مقایسه اثر کاربرد لجن فاضلاب و کود شیمیایی بر عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه اسفناج (*Spinosa olerace* L.) در سه بافت یک خاک آهکی

حمید رضا بوستانی[۱*] و عبدالمجید رونقی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۹/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۵/۸)

چکیده

افزودن لجن فاضلاب به خاک سبب افزایش ماده آلی خاک می‌شود، که ضمن بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌تواند در تأمین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مؤثر باشد. به منظور مقایسه اثر کاربرد لجن فاضلاب با کود شیمیایی بر عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف در گیاه اسفناج، آزمایشی در شرایط گلخانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل لجن فاضلاب (صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ گرم در کیلوگرم) و فاکتور دوم بافت خاک (لوم رسی، لوم شنی و شنی) بود. یک تیمار کود شیمیایی نیز برای مقایسه با لجن فاضلاب تهیه گردید. نتایج نشان داد که افزایش سطوح لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار وزن اندام هوایی گیاه اسفناج در سه بافت خاک شد. کاربرد کلیه سطوح لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن، فسفر، آهن، روی، مس و منگنز در اندام هوایی گیاه شد. غلظت هیچیک از عناصر غذایی در اسفناج با کاربرد لجن فاضلاب به حد سمی نرسید و غلظت کادمیم و سرب در اندام هوایی گیاه با کاربرد لجن فاضلاب قابل اندازه‌گیری نبود. هرچند در صورت استفاده مکرر و بخصوص کاربرد سطوح بالای لجن فاضلاب، اندازه‌گیری و ردیابی غلظت کادمیم و سرب در گیاه ضروری است. اثر تیمار کود شیمیایی در افزایش عملکرد گیاه و غلظت عناصر غذایی کمتر از سطوح ۴۰ و ۸۰ گرم لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک بود. با توجه به کمبود آهن و روی در خاک‌های آهکی، کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند روش مؤثری برای مقابله با کمبود این عناصر باشد. قبل از هر گونه توصیه کاربرد لجن فاضلاب، نتایج این تحقیق بایستی در شرایط مزرعه نیز تأیید گردد.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، کود شیمیایی، خاک آهکی، اسفناج، عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف

مقدمه

امروزه کاربرد پسماندهای آلی به عنوان کود برای بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک متداول می‌باشد (۸). لجن فاضلاب نوعی از پسماندهای آلی است که سبب افزایش غلظت عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، مس و روی برای رشد گیاه می‌شود و هم‌چنین می‌تواند سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شود (۳ و ۶). میزان کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی بستگی به غلظت عناصر سنگین خطرناک مانند کادمیم و سرب موجود در لجن فاضلاب

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. استاد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hamidboostani@gmail.com

دارد (۱۷). قبل از کاربرد لجن فاضلاب ضروری است غلظت عناصر کم مصرف و عناصر سنگین موجود در لجن تعیین و مورد ارزیابی قرار گیرد. غلظت عناصر موجود در لجن فاضلاب به نوع فاضلاب (خانگی یا صنعتی) و هم‌چنین مراحل تصفیه فاضلاب بستگی دارد. هر چند نیتروژن و فسفر فراوان‌ترین عناصر موجود در لجن نیستند، ولی به دلیل این که این عناصر به مقدار زیاد بر رشد گیاه مؤثرند، حائز اهمیت می‌باشند (۱۸). بازکورت و تریک (۴) گزارش کردند که کاربرد لجن فاضلاب غلظت منیزیم و نیتروژن برگ ذرت را افزایش داد اما تغییری در غلظت کلسیم، پتاسیم و فسفر گیاه ایجاد نکرد. آنان دلیل این امر را غلظت کم فسفر در لجن فاضلاب، پ-هاش بالای خاک و زیادی کلسیم و پتاسیم در خاک بیان کردند. منلیک و همکاران (۱۰) نشان دادند که افزودن لجن فاضلاب به خاک (۲۰۰ تن در هکتار)، غلظت نیتروژن، فسفر و منیزیم را در دانه گندم به طور معنی‌داری افزایش داد. موررا و همکاران (۱۱) نشان دادند که افزودن لجن فاضلاب (۸۰، ۱۳۰ و۱۶۰ تن در هکتار)، میانگین وزن خشک آفتابگردان را به طور معنی‌داری نسبت به خاک شاهد افزایش داد. واثقی و همکاران (۲) نشان دادند که وزن خشک اندام هوایی اسفناج در خاک متناسب با سطح لجن فاضلاب (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ تن در هکتار) افزایش یافت که این افزایش برای همه تیمارها معنی‌دار بود. در خاک شاهد، مقدار آن ۰/۹۵ گرم در گلدان و در بالاترین مقدار کاربرد لجن فاضلاب به ۳/۶۸ گرم در گلدان رسید. دلگادو و همکاران (۷) در یک تحقیق مزرعه‌ای گزارش کردند که افزودن ۱۰۰۰ کیلوگرم لجن همراه با ۳۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار سبب افزایش عملکرد ذرت به میزان ۲۰٪ نسبت به تیمار شاهد شد.

در ایران تا کنون استانداردی برای کاربرد لجن فاضلاب در اراضی کشاورزی تدوین نشده است. در استان فارس، چند تصفیه‌خانه فاضلاب فعالیت دارند که سالانه مقادیر زیادی لجن فاضلاب تولید می‌کنند و در چند سال اخیر به‌خاطر ارزانی قیمت این فراورده، به‌خصوص در کشت سبزی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر مقایسه اثر کاربرد لجن فاضلاب با کود شیمیایی بر عملکرد و غلظت برخی عناصر کم مصرف و پر مصرف در گیاه اسفناج در سه بافت یک خاک آهکی بود. به دو دلیل در این تحقیق از گیاه اسفناج استفاده شد. اول این‌که تحقیقات متعدد نشان داده است که این گیاه قادر به جذب مقدار زیادی از عناصر کم مصرف و سنگین بدون کاهش محصول یا نشان دادن آثار مسمومیت می‌باشد(۱۴). دلیل دیگر این که این گیاه نقش مهمی را در رژیم غذایی مردم ایران به عنوان یک سبزی دارد.

مواد و روش‌ها

مقدار کافی از خاک آهکی با بافت لوم رسی از سری دانشکده کشاورزی در منطقه باجگاه با رده بندی فامیل خاک (Fine, mixed, mesic, Typic Calcixerepts) از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد و با افزودن مقادیر مختلف شن، سه نوع بافت شامل بافت سنگین(بدون افزودن شن)، بافت متوسط و بافت سبک تهیه شد. پس از عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی (۱۳) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). لجن فاضلاب از تصفیه‌خانه شهرک صنعتی آب باریک فارس تهیه و پس از هوا خشک نمودن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و برخی خصوصیات شیمیایی آن همانند روش‌های تجزیه خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۲). آزمایش در شرایط گلخانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل لجن فاضلاب در پنج سطح (صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ گرم در کیلوگرم) و فاکتور دوم بافت خاک در سه سطح (لوم رسی، لوم شنی و شنی) بود. یک تیمار کود شیمیایی نیز برای مقایسه با لجن فاضلاب تهیه گردید. برای مقایسه سطوح فاکتور اول (لجن فاضلاب) با تیمار کود شیمیایی در هر بافت خاک از یک طرح کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار استفاده شد. در تیمار کود شیمیایی، ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره و ۵۰ میلی‌گرم فسفر از منبع منو کلسیم فسفات، ۵ میلی‌گرم روی از

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

	لوم رسی	لوم شنی	شنی
فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۹/۵	۶/۵	۳
پ- هاش گل اشباع	۷/۶۸	۷/۵۹	۷/۷۱
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۴	۰/۴	۰/۶
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۲۰۰	۱۹۰	۸۲
شن (٪)	۲۷	۶۲	۹۰
سیلت (٪)	۳۶	۲۲	۴
رس (٪)	۳۷	۱۶	۶
ماده آلی (٪)	۰/۸	۰/۶	۰/۰۱
کربنات کلسیم معادل (٪)	۳۴	۲۲	۱۷
نیتروژن کل (٪)	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۰۵
	عصاره‌گیری با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)		
منگنز	۶/۹	۶	۱/۸
روی	۰/۵۲	۰/۸	۰/۷
آهن	۶/۳	۵/۵	۳/۶
مس	۱/۹	۱/۱	۰/۶
کادمیم	nd	Nd	Nd
سرب	nd	Nd	Nd

غیر قابل اندازه‌گیری = nd = non detectable

جدول۲. برخی خصوصیات لجن فاضلاب استفاده شده

آهن کل (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۴۵۰۰
کادمیم کل (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۴
سرب کل (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۰۵
سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۵۳
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۹۵
مس کل (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۳۰۵
روی کل (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۴۳۲
پ- هاش (۱:۵)	۷/۴۷
قابلیت هدایت الکتریکی (۱:۵) (دسی‌زیمنس بر متر)	۷/۵۰
نیتروژن کل (٪)	۱/۳۶
نسبت کربن به نیتروژن	۴/۳۷
فسفر کل (٪)	۲/۵

جدول ۳ . اثر کاربرد لجن فاضلاب و بافت خاک بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج (گرم در گلدان) و مقایسه با تیمار کود شیمیایی

بافت خاک	سطح لجن فاضلاب (گرم در کیلو گرم خاک)						
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۸۰	میانگین	کود شیمیایی
شنی	۰/۸۹ e(f) *	۱/۷۱ c(de)	۲/۱۸ b(cd)	۲/۴۳ a(c)	۰/۹۰ e(f)	۱/۶۲ C	۱/۰۲ d
لوم شنی	۱/۲۹ e(ef)	۱/۶۵ d(de)	۱/۷۹ c(de)	۲/۶۴ a(bc)	۲/۶۱ a(bc)	۱/۹۹ B	۲/۳۶ b
لوم رسی	۱/۸۰ e(de)	۲/۲۷ d(cd)	۲/۶۵ c(bc)	۳/۱۴ b(ab)	۳/۴۲ a(a)	۲/۶۵ A	۲/۶۶ c
میانگین	۱/۳۲ D	۱/۸۷ C	۲/۲۰ B	۲/۷۳ A	۲/۳۱ B		

* در هر ردیف و ستون اعداد دارای حروف کوچک مشابه (داخل پرانتز) و در هر ردیف اعداد دارای حروف کوچک مشابه (خارج از پرانتز) از نظر آماری در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است.

کلات روی، ۵ میلی‌گرم آهن از کلات آهن، ۵ میلی‌گرم منگنز از سولفات منگنز و ۵ میلی‌گرم مس از سولفات مس، در کیلوگرم خاک بر اساس نتایج آزمون خاک به عنوان تیمار کود شیمیایی اضافه شد. بذرهای اسفناج (*Spinosa olerace*) رقم *Viroflay* در عمق حدود دو سانتی‌متری خاک کاشته شد و حدود یک هفته پس از جوانه زنی به سه گیاه در هر گلدان کاهش داده شد و پس از ۸ هفته قسمت هوایی اسفناج از محل طوقه و نزدیک سطح خاک قطع شدند. در طول دوره رشد رطوبت گلدان‌ها با توزین روزانه در حدود رطوبت گنجایش زراعی نگه داشته شد. دمای متوسط شبانه ۲۲ و دمای متوسط روزانه ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. اندام هوایی پس از شستشو با آب معمولی و سپس با آب مقطر در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. نمونه‌ها پس از توزین با آسیاب برقی پودر و به منظور انجام تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. برای تجزیه گیاه، یک گرم از ماده خشک گیاهی در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر و سپس در اسید کلریدریک دو مولار حل شده و پس از عبور از کاغذ صافی با آب مقطر به حجم رسانده و غلظت آهن ، منگنز، مس، روی، کادمیم و سرب با دستگاه جذب اتمی و غلظت فسفر به روش مورفی و رایلی (۱۲) تعیین شد. نیتروژن کل نیز به روش کلدال اندازه‌گیری شد (۵). پس از به دست آوردن نتایج آزمایشگاهی و گلخانه‌ای، برای بررسی اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر عملکرد گیاه، غلظت عناصر کم مصرف و عناصر سنگین در گیاه، تجزیه آماری و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن، با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC و SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

افزودن سطوح مختلف لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه در هر سه بافت خاک شد. برهمکنش بین سطوح لجن فاضلاب و بافت خاک نیز معنی‌دار بود ($p<0/05$). در بافت شنی، عملکرد وزن خشک گیاه اسفناج تا سطح ۴۰ گرم لجن فاضلاب به طور معنی‌داری افزایش یافت(جدول ۳). به طوری که عملکرد گیاه از ۰/۸۹ گرم در گلدان در تیمار بدون کاربرد لجن فاضلاب (تیمار شاهد) به ۲/۴۳ گرم در گلدان در تیمار ۴۰ گرم لجن فاضلاب رسید که معادل ۱۷۳٪ افزایش بود. ولی در تیمار بالاتر، عملکرد به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). از دلایل احتمالی می‌توان شوری بیشتر و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی در تیمار ۸۰ گرم لجن فاضلاب نسبت به سطوح پایین‌تر در بافت شنی ذکر نمود. در بافت لوم شنی، کاربرد لجن فاضلاب تا سطح ۴۰ گرم سبب افزایش معنی‌دار عملکرد شد، که معادل ۱۰۴/۷٪ افزایش نسبت به تیمار شاهد بود. اما در سطح ۸۰ گرم لجن فاضلاب عملکرد تا اندازه‌ای کاهش یافت، هر چند که این کاهش عملکرد نسبت به سطح پایین‌تر لجن معنی‌دار نبود (جدول ۳).

جدول ۴. اثر کاربرد لجن فاضلاب در بافت‌های مختلف خاک بر غلظت نیتروژن کل در اندام هوایی اسفناج (٪) و مقایسه با تیمار کود شیمیایی

بافت خاک	سطح لجن فاضلاب (گرم در کیلوگرم خاک)						
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۸۰	میانگین	کود شیمیایی
شنی	۲/۲۳ e(h)*	۳/۲۵ d(g)	۴/۳۵ c(de)	۴/۹۶ b(c)	۵/۱۵ a(bc)	۳/۹۸ B	۴/۱۶ c
لوم شنی	۳/۴۳ d(g)	۳/۹۸ c(f)	۴/۵۵ b(d)	۵/۲۲ b(bc)	۵/۸۸ a(a)	۴/۶۱ A	۴/۴۶ c
لوم رسی	۳/۹۳ e(f)	۳/۹۹ d(f)	۴/۱۴ c(ef)	۵/۳۰ b(b)	۶/۰۶ a(a)	۴/۶۸ A	۴/۹۲ c
میانگین	۳/۱۹ E	۳/۷۴ D	۴/۳۴ C	۵/۱۶ B	۵/۶۹ A		

* در هر ردیف و ستون اعداد دارای حروف کوچک مشابه (داخل پرانتز) و در هر ردیف اعداد دارای حروف کوچک مشابه (خارج از پرانتز) از نظر آماری در سطح ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است.

جدول ۵. اثر کاربرد لجن فاضلاب در بافت‌های مختلف خاک بر غلظت فسفر در اندام هوایی اسفناج (٪) و مقایسه با تیمار کود شیمیایی

بافت خاک	سطوح لجن فاضلاب (گرم در کیلوگرم خاک)						
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۸۰	میانگین	کود شیمیایی
شنی	۰/۱۰ d(m)*	۰/۱۶ cd(k)	۰/۲۰ c(i)	۰/۲۵ b(g)	۰/۴۱ a(c)	۰/۲۲ C	۰/۲۰ c
لوم شنی	۰/۱۵ d(l)	۰/۱۸ d(j)	۰/۲۳ c(h)	۰/۳۱ b(f)	۰/۴۶ a(b)	۰/۲۶ B	۰/۲۶ c
لوم رسی	۰/۱۹ e(ij)	۰/۲۴ d(h)	۰/۳۴ c(e)	۰/۳۸ b(d)	۰/۵۶ a(a)	۰/۳۴ A	۰/۲۹ cd
میانگین	۰/۱۴ E	۰/۱۹ D	۰/۲۵ C	۰/۳۱ B	۰/۴۷ A		

* در هر ردیف و ستون اعداد دارای حروف کوچک مشابه (داخل پرانتز) و در هر ردیف اعداد دارای حروف کوچک مشابه (خارج از پرانتز) از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است.

کاربرد ۸۰ گرم لجن فاضلاب در بافت لوم رسی سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی اسفناج در حدود ۲ برابر تیمار شاهد شد (جدول ۳). دلیل اصلی افزایش عملکرد اسفناج با کاربرد لجن فاضلاب را می‌توان وجود مقادیر نسبتاً زیاد مواد آلی و عناصر غذایی ضروری در لجن فاضلاب دانست. کاربرد کود شیمیایی نیز در سه بافت خاک مورد مطالعه سبب افزایش عملکرد خشک گیاه نسبت به تیمار شاهد شد، ولی به مراتب کمتر از تیمار لجن فاضلاب بود. ترتیب میانگین عملکرد در سه بافت خاک مورد مطالعه به صورت لوم رسی> لوم شنی > شنی بود و اختلاف‌ها معنی‌دار بودند. عرفان‌منش (۱) نشان داد که افزایش سطوح لجن فاضلاب سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گوجه‌فرنگی شد، به طوری که عملکرد این محصول در تیمار ۲۰۰ تن لجن فاضلاب در هکتار تا حدود ۳ برابر شاهد افزایش یافت.

غلظت نیتروژن کل و فسفر در اسفناج در هر سه بافت خاک به طور معنی‌داری با کاربرد لجن فاضلاب افزایش یافت و برهمکنش بین سطوح لجن فاضلاب و بافت خاک نیز معنی‌دار بود ($p<0/05$) (جداول ۴ و ۵). غلظت نیتروژن کل گیاه در تیمار حداکثر کاربرد لجن فاضلاب در بافت‌های مورد مطالعه به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود (جدول ۴). اثر افزودن ۸۰ گرم لجن فاضلاب در افزایش نیتروژن کل گیاه در مقایسه با تیمار کود شیمیایی در بافت‌های مورد مطالعه به طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۴). مقایسه میانگین نیتروژن کل گیاه در سه بافت خاک بر اثر کاربرد لجن فاضلاب نشان داد که نیتروژن کل در بافت لوم رسی و لوم شنی نسبت به بافت شنی به صورت معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۴). رید و همکاران (۱۵) گزارش کردند که ارزش کودی لجن فاضلاب در افزایش عملکرد گیاه ذرت در تأمین

جدول ۶. اثر کاربرد لجن فاضلاب در بافت‌های مختلف خاک بر غلظت آهن دراندام هوایی اسفناج (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) و مقایسه با تیمار کود شیمیایی

بافت خاک	سطح لجن فاضلاب (گرم در کیلوگرم خاک)						کود شیمیایی
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۸۰	میانگین	
شنی	۲۶۰/۵۰ d(j)*	۲۷۰/۴۰ cd(i)	۲۸۵/۴۰ c(h)	۳۰۱/۴۰ b(f)	۳۱۴/۲۳ a(e)	۲۸۶/۳۸ B	۲۸۴/۴ b
لوم شنی	۲۳۰/۸۳ e(m)	۲۴۰/۴۷ d(l)	۲۵۵/۳۳ c(k)	۳۰۱/۳۰ b(f)	۳۲۰/۲۰ a(d)	۲۶۹/۶۲ C	۲۷۱/۰۶ bc
لوم رسی	۲۲۵/۴۱ e(n)	۲۹۳/۴۳ d(g)	۳۳۰/۷۵ c(c)	۳۹۱/۳۶ b(b)	۴۱۵/۴۶ a(a)	۳۳۱/۲۸ A	۳۲۱/۷۳ c
میانگین	۲۳۸/۹۰ E	۲۶۸/۱۰ D	۲۹۰/۴۸ C	۳۳۱/۵۳ B	۳۴۹/۹۶ A		

* در هر ردیف و ستون اعداد دارای حروف کوچک مشابه (داخل پرانتز) و در هر ردیف اعداد دارای حروف کوچک مشابه (خارج از پرانتز) از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است.

جدول۷. اثر کاربرد لجن فاضلاب در بافت‌های مختلف خاک بر غلظت روی در اندام هوایی اسفناج (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) و مقایسه با تیمار کود شیمیایی

بافت خاک	سطح لجن فاضلاب (گرم در کیلوگرم خاک)						کود شیمیایی
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۸۰	میانگین	
شنی	۲۹/۵۲ d(j)*	۳۸/۴۸ c(g)	۴۲/۲۴ b(e)	۴۹/۴۲ ab(c)	۵۸/۶۲ a(a)	۴۳/۶۵ C	۳۷/۸۲ c
لوم شنی	۳۷/۵۶ e(k)	۴۲/۲۵ d(n)	۴۸/۹۱ c(f)	۵۸/۵۲ b(d)	۶۲/۹ a(b)	۴۹/۶۲ B	۴۰/۹ d
لوم رسّی	۳۸/۷۴ d(i)	۴۳/۶۰ c(g)	۵۰/۸۹ b(d)	۶۱/۲۶ b(b)	۶۸/۵۲ a(a)	۵۲/۰۰ A	۴۳/۰۷ c
میانگین	۳۵/۲۷ E	۳۹/۸۶ D	۴۷/۳۴ C	۵۶/۴۰B	۶۳/۳۴ A		

* در هر ردیف و ستون اعداد دارای حروف کوچک مشابه (داخل پرانتز) و در هر ردیف اعداد دارای حروف کوچک مشابه (خارج از پرانتز) از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است.

نیاز نیتروژن به وضوح با کودهای شیمیایی متداول قابل مقایسه می‌باشد.

با کاربرد لجن فاضلاب، غلظت فسفر گیاه در بافت‌های مورد مطالعه به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. هر چند کاربرد کود شیمیایی نیز سبب افزایش غلظت فسفر گیاه شد اما اثر کاربرد لجن فاضلاب (۴۰ و ۸۰ گرم در کیلوگرم خاک) نسبت به کود شیمیایی به طور معنی‌داری در سه بافت خاک بیشتر بود. مقایسه میانگین غلظت فسفر گیاه در سه بافت خاک بر اثر کاربرد لجن فاضلاب نشان می‌دهد که غلظت فسفر گیاه در بافت لوم رسی نسبت به بافت شنی ۵۴/۵٪ بیشتر است (جدول ۵). محققین متعددی افزایش غلظت فسفر در گیاه را بر اثر افزودن لجن فاضلاب گزارش کرده‌اند (۱، ۲ و ۱۱).

غلظت آهن و روی در اندام هوایی اسفناج در بافت‌های مورد مطالعه در سطوح مختلف لجن فاضلاب مصرفی به طور معنی‌داری افزایش یافت و برهمکنش بین سطوح لجن فاضلاب و بافت خاک نیز بر غلظت این دو عنصر معنی‌دار بود ($p<0/05$) (جداول ۶ و ۷). بیشترین غلظت آهن در اندام هوایی اسفناج، در سطح ۸۰ گرم لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک و در بافت لوم رسی به‌دست آمد (جدول ۶). ترتیب میانگین غلظت آهن در اندام هوایی در بافت‌های مورد مطالعه به صورت لوم رسی > شنی > لوم شنی بود (جدول ۶). غلظت بیشتر آهن در اندام هوایی در بافت لوم رسی نسبت به بافت لوم شنی و شنی احتمالاً به دلیل تفاوت در غلظت اولیه آهن در بافت‌های مورد مطالعه است. در هیچکدام از سطوح

جدول ۸. اثر کاربرد لجن فاضلاب در بافت‌های مختلف خاک بر غلظت منگنز در اندام هوایی اسفناج (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) و مقایسه با تیمار کود شیمیایی

بافت خاک	سطح لجن فاضلاب (گرم در کیلوگرم خاک)						
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۸۰	میانگین	کود شیمیایی
شنی	۵۸/۸۷ d(n)*	۶۷/۷۲ c(l)	۶۹/۳۳ bc(k)	۷۴/۸۳ b(g)	۷۸/۹۰ a(ef)	۶۹/۹۳ C	۶۸/۰۷ c
لوم شنی	۶۱/۶۵ d(m)	۷۰/۸۷ c(j)	۷۳/۴۴ c(h)	۷۵/۹۲ b(e)	۸۲/۲۴ a(d)	۷۳/۵۳ B	۷۵/۹۱ c
لوم رسی	۷۲/۰۲ c(i)	۷۸/۶۸ bc(f)	۸۳/۸۴ b(c)	۹۱/۱۰ a(b)	۹۵/۳۸ a(a)	۸۴/۲۰ A	۷۹/۶۰ bc
میانگین	۶۴/۱۸ E	۷۲/۴۳ D	۷۵/۵۳ C	۸۱/۸۱ B	۸۵/۵۰ A		

* در هر ردیف و ستون اعداد دارای حروف کوچک مشابه (داخل پرانتز) و در هر ردیف اعداد دارای حروف کوچک مشابه (خارج از پرانتز) از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است.

جدول ۹. اثر کاربرد لجن فاضلاب در بافت‌های مختلف خاک بر غلظت مس دراندام هوایی اسفناج (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) و مقایسه با تیمار کود شیمیایی

بافت خاک	سطح لجن فاضلاب (گرم در کیلوگرم خاک)						
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۸۰	میانگین	کود شیمیایی
شنی	۱۰/۸۷ c(h)*	۱۱/۸۵ bc(g)	۱۲/۵۳ b(f)	۱۳/۸۰ ab(e)	۱۴/۵۵ a(d)	۱۲/۴۵ B	۱۲/۵۷ b
لوم شنی	۱۰/۳۰ c(i)	۱۱/۶۲ bc(g)	۱۲/۳۸ b(f)	۱۳/۶۳ ab(e)	۱۴/۳۴ a(d)	۱۲/۷۲ C	۱۲/۲۸ b
لوم رسی	۱۲/۵۹ c(f)	۱۴/۳۲ b(d)	۱۵/۵۱ b(c)	۱۶/۴۳ a(b)	۱۷/۵۹ a(a)	۱۵/۲۸ A	۱۴/۵۶ b
میانگین	۱۱/۲۵ E	۱۲/۵۹ D	۱۳/۴۷ C	۱۴/۶۲ B	۱۵/۴۹ A		

* در هر ردیف و ستون اعداد دارای حروف کوچک مشابه (داخل پرانتز) و در هر ردیف اعداد دارای حروف کوچک مشابه (خارج از پرانتز) از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است.

لجن فاضلاب کاربردی، غلظت آهن در اندام هوایی از گستره طبیعی آن در اسفناج (۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) تجاوز نکرد (۸). محققین متعددی از جمله ساندرس و همکاران (۱۶) اثر افزایش غلظت آهن در گیاه را بر اثر افزودن لجن فاضلاب گزارش کردند.

در اثر کاربرد ۸۰ گرم لجن فاضلاب، غلظت روی در اسفناج در بافت‌های خاک مورد مطالعه به ترتیب معادل ۹۹، ۶۸ و ۷۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. میانگین غلظت روی در اندام هوایی در بافت لوم رسی نسبت به بافت شنی ۱۹٪ بیشتر بود و ترتیب غلظت روی در اندام هوایی به ترتیب به صورت لوم رسی > لوم شنی > شنی بود و اختلاف‌های موجود معنی‌دار بود (جدول ۷). اثر تیمار حداکثر لجن فاضلاب در افزایش غلظت آهن و روی در گیاه به طور معنی‌داری بیشتر از کاربرد کود شیمیایی در بافت‌های مورد مطالعه بود (جداول ۶ و ۷). در هیچکدام از تیمارهای لجن فاضلاب در سه بافت خاک، غلظت روی در اندام هوایی اسفناج با توجه به این که گستره طبیعی آن در گونه‌های مختلف گیاهی ۲۷ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک و گستره سمی آن ۱۶۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم وزن خشک گزارش شده است، به حد سمیت نرسید (۹).

در هر سه بافت خاک، با افزایش کاربرد سطح لجن فاضلاب، غلظت منگنز و مس در اندام هوایی اسفناج به طور معنی‌داری افزایش یافت و برهمکنش بین سطوح لجن فاضلاب و بافت خاک نیز بر غلظت این عناصر معنی‌دار بود ($p<0/05$) (جداول ۸ و ۹). بیشترین غلظت منگنز در اندام هوایی اسفناج، در سطح ۸۰ گرم لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک و در

بافت لوم رسی به‌دست آمد (جدول ۸). مقایسه میانگین غلظت منگنز در اندام هوایی در سه بافت خاک نشان می‌دهد که غلظت منگنز گیاه در بافت لوم رسی ۲۰/۵٪ نسبت به بافت شنی بیشتر است و ترتیب غلظت منگنز در اندام هوایی به صورت لوم رسی> لوم شنی> شنی بود و تفاوت آنها از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۸). با توجه به گستره طبیعی غلظت منگنز در بافت‌های گیاهی که در گونه‌های مختلف گیاه ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم و گستره سمیت آن ۳۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش شده است (۸)، غلظت منگنز در اندام هوایی اسفناج در بافت‌های تیمار شده با لجن فاضلاب به حد سمیت نرسید.

غلظت مس در اندام هوایی اسفناج در تیمار ۸۰ گرم لجن فاضلاب نسبت به تیمار شاهد به ترتیب در بافت‌های خاک مورد مطالعه معادل ۳۴، ۴۰ و ۴۰ درصد افزایش نشان داد. مقایسه میانگین غلظت مس در اندام هوایی در سه بافت خاک در اثر کاربرد سطوح لجن فاضلاب، نشان می‌دهد که غلظت مس در بافت لوم رسی ۲۰٪ نسبت به بافت لوم شنی بیشتر بود و تفاوت بین سه بافت خاک معنی‌دار شد. ترتیب میانگین غلظت مس در اندام هوایی به صورت لوم رسی > شنی > لوم شنی است که مشابه با نتیجه آهن می‌باشد (جدول ۹). اثر تیمار حداکثر لجن فاضلاب در افزایش غلظت منگنز و مس در گیاه به طور معنی‌داری بیشتر از کاربرد کود شیمیایی در بافت‌های مورد مطالعه بود (جداول ۸ و ۹). کاباتا و پندیاس (۹) گستره طبیعی غلظت مس در بافت‌های گیاه درگونه‌های مختلف گیاهی را بین ۵ تا ۳۰ میلی‌گرم و گستره سمی آن را ۴۰ تا ۱۰۰ میلی-گرم در کیلوگرم وزن خشک ذکر کردند. بنابراین در هیچکدام از سطوح لجن فاضلاب کاربردی، غلظت مس در اندام هوایی اسفناج به حد سمیت نرسید.

غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی گیاه در هر سه بافت خاک مورد مطالعه حتی در بالاترین سطح لجن فاضلاب کاربردی، کمتر از حد کشف دستگاه جذب اتمی بود.

نتیجه‌گیری

بیشترین عملکرد اسفناج در دو بافت لوم رسی و لوم شنی در تیمار ۸۰ گرم لجن فاضلاب به دست آمد. در بافت شنی در تیمار ۸۰ گرم لجن فاضلاب، کاهش معنی‌دار عملکرد نسبت به سطح کمتر مشاهده گردید که از دلایل آن می‌تواند افزایش شوری و بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی باشد. لذا پیشنهاد می‌شود در این باره تحقیق و بررسی بیشتری انجام شود. کلیه سطوح لجن فاضلاب کاربردی در هر سه بافت خاک مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن، فسفر، آهن، روی، منگنز و مس در اندام هوایی گیاه شدند. در همه سطوح لجن کاربردی و بافت‌های خاک مورد مطالعه، غلظت این عناصر در گستره طبیعی بود و به حد سمیت نرسید. احتمال وجود فلزات سمی مانند کادمیم و سرب در لجن فاضلاب‌ها زیاد است، هرچند در تحقیق حاضر، غلظت کادمیم و سرب در گیاه اسفناج در هر سه بافت خاک، کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود. در صورت استفاده مکرر و بخصوص کاربرد سطوح بالای لجن فاضلاب (۴۰ و ۸۰ گرم در کیلوگرم خاک) باید غلظت این عناصر در گیاه ردیابی و ارزیابی شود. به طور کلی، کاربرد لجن فاضلاب (سطوح ۴۰ و ۸۰ گرم در کیلوگرم خاک) در مقایسه با استفاده از کود شیمیایی در افزایش عملکرد و غلظت عناصر غذایی در گیاه اسفناج، مؤثرتر بود. با توجه به این که در خاک آهکی احتمال مواجه شدن گیاهان با کمبود آهن و روی وجود دارد، کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند منبع مناسب و ارزانی برای رفع و یا جلوگیری از کمبود این عناصر در گیاهان مورد نظر قرار گیرد، اگرچه آثار باقی‌مانده کاربرد لجن فاضلاب در طول زمان باید بررسی شود. با توجه به اثر مثبت لجن فاضلاب در تأمین عناصر غذایی گیاهان و افزایش رشد، بررسی جنبه‌های فیزیکی و بیولوژیک خاک تحت تأثیر کاربرد این منبع آلی می‌تواند مفید باشد. با توجه با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که میزان کاربرد لجن فاضلاب با توجه به نوع بافت خاک مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار گیرد. قبل از هر گونه توصیه کاربرد میزان لجن فاضلاب، نتایج این پژوهش در شرایط مزرعه نیز بایستی مورد ارزیابی و تأیید قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. عرفان منش، م. ۱۳۷۶. اثر تیمارهای لجن بر برخی خصوصیات خاک وجذب و تراکم عناصر سنگین به وسیله اسفناج و گوجه-فرنگی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. واثقی، س.، م. افیونی، ح. شریعتمداری و م. مبلی. ۱۳۸۳. اثر لجن فاضلاب بر غلظت تعدادی از عناصر غذایی و ویژگی‌های شیمیایی خاک. آب و فاضلاب ۵۳: ۱۵-۲۲.

3. Baran, A., G. Cayci, C. Kutuk and R. Hartmann. 2001. The effect of grape marc as growing medium on growth of hypostases plant. Bioresour. Technol. 78: 103-106.
4. Bozkurt, M. A. and Y. Tarik. 2003. The effect of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry conditions. Turk. J. Agric. For. 27: 285-292.
5. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-total. PP. 1085-1122. *In:* D. L. Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3, 3rd Ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI.
6. Coker, E. J. and P. J. Matthews. 1983. Metals in sewage sludge and their potential effects in agriculture. Water Sci. Technol. 1(15): 209-225.
7. Delgado, M. M., M. A. Parcel, R. Miralles, E. M. Beltrain, L. Bernigole and J. Valero. 2003. Management sewage sludge thermal drying amended soil. Waste Contaminants: Life cycle and Entry into food chain.89-92.
8. Hassan, D. and M. M. Mishra. 1994. Influence of Cd on carbon and nitrogen mineralization of sewage sludge amended soils. Environ. Pollut. 84: 285-290.
9. Kabata, P. and A. H. Pendias. 1992. Trace Elements in Soil and Plant. 2nd Edition, New York.
10. Menelik, G., R. B. Renau, D. C. Martens and T. W. Simpson. 1991. Yield and elemental composition of wheat grain as influenced by source and rate of nitrogen. Plant Nutr. 14: 205-217.
11. Morera, M. T., J. Echeveria and J. Garrido. 2002. Bioavailability of heavy metal in soil amended with sewage sludge. Can. J. Soil Sci. 82: 433-438.
12. Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphorus in natural waters. Anal. Chem. Acta. 27: 31-36.
13. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis. Part II, 2nd Ed., Am. Soc. Agron. Madison, WI.
14. Pierzynski, G. M., J. T. Sims and G. F. Vance. 1993. Soils and Environmental Quality. Lewis Publ., Ann Arbor, MI.
15. Read, B. E., P. E. Carriere and M. R. Matsumoto. 1991. Applying sludge on agricultural land. Biocycle 37: 58-60.
16. Sanders, J. R., S. P. McGrath and T. McAdams. 1986. Zinc, copper and nickel concentrations in soil extracts and crops grown on four soils treated with metal loaded sewage sludge. Environ. Pollut. 44: 193-210.
17. Sims, J. T. and J. S. Kline. 1991. Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals in soils amended with co-composted sewage sludge. J. Environ. Qual. 20: 387-395.
18. Sommers, L. E., D. W. Nelson and K. J. Yost. 1976. Variable nature of chemical composition of sewage sludge. J. Environ. Qual. 5: 303-306.