشت. مقدار جذب منگنز توسط شاخساره بیشتر از ریشه بود.

کاربرد کمپوست و کود گاوی سبب افزایش معنی‌دار جذب نیکل توسط شاخساره گل جعفری شد (جدول ۵). مقدار جذب نیکل توسط ریشه گل جعفری با کاربرد کودهای آلی در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری داشت. بر اساس گزارش گرانا‌تو و همکاران (۱۹) کاربرد مواد زاید جامد آلی در خاک، غلظت Zn و Ni در برگ‌های ذرت را به طور قابل توجهی افزایش داد. نیکل جذب شده توسط ریشه بیشتر از مقدار جذب شده توسط شاخساره گل جعفری بود.

به طور کلی بیشترین مقدار جذب آهن، روی، منگنز و نیکل توسط شاخساره گل جعفری در تیمار کمپوست مشاهده شد. گل جعفری در تیمار کمپوست رشد بیشتری داشت و متناسب با افزایش رشد مقدار غلظت این عناصر نیز در گیاه افزایش یافت. در نتیجه بیشترین مقدار جذب فلزات توسط گیاه مربوط به تیمار کمپوست بود. بیشترین مقدار جذب آهن، منگز و نیکل

جدول ۶. درصد انتقال فلزات به شاخساره گیاه

تیمار	Fe	Zn	Mn	Ni
شاهد	۲۳/۰	۵۱/۳	۷۲/۰	۳۷/۳
لجن فاضلاب	۱۱/۶	۴۲/۳	۶۵/۰	۳۵/۸
کمپوست	۲۸/۰	۶۰/۰	۸۱/۴	۵۰/۰
کودگاوی	۱۹/۰	۵۳/۶	۷۶/۶	۵۰/۲

توسط ریشه گل جعفری مربوط به تیمار کود گاوی بود.

۶. عامل انتقال فلزات

عامل انتقال فلز (Translocation factor) به شاخساره گیاه، نسبت فلز جذب شده در شاخساره به کل فلز جذب شده در گیاه را نشان می‌دهد. این شاخص برای اندازه‌گیری توانایی گیاه برای انتقال یک عنصر به اندام‌های هوایی استفاده می‌شود. درصد انتقال آهن، روی، منگنز و نیکل به بخش هوایی گل جعفری در جدول ۶ نشان داده شده است. بزرگی عامل انتقال در شاهد در حد بینابینی بوده و در تیمارهای مشابه، آهن کمترین و منگنز بیشترین درصد انتقال به شاخساره را داشته است. البته میزان تحرک و پویایی عناصر بسته به نوع گیاه، غلظت فلز در خاک، pH خاک، مقدار ماده آلی، نوع خاک و مرحله رشد گیاه تغییر می‌کند (۱۸ و ۳۲). جذب و انتقال عناصر در گیاهان متفاوت یکسان نیست. معمولاً یک گونه گیاهی با توجه به فیزیولوژی خاص خود ممکن است نسبت به انتقال یک فلز مشخص، اختصاصی‌تر عمل کند. در نتیجه مقدار جذب و انتقال آن فلز را افزایش می‌دهد. مطالعات زیادی نشان داده که نوع گیاه یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر انتقال فلزات در سیستم‌های خاک و گیاه می‌باشد (۱۸ و ۳۲).

در بین تیمارهای کودی، بیشترین درصد انتقال فلزات به شاخساره مربوط به تیمار کمپوست بود. به طور کلی بزرگی عامل انتقال فلزات به شاخساره گل جعفری در تیمارهای کودی به ترتیب زیر بود:

کمپوست> کود گاوی> لجن فاضلاب

نتایج نشان می‌دهد که کمپوست در مقایسه با سایر تیمارهای کودی، مقدار فلزات قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک را بیشتر افزایش داده و در نتیجه در این تیمار، درصد بیشتری از فلزات توسط ریشه گیاه جذب شده است. با افزایش جذب فلزات، ظرفیت ریشه برای نگه‌داری این عناصر کاهش یافته و در نتیجه فلزات بیشتری به شاخساره انتقال پیدا کرده است. به طور کلی، افزایش جذب و انتقال فلزات به ریشه و شاخساره گیاه یکی از عوامل اصلی افزایش رشد گل جعفری در خاک تیمار شده با کمپوست بوده است.

نتیجه‌گیری

کاربرد کودهای آلی در مقایسه با شاهد، باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی و گنجایش تبادل کاتیونی خاک شد. کاربرد کمپوست سبب افزایش معنی‌دار آهن، روی، منگنز و نیکل قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک شد. نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش مواد زاید جامد آلی به خاک منجر به افزایش ارتفاع و رشد اندام هوایی گل جعفری در مقایسه با شاهد شد. بیشترین مقدار رشد و ارتفاع اندام هوایی گل جعفری در تیمار کمپوست مشاهده شد. همچنین در بین تیمارهای کودی، بیشترین مقدار جذب و انتقال فلزات به شاخساره مربوط به تیمار کمپوست بود. افزایش جذب و انتقال فلزات به ریشه و شاخساره گیاه یکی از عوامل اصلی افزایش رشد گل جعفری در خاک تیمار شده با کمپوست بوده است.

به طور کلی کاربرد لجن فاضلاب، کمپوست و کود گاوی در خاک سبب افزایش غلظت عناصر کم مصرف خاک و گیاه

شده و رشد گیاه را افزایش داده است. با توجه به کاشت گل جعفری در گلخانه‌ها و فضای سبز، کاربرد ضایعات آلی جهت اصلاح بستر کشت مناسب می‌باشد. با توجه به نتایج این آزمایش، کمپوست مقدار ماده آلی خاک را افزایش داده و از طرفی سبب بهبود وضعیت تغذیهٔ گیاه از نظر عناصر آهن، روی، منگنز و نیکل شده و در نتیجه می‌توان از کمپوست به عنوان یک کود مناسب با در نظر گرفتن احتیاط‌های زیست محیطی، در کشت گل جعفری استفاده کرد.

منابع مورد استفاده

۱. ابریشم چی، ا.، ع. افشار، و ج. بهشید. ۱۳۷۴. مهندسی فاضلاب (شرکت مهندسی متکاف و ادی). ترجمه، مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب و مرکز نشر دانشگاهی تهران.

۲. افیونی، م.، ی. رضایی نژاد و ب. خیام باشی. ۱۳۷۷. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله کاهو و اسفناج. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۲(۱): ۱۹-۳۰.

۳. بای بوردی، م.، م. ج. ملکوتی، ه. امیرمکری و م. نفیسی. ۱۳۷۹. تولید و مصرف بهینه کود شیمیایی در راستای اهداف کشاورزی پایدار. نشر آموزش کشاورزی، کرج.

۴. خدیوی بروجنی، ا. ۱۳۸۶. اثر کودهای آلی بر اشکال شیمیایی فلزات سنگین در خاک و جذب این عناصر توسط گندم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. خیام باشی، ب. ۱۳۷۶. اثر استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود در آلایش و انباشت عناصر سنگین در خاک و گیاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶. رحیمی، ق. ۱۳۷۱. مطالعه اثرات کود کمپوست بر شوری و آلودگی خاک و مقدار جذب عناصر سنگین توسط گیاه ذرت از خاک‌های حاوی کود کمپوست. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۷. شبانیان بروجنی، ح. ۱۳۸۱. بررسی اثر پساب و لجن فاضلاب کارخانه پلی اکریل بر رشد و غلظت عناصر سنگین چند نمونه گیاهان فضای سبز و گندم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۸. عباسی زاده، ا. ۱۳۸۶. اثر لجن فاضلاب و کمپوست بر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، عملکرد ذرت و آلودگی خاک به عناصر سنگین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

9. Abusharer, T. M. 1996. Modification of hydraulic properties of a semiarid soil in relation to seasonal application of sewage sludge and electrolyte producing compounds. Soil Technol. 9: 1-13.
10. Adriano, D. C. 2001. Trace elements in the terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of heavy metals. 2nd Ed., Springer-Verlag, New York.
11. Barbarik, K. A., J. A. Ippolito and D. G. Westfall. 1998. Extractable trace elements in the soil profile after years of biosolid application. J. Environ. Qual. 27: 801-805.
12. Benton, J., J. R. Jones and V. W. Case. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue sample. PP. 389-429. *In*: R. L. Westerman (Ed.), Soil Testing and Plant Analysis. SSSA, No. 3, Madison, WI.
13. Bergkavist, P., N. Jarvis, D. Berggren and K. Carlgren. 2003. Long term effects of sewage sludge applications on soil properties, cadmium availability and distribution in arable soil. Agr. Ecosyst. Environ. 97: 167-179.
14. Bramryd, T. 2001. Effect of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scot pine stand (*Pinus sylvestris* L.) in central Sweden. Forest Ecol. Manage. 147: 197–216.
15. Brownie, C. L., Y. M. Wong and D. R. Buhler. 1984. A predictive model for the accumulation of cadmium by container-grown plants. J. Environ. Qual. 13: 184-188.
16. Dolgen, D., M. N. Alpaslan and N. Delen. 2007. Agricultural recycling of treatment-plant sludge: A case study for a vegetable-processing factory. J. Environ. Manage. 84: 274–281.
17. Epestein, E., J. M. Tylor and R. L. Chaney. 1976. Effect of sewage sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. J. Environ. Qual. 5: 422-426.

18. Eriksson, J. and M. Soderstrom. 1996. Cadmium in soil and winter wheat grain in southern Sweden. I. Factors influencing Cd levels in soils and grains. Acta Agric. Scand. Sec. B. Soil Sci. 46: 240–248.
19. Granato, T. C., R. I. Pietz, G. J. Knafl, C. R. Carlson, J. P. Tata and C. Lue-Hing. 2004. Trace element concentrations in soil, corn leaves, and grain after cessation of biosolids applications. J. Environ. Qual. 33: 2078–2089.
20. http://www.1936. iranefarda.ir
21. Kalbasi, M., G. J. Racz and L. A. Lewen-Rudgers. 1978. Reaction products and solubility of applied zinc compounds in some Manitoba soils. Can J. Soil Sci. 125: 55-64.
22. Lavado, R. S. 1998. Heavy metal in soil of Argentina comparison between urban and agricultural soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 29: 1913-1917.
23. 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.
24. Mahidia, U. N. 1981. Water pollution and disposal of wastewater on land. Teta–McGraw Hill Publ., USA.
25. Martin, L. and G. Kelso. 2006. Use of Biosolids in Agriculture. NSW, DPI, Primefacts 856.
26. McGrath, S. P., P. C. Brookes and K. E. Giller. 1988. Effects of potentially toxic metals in soil derived from past application of sewage sludge on nitrogen fixation by trifolium repensl. Soil Biol. Biochem. 20: 415-427.
27. McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. PP. 199-224. *In*: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Biological Properties, 2nd Ed., Soil Sci. Soc. Am. Inc. Pub., USA.
28. Nyamangara, J. and J. Mzezewa. 2001. Effect of long-term application of sewage sludge to a grazed pasture on organic carbon and nutrients if clay soil in Zimbabwe. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 59: 13–18.
29. O'Brien, T., S. J. Herbert and A. V. Barker. 2002. Growth of corn in varying mixtures of paper mill sludge and soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33: 635–646.
30. Razavi Toosi, A. 2000. Interaction effects of compost, compost leachate and Mn on growth and chemical composition of spinach and rice seedling. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, Shiraz University, Iran.
31. Sposito, G., L. J. Lund and A. C. Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge. I: Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 260-264.
32. Twining, J. R., T. E. Payne and T. Itakura. 2004. Soil-water distribution coefficients and plant transfer factors for ^{134}Cs, ^{85}Sr and ^{65}Zn under field conditions in tropical Australia. J. Environ. Radioactivity 71: 71-87.
33. U.S. Environmental Protection Agency. 1993. Clean water act. Section 503, Vol. 58, No. 32, USEPA, Washington, DC.
34. Valders, J. M., M. Gal, U. Mingelgrin and A. K. Page. 1983. Some heavy metals in soil treated with sewage sludge, their effects on yield and their uptake by plants. J. Environ. Qual. 12: 49-57.
35. Whalen, J. K., C. Ching and B. M. Olsen. 2001. Nitrogen and phosphorus mineralization potentials of soil receiving repeated annual cattle manure applications. Biol. Fertil. Soil 34: 334-341.