نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره اول، ۱۳۹۳
http://ejsms.gau.ac.ir

اثر لجن فاضلاب و زئولیت بر عملکرد و کیفیت برگ کنگرفرنگی (*Cynara scolymus* L.)

ندا بوالحسنی[۱]، *عظیم قاسم‌نژاد[۲] و مجتبی بارانی‌مطلق[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۳]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۸

چکیده

کنگرفرنگی به‌دلیل نقشی که در کاهش کلسترول و قند خون دارد و نیز به‌دلیل توان آنتی‌اکسیدانی بالا مورد کشت و بهره‌برداری قرار می‌گیرد. اهمیّت تغذیه گیاهان از یک طرف و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی از طرف دیگر، توجه بشر را به کشاورزی پاک معطوف کرده است. در صورت برطرف کردن محدودیت‌ها از جمله عناصر سنگین و آلودگی میکروبی، رسوبات تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری به‌عنوان منابع قوی و غنی مواد معدنی و آلی جهت تغذیه گیاه قابل استفاده خواهند بود. در این پژوهش سعی شده تا ضمن مطالعه اثر تغذیه‌ای لجن از زئولیت به‌عنوان جاذب عناصر سنگین استفاده شود. آزمایش در شرایط گلخانه با دو تیمار لجن فاضلاب (۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد وزنی) و زئولیت (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی) در چهار تکرار به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش عملکرد بیومس و همچنین برخی از شاخص‌های مهم کیفی برگ از جمله اسیدکلروجنیک و ترکیبات فنلی آن شده است. در مقابل، تولید اسیدکافئیک و محتوی فلاونوئیدی را کاهش داد. زئولیت بر هیچکدام از شاخص‌های اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. میزان جذب سرب در اندام هوایی و همچنین کادمیم در ریشه تحت تأثیر سطوح مختلف لجن متفاوت بود. همچنین افزودن زئولیت سبب کاهش معنی‌دار سرب و کادمیم موجود در ریشه گیاه شد، به‌نحوی‌که

*مسئول مکاتبه: aghasemnajad@hotmail.com

کمترین میزان سرب و کادمیم جذب شده در ریشه در تیمار با سطح ۱۰ درصد زئولیت مشاهده گردید. در نهایت براساس یافته‌های این پژوهش می‌توان بیان نمود که مشروط به رفع محدودیت‌های ذکر شده استفاده از لجن در تغذیه کنگرفرنگی به‌دلیل افزایش عملکرد کمی و کیفی مشاهده شده، توصیه می‌شود. همچنین نتایج بیانگر این مطلب است که استفاده از زئولیت به‌همراه لجن فاضلاب می‌تواند در غیرپویاسازی عناصر سنگین از جمله سرب و کادمیم در کنگرفرنگی مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: کنگرفرنگی، زئولیت، لجن فاضلاب، متابولیت‌های ثانویه

مقدمه

ارتقای کیفیت خاک به‌عنوان بستر اصلی گیاهان گامی مؤثر در جهت بهبود رشد گیاه است. در راستای نیل به‌این هدف کاربرد مکمل‌های خاکی غنی از مواد بهبود رشد گیاهان به‌ویژه گیاهان دارویی که رفتار آن‌ها به‌میزان زیادی متأثر از محیط رشد آن‌هاست، توصیه می‌شود (واثقی، ۲۰۰۱). لجن‌های فاضلاب و پسماندها از جمله منابع ارزشمند مواد آلی می‌باشند. لجن فاضلاب دارای عناصر پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر کم مصرف شامل آهن، روی، منگنز و مس بوده و به‌دلیل غنای مواد آلی سبب بهبود کیفیت خاک می‌شود (واثقی، ۲۰۰۱؛ ساماراس و همکاران، ۲۰۰۸). محدودیت اصلی استفاده از لجن فاضلاب پتانسیل آزادسازی فلزات سنگین از لجن و تجمع فلزات سنگین در سطوح سمی در بخش فوقانی خاک و در نهایت ورود آن به زنجیره غذایی گیاه و انسان است (کوئرول و همکاران، ۲۰۰٦). اگرچه انتقال و جذب عناصر سنگین به روش‌های مختلف همچون رسوب، جذب سطحی و واکنش‌های احیا محدود می‌شود، ولی افزایش غلظت فلزات سنگین سبب کاهش کارایی کنترلی خاک و در نتیجه نفوذ این عناصر به آب‌های زیرزمینی را درپی دارد (شی و همکاران، ۲۰۰۹). در پژوهش‌های صورت گرفته نشان داده شده است که کاربرد لجن فاضلاب، عناصر سنگینی مانند سرب، کادمیم، نیکل و کروم را در خاک افزایش می‌دهد (کرمی و همکاران، ۲۰۰۷، واثقی و همکاران، ۲۰۰۳، کوسوبوک و همکاران، ۲۰۰۸). غیر پویاسازی عناصر سنگین به روش‌های مختلف از راهکارهای توصیه شده در استفاده از بسترهای دارای عناصر سنگین است که در کنار کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی سبب افزایش بهره‌وری خاک می‌شود (محمدی‌ثانی و همکاران، ۲۰۱۱). زئولیت طبیعی با شبکه آلومینوسیلیکات کریستالی و ساختمان باز دارای مولکول‌های Al, Si, O، یکی از این ترکیبات مهم

جاذب عناصر سنگین لجن فاضلاب است. مهمترین خاصیّت زئولیت قدرت جذب سطحی، تبادل کاتیونی بالا و همچنین خاصیّت غربال مولکولی آن است. هم‌چنین نشان داده شد که زئولیت به‌عنوان تثبیت‌کننده عناصر سنگین علاوه‌بر کاهش کادمیم سبب افزایش pH و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده است (حمیدپور و همکاران، ۲۰۱۰). کنگرفرنگی (*Cynara scolymus*) به‌دلیل دارا بودن ترکیباتی همانند اسیدکافئیک و اسیدکلروجنیک (از ترکیبات مهم دارویی کنگرفرنگی) و توانمندی آنتی‌اکسیدانی بالای این گیاه مورد توجه صنایع دارویی و غذایی قرار گرفته است. خصوصیات بارز تغذیه‌ای لجن فاضلاب و همچنین قیمت پائین زئولیت در کشورمان زمینه این پژوهش را فراهم نمود تا توانمندی رشد و تغییرات متابولیت‌های ثانویه گیاه کنگرفرنگی در حضور یا عدم حضور زئولیت مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور شامل لجن فاضلاب (۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد وزنی) و زئولیت (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی) در گلخانه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۸۹ طراحی و اجرا شد. بذور در گلدان‌های هشت کیلویی دارای خاک زراعی و مخلوط لجن فاضلاب و زئولیت کاشته شدند و برای تیمار شاهد سطح صفر لجن و زئولیت در نظر گرفته شد. مخلوط لجن فاضلاب (تصفیه خانه شهرستان کردکوی) و زئولیت (تهیه شده از شرکت افرندتوسکا) پیش از اختلاط با خاک، بر اساس روش پیشنهادی ۱۵ روز در دمای اتاق و رطوبت ۵۰ درصد نگه‌داری شدند.

بافت خاک به روش هیدرومتری محاسبه گردید (دی، ۱۹۶۵). برای اندازه‌گیری EC از روش عصاره گل اشباع استفاده شد. اسیدیته خاک در عصاره اشباع (پیج و همکاران، ۱۹۸۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش چاپمن (۱۹۶۵)، ماده آلی خاک به روش پیج و همکاران (۱۹۸۲) و درصد کربنات کلسیم معادل به روش نلسون (۱۹۸۲) انجام شد. در حین رشد گیاه، فاکتورهای مورفولوژیک (تعداد برگ، عرض برگ، سبزینگی گیاه و ارتفاع بوته) هر دو هفته یک‌بار اندازه‌گیری شد، برای شمارش تعداد برگ‌های گیاه، کل برگ‌های هر گیاه به غیر از برگ‌های محافظ جوانه (برگ‌های انتهایی) شمارش شد. برای اندازه‌گیری عرض برگ از برگ‌های پایینی گیاه استفاده شد. به‌این منظور از هر گیاه سه برگ میانی به‌صورت تصادفی انتخاب شده و گزارش شد. جهت اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، سطح زمین نقطه صفر و نوک برگ به‌عنوان، بالاترین

قسمت گیاه در نظر گرفته شد. به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل برگ از هر گیاه سه برگ به‌طور تصادفی انتخاب شده و میزان سبزینگی آن‌ها با دستگاه کلروفیل‌سنج مدل SPAD-502 اندازه‌گیری شده و در نهایت میانگین این داده‌ها محاسبه گردید. چهار ماه پس از کاشت نشاء، برگ گیاهان جهت اندازه‌گیری فاکتورهای موردنظر شامل وزن تر و خشک گیاه، میزان محتوی فنلی و فلاونوئیدی و مقدار اسیدکافئیک و اسیدکلروجنیک، و نیز عناصر سنگین موجود در ریشه گیاه (سرب و کادمیم) برداشت شده و در دمای اتاق خشک گردید. جهت محاسبه عملکرد گیاه، کل قسمت هوایی هر سه گیاه بلافاصله پس از برداشت با ترازوی دیجیتالی توزین شد. نمونه‌های برگی خشک شده با آسیاب برقی به خوبی پودر شدند. نمونه‌های پودر شده جهت انجام آزمایش‌های مربوطه از الک شماره ١٨ گذرانده شد (ابراهیم‌زاده و همکاران، ٢٠٠٨). جهت اندازه‌گیری عناصر سنگین موجود در ریشه، ریشه‌های گیاه پس از تمیز شدن از گل و خاک اضافی و شستشو با آب معمولی و سپس آب مقطر، به قطعاتی به طول تقریبی ٣ سانتی‌متر خرد شده و در دمای ٣٨ درجه سانتی‌گراد آون خشک شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها با آسیاب برقی پودر شدند. به‌منظور تهیه عصاره متانولی ابتدا نمونه برگی در محیط آزمایشگاه و در دمای طبیعی خشک شد، سپس با آسیاب برقی به‌خوبی پودر شد. نمونه‌های پودر شده از الک شماره ١٨ گذرانده شد. مقدار ٥ گرم از هر نمونه به ارلن ٥٠ میلی‌لیتری انتقال یافته و با ٥٠ میلی‌لیتر متانول ٨٠ درصد مخلوط شد (نسبت ١:١٠). پس از ٢٤ ساعت عصاره متانولی دارای نمونه با استفاده از کاغذ صافی صاف شد. سپس از دستگاه تبخیر کننده چرخشی[1] برای خارج کردن متانول از عصاره استفاده شد. پس از تغلیظ عصاره متانولی جهت استخراج متانول باقی‌مانده در عصاره، نمونه‌ها به دستگاه خشک کن انجمادی[2] انتقال داده شدند. از عصاره خالص برای اندازه‌گیری فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه استفاده شد. مقدار کل ترکیبات فنلی موجود در عصاره کنگرفرنگی به روش فولین- سیوکالته[3] و با اسپکتروفتومتر مورد بررسی قرار گرفت (ابراهیم‌زاده و همکاران، ٢٠٠٨). به‌منظور تعیین تغییرات اسید کلروجنیک و اسیدکافئیک که به‌عنوان شاخص کیفی عصاره برگ اهمیّت دارند، از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC[4]): مدل مرک- هیتاچی مجهز به پمپ لاکروم، دتکتور UV و ستون C-18 استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر

1- Rotary evaporator
2- Freez drier
3- Folin-Ciocalteu
4- High performance liquid chromatography

سنگین خاک و نمونه گیاهی از روش هضم تر با اسیدنیتریک غلیظ و آب اکسیژنه استفاده شد و غلظت عناصر موردنظر در عصاره با دستگاه جذب اتمی مدل UNICAM 919 AA spectrometer اندازه‌گیری شد (بنتون و کیس، ۱۹۹۰). تجزیه و تحلیل آماری براساس طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

خاک موردنیاز جهت کشت از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه پژوهشی دانشگاه تهیه گردید. خاک مورد استفاده دارای بافت سیلتی- رس‌لوم است. مقدار سرب و کادمیوم خاک نیز ناچیز می‌باشد نتایج آزمون خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. طبق نتایج این جدول خاک مورد استفاده از نظر واکنش خاک pH خاک مورد مطالعه نسبتاً قلیایی است، در نتیجه می‌تواند باعث کاهش قابلیت دسترسی عناصر سنگین موجود در لجن فاضلاب گردد، که امکان استفاده از لجن فاضلاب در خاک مورد مطالعه را افزایش می‌دهد. هدایت الکتریکی خاک مورد مطالعه پایین بوده و خاک غیر شور می‌باشد. آهک خاک نسبتاً زیاد بوده (۱۸/۲۵ درصد) و خاک آهکی است. یافته‌های (واثقی و همکاران، ۲۰۰۳) نشان داد، که کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های آهکی از نظر آلودگی فلزات سنگین خطر کمتری دارد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

ظرفیت تبادل کاتیونی (cmolc/kg)	Cd قابل استفاده باDTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Pb قابل استفاده با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	بافت	درصد رطوبت اشباع (درصد)	ماده آلی (درصد)	واکنش	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	کربنات کلسیم معادل (درصد)
۲۱	<۱	۲	سیلتی رس‌لوم	۵۲	۲/۲	۷/٤	۱/۰۸۵	۱۸/۲۵

برخی ویژگی‌های لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است، مطابق اطلاعات این جدول مقدار ماده آلی لجن مورد مطالعه قابل توجه است. این مقدار ماده آلی (۳۰ درصد) می‌تواند علاوه‌بر جبران کمبود ماده آلی در خاک‌های کشاورزی، آثار مطلوبی بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک بگذارد (سانگ ولی، ۲۰۱۰، بهره‌مند و همکاران، ۲۰۰۱).

همچنین با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که مقدار سرب و کادمیم کل نمونه لجن به‌ترتیب ۳ و ۱۳٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک می‌باشد که طبق مصوبات استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا[1] (جدول ۲) از آستانه بحرانی عناصر سنگین کمتر است. این امر نکته مثبتی در به کاربردن لجن فاضلاب تلقی می‌گردد. با این حال باید توجه داشت که کاربرد طولانی مدت و مقادیر زیاد لجن می‌تواند موجب انباشته شدن این عناصر در خاک گردد. گزارش‌ها نشان می‌دهد، کاربرد لجن و فاضلاب شهری موجب افزایش مقادیر فلزات سنگین در خاک می‌گردد (بهمنیار، ۲۰۰۷؛ سینگ و اگراوال، ۲۰۱۰).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن مورد استفاده و مقایسه غلظت برخی فلزات سنگین با استانداردهای بین‌المللی.

پارامتر	واحد	لجن مورد استفاده	حدمجاز استاندارد اروپا*	حدمجاز استاندارد USEPA503	حد مجاز استاندارد آلمان	حد مجاز استاندارد کانادا
pH (۱:۵)	–	٦/٥٨	–	–	–	–
EC (۱:۵)	دسی‌زیمنس بر متر	۲/۲۳	–	–	–	–
ماده آلی	درصد	۳۰	–	–	–	–
سرب کل	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۳٦	۷۵۰–۱۲۰۰	۳۰۰	۹۰۰	۵۰۰
کادمیوم کل	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۳	۲۰–٤۰	۳۹	۵–۱۰	۲۰

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که رشد رویشی کنگرفرنگی تحت تأثیر لجن فاضلاب افزایش یافت. به‌طوری که این افزایش با افزایش سطح لجن مرتبط است. در مورد صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه، مشخص شد که بین تیمار لجن فاضلاب و مقدار زئولیت اثر متقابل وجود ندارد. عملکرد و اجزای آن تحت تأثیر تیمار لجن فاضلاب تفاوت‌های معنی‌داری نشان دادند. با افزایش سطوح لجن، کلیه پارامترهای رشدی مورد مطالعه افزایش یافت. از میان صفات مورفولوژیکی تحت بررسی تنها میزان کلروفیل برگ تحت تأثیر لجن فاضلاب قرار نگرفت. در مقابل، در میان صفات اندازه‌گیری شده، زئولیت تنها بر وزن تر گیاه اثر معنی‌داری داشت.

1- USEPA503

با توجه به جدول تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب و زئولیت بر وزن خشک گیاه (جدول ۳) می‌توان گفت که بین سطوح مختلف لجن فاضلاب از لحاظ تأثیر بر وزن خشک گیاه تفاوت معنی‌داری وجود دارد، همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ٤) نیز نشان می‌دهد که با افزایش میزان لجن وزن خشک گیاه افزایش یافت. بالاترین میزان وزن خشک (٤١/٨٢ گرم) مربوط به تیمار ۲۵ درصد لجن و پائین‌ترین میزان (١٩/٦٦ گرم) مربوط به تیمار شاهد می‌باشد.

این نتایج با نتایج آزمایش‌های قلی‌زاده و همکاران (۲۰۰۵) در گیاه دارویی بادرشبی مطابقت دارد. در گیاهان تجمع ماده خشک، حاصل فتوسنتز و سطح فتوسنتز کننده گیاه می‌باشد. افزودن لجن فاضلاب به خاک از این نظر که مواد آلی خاک و همچنین شاخص بیوماس میکروبی را افزایش می‌دهد، سبب افزایش فعالیت‌های آنزیمی گیاه شده و از این طریق بر فرایند فتوسنتز و در نهایت افزایش عملکرد گیاه تأثیر مثبتی می‌گذارد (حجتی و همکاران، ۲۰۰٦). به‌نظر می‌رسد که با توجه به مطالعات چاندرا و همکاران (۲۰۰۸) افزایش لجن فاضلاب باعث افزایش کارایی فتوسنتز و در نهایت افزایش رشد گیاه می‌شود. به‌علاوه مقادیر زیاد نیتروژن نیتراتی موجود در لجن فاضلاب افزایش فتوسنتز و در نهایت افزایش عملکرد گیاه را در پی دارد که افزایش وزن خشک در گیاه تحت تأثیر لجن بیشتر به‌علّت اخیر مرتبط است. با توجه به نتایج تأثیر سطوح مختلف زئولیت بر وزن خشک گیاه در جدول ۲ مشاهده شد که بین سطوح مختلف زئولیت از نظر وزن خشک گیاه و همچنین اثر متقابل زئولیت و لجن فاضلاب بر وزن خشک گیاه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک کنگرفرنگی تحت تأثیر لجن فاضلاب زئولیت.

منابع تغییرات	میانگین مربعات						
	درجه آزادی	تعداد برگ	عرض برگ	کلروفیل برگ	ارتفاع گیاه	وزن تر گیاه	وزن خشک
زئولیت	۳	۰/٦٨^{ns}	۱۷/۰۲^{ns}	۲۱/۷۹^{ns}	۹/٤٤^{ns}	۱۱۸۹۵/۱۱*	۵۹/۱۲^{ns}
لجن فاضلاب	۳	۱/٤٦*	۸٦/۸۲*	۱۹/۹۰^{ns}	۱٤۷/۳۸*	۱۲٤۳۲/٦۱*	۱۹٤/۹۲**
لجن × زئولیت	٦	۰/۱٤^{ns}	۳۱/۳۳^{ns}	۹/۹۱^{ns}	۳۱/٤٦^{ns}	٤٦٦۰^{ns}	٤۲/۸۹^{ns}
خطا	۳۹	۰/۲۱	۷/٦٦	۳/٤۷	۳۱/۲۵	۳۸۲/۵۷	۲۹/۲۱
ضریب تغییرات		۹/۲۱	۱۷/٤۷	۹/۰۵	۱٤/۷۲	۲۲/٤۹	۱٤/۷۹

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار.

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک کنگرفرنگی تحت تأثیر تیمار لجن فاضلاب و زئولیت در شرایط گلخانه.

زئولیت (درصد)	تعداد برگ (در هر گیاه)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	عرض برگ (سانتی‌متر)	میزان کلروفیل (اسپاد)	وزن تر (گرم/گلدان)	وزن خشک (گرم/گلدان)
٠	٧/٩٩٨^{a}	٧٠/٢٥٧^{a}	٢٤/٠٠^{a}	٤١/٣٣^{a}	٢٥٢/٨٧^{b}	٣٦/٥٧^{a}
٥	٧/٧٧٧^{a}	٦٩/٣٠٥^{a}	٢٢/٥٢^{a}	٤١/٠٥^{a}	٢٦١/٣٢^{b}	٣٥/٥٥^{a}
١٠	٧/٧٣٧^{a}	٧١/٤٧١^{a}	٢٥/٠٨^{a}	٣٩/٢١^{a}	٣١٢/٨٩^{a}	٤٠/٠٧^{a}
١٥	٨/١٨٩^{a}	٧٠/٢٧٧^{a}	٢٤/٢٥^{a}	٣٨/٦٤^{a}	٣٠٩/٦^{a}	٣٩/٥٧^{a}
لجن فاضلاب (٠ درصد) ٠	٧/٥٨١^{c}	٥٩/٥٨٣^{b}	١٧/٧٥^{b}	٣٨/٠٤١^{a}	١٦٥/٥٩^{b}	١٩/٦٦٣^{c}
١٥	٧/٧٢٨^{bc}	٦٤/٦٤٩^{ab}	٢٢/٣٧٥^{a}	٣٩/٠٥٦^{a}	٢٧٤/٧٤^{a}	٣٦/٩٠٦^{b}
٢٠	٧/٧٩١^{b}	٦٩/٠١٩^{ab}	٢٤/٥^{a}	٤٠/٧٨٩^{a}	٢٦٩/٢٧^{a}	٣٥/٧٦^{b}
٢٥	٨/٣٧٥^{a}	٧٢/٣٢٢^{a}	٢٤/٨١٣^{a}	٤٠/٢٤٢^{a}	٣٠٨/٥^{a}	٤١/٨٢٥^{a}

میانگین‌ها در هر ستون و به‌طور جداگانه برای هریک از فاکتورها (لجن فاضلاب و زئولیت) که حداقل دارای یک حرف مشابه هستند، بر مبنای آزمون LSD در سطح ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

با توجه به جدول تجزیه واریانس بین تیمارهای مختلف لجن از لحاظ وزن تر گیاه تفاوت معنی‌داری وجود دارد. مطابق نتایج حاصل از مقایسه میانگین (جدول ٤)، با افزایش لجن وزن تر افزایش یافت. بالاترین میزان وزن تر گیاه در سطوح ٢٥ درصد لجن مشاهده شد، درحالی‌که کمترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد. بین تیمار شاهد و سطوح دیگر لجن تفاوت معنی‌داری وجود دارد ولی بین سطوح مختلف لجن تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (جدول ٣). نتایج مقایسه میانگین همچنین مؤید وجود اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف زئولیت از لحاظ تأثیرگذاری بر وزن تر گیاه می‌باشد. بین تیمار شاهد و ٥ درصد زئولیت تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. تیمارهای ١٠ درصد و ١٥ درصد نیز تفاوت معنی‌دار نداشتند. با این وجود بین این تیمارها (١٠ درصد و ١٥ درصد) و تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (جدول ٤). معنی‌دار نبودن اثر متقابل عامل‌های زئولیت و لجن فاضلاب نیز نشان داد که میانگین‌های وزن تر گیاه در سطوح متفاوت لجن و زئولیت مستقل بوده و تأثیر زئولیت بر وزن تر به سطح لجن خاک بستگی ندارد. افزایش وزن تر گیاه تحت تأثیر زئولیت می‌تواند با افزایش ذخیره آب و عناصر غذایی در کانال‌های زئولیت و همچنین جلوگیری از آب‌شویی این عناصر تفسیر گردد. نتایج نشان می‌دهد که رشد طولی گیاه تحت تأثیر سطوح مختلف لجن متفاوت

بود. بلندترین گیاه در محیط دارای ۲۰ درصد لجن و کوتاهترین آن‌ها در تیمار شاهد مشاهده شد. نتایج فوق با نتایج چاندرا و همکاران (۲۰۰۸) مبنی‌بر افزایش ارتفاع گیاه با افزایش سطح لجن که بر روی گیاه نخود انجام شد مطابقت دارد. رشد طولی برگ با طویل شدن سلول که تحت تأثیر مستقیم اکسین قرار دارد، رابطه مستقیم دارد. فلزات سنگین سطح هورمون اکسین در گیاه را تحت تأثیر قرار داده و رشد طولی برگ نیز متأثر از این تغییر می‌باشد (واثقی، ۲۰۰۱).

نشان داده شد که افزایش فلزات سنگین در گیاه جو باعث افزایش فعالیّت آنزیم پروکسیداز می‌شود، این آنزیم در طویل شدن سلولی و افزایش فعالیّت مناطق رشدی گیاه اثر مثبت دارد. از این‌رو می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که فلزات سنگین لجن از طریق تأثیر بر فعالیت آنزیمی گیاه ممکن است بر رشد طولی آن‌ها مؤثر باشند. انتظار می‌رفت که افزایش ارتفاع گیاه تحت تأثیر زئولیت به‌دلیل خاصیت تبادل کاتیونی بالای زئولیت و همچنین جذب سطحی بالای آن که باعث افزایش جذب عناصر مغذی گیاه و افزایش شاخص‌های رشدی طول و عرض گیاه می‌شود، صورت گیرد. در هر صورت نتایج به‌دست آمده با نتایج سایر مح پژوهش‌گران که بیان کننده نقش زئولیت در افزایش دسترسی عناصر غذایی و همچنین افزایش رشد طولی و عرضی گیاه است (کالا و همکاران، ۲۰۰۸) مطابقت ندارد. سطوح مختلف لجن به‌طور معنی‌داری بر رشد عرضی برگ مؤثر بود. در مقابل زئولیت در رشد عرضی برگ تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. نتایج مقایسه میانگین‌های پهنای برگ تحت تأثیر تیمارهای مختلف لجن و زئولیت مؤید این نکته است که در بستر دارای سطح ۲۵ درصد لجن بیشترین رشد عرضی برگ صورت گرفته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که با افزایش سطح لجن میزان رشد عرضی گیاه افزایش می‌یابد. نتایج فوق با نتایج آزمایش‌های پژوهش‌گران دیگر (غلامحسینی و همکاران، ۲۰۰۷) مطابقت دارد. افزایش نیتروژن قابل دسترس در طول دوره رشد گیاه باعث افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه طول و عرض آن می‌شود. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) همچنین نشان داد که بین سطوح مختلف زئولیت از نظر تأثیر بر میزان رشد عرضی گیاه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. نتایج نشان داد که گیاهان رشد یافته در محیط دارای میزان لجن بیشتر، تعداد برگ بیشتری تشکیل داده‌اند. به‌طوری‌که بیشترین تعداد برگ و جوانه برگ در سطح ۲۵ درصد لجن مشاهده شد. در مقابل تشکیل برگ تحت تأثیر تیمار زئولیت قرار نداشت. در بررسی اثر سطوح مختلف لجن و زئولیت بر میزان کلروفیل برگ نتایج نشان داد که، بین سطوح مختلف لجن فاضلاب و از لحاظ تأثیرگذاری بر کلروفیل گیاه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۳). این عدم معنی‌داری در مورد سطوح مختلف زئولیت و همچنین اثر متقابل آن‌ها نیز مشاهده شد.

جدول ٥- تجزیه واریانس تأثیر لجن فاضلاب و زئولیت بر فاکتورهای شیمیایی برگ کنگرفرنگی.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		محتوی فنلی (میلی‌گرم گالیک‌اسید بر گرم وزن خشک)	محتوی فلاونوئیدی (میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک)	کلروجنیک‌اسید (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	کافئیک‌اسید (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)
زئولیت	٣	١٤٠٥/٩٥٢^{ns}	٦٨٥/٢١^{ns}	١/١^{ns}	٠/٠٠٩٣^{ns}
لجن فاضلاب	٣	٢٤/٢٢*	١٨٤١/٢٦*	٠/٠١١*	٠/٠٠٥٧*
زئولیت× لجن زئولیت	٦	١٣٠٣/٥٣^{ns}	٨٢٤/٢٨^{ns}	٠/٠٠٤٥^{a}	٠/٠٠٥٤^{ns}
خطا	٣٩	١٤	٤٤٤	٠/٠٠٣٢	٠/٠٠٤٧
ضریب تغییرات		١٤/٠٩	٢٣	١١/١٥	٩/٠٤٥

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فاکتورهای شیمیایی (جدول ٥) لجن فاضلاب بر محتوی فلاونوئیدی، محتوی فنول، میزان اسیدکافئیک و اسیدکلروجنیک برگ در سطح (٠/٠٥) اثر معنی‌دار بود. در مقابل اثر سطوح‌های مختلف به‌کار برده شده زئولیت بر فاکتورهای بیوشیمیایی غیر معنی‌دار بود.

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی کنگرفرنگی تحت تأثیر تیمار لجن فاضلاب و زئولیت در شرایط گلخانه.

زئولیت (درصد)	محتوی فنلی (میلی‌گرم گالیک‌اسید بر گرم وزن خشک)	محتوی فلاونوئید (میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک)	اسید کلروجنیک (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	اسید کافئیک (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)
٠	٩٠/٤٣^{a}	٣٢/٣^{a}	٠/٨^{a}	٠/١٥٢^{a}
٥	١٠٩/٩٣٨^{a}	٢٥/٨٧^{a}	٠/٩^{a}	٠/١٧٢^{a}
١٠	٨٥/٦٢^{a}	٢٦/٠١٦^{a}	١/٢^{a}	٠/١١^{a}
١٥	٩٩/٦٦^{a}	٤٠/٥٦^{a}	١/١^{a}	٠/١٥٥^{a}
لجن فاضلاب	٩١/٨٨^{b}	٣٢/٧٩^{ab}	٠/٥^{b}	٠/٢٨^{a}
١٥	٩٤/٧٢^{a}	٤٧/٧٩^{a}	٠/٩^{a}	٠/١٤٣^{b}
٢٠	٩٦/٨٤^{a}	٢٣/٤٩^{b}	١/١^{a}	٠/١٦٩^{b}
٢٥	٩٧/٣٣^{a}	٢٠/١٤^{b}	١/٤^{a}	٠/١٣٦^{b}

میانگین‌ها در هر ستون و به‌طور جداگانه برای هریک از فاکتورها (لجن فاضلاب و زئولیت) که حداقل دارای یک حرف مشابه هستند، بر مبنای آزمون LSD در سطح ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

لجن فاضلاب اثر معنی‌داری بر میزان فنل کل برگ داشت. مشاهده شد که محتوی فنلی برگ با افزایش سطح لجن افزایش یافت و در سطح ۲۵ درصد به حداکثر مقدار خود رسید. کمترین میزان فنلی در تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین اثر متقابل تأثیر سطوح مختلف لجن و زئولیت نیز در میزان فنل گیاه معنی‌دار نشد. به‌نظر می‌رسد که برهم‌کنش لجن و زئولیت در افزایش یا کاهش میزان فنل هم‌زمان نبوده و به‌صورت مستقل عمل می‌کنند. تغذیه زئولیت همچنین تأثیر معنی‌داری بر میزان فنل گیاه نداشت (جدول ٦). نشان داده شد که اسیدهای فنولیک در گیاهان در پاسخ به جراحات فیزیکی، بیماری و یا سایر استرس‌ها سنتز می‌شوند (بکمن، ۲۰۰۰). همچنین بیان شد که گیاه تحت شرایط استرس سنتز انواع ترکیبات فنیل پروپانوئیدی مثل فنل‌های ساده، آنتوسیانین فلاونوئیدها و لیگنین‌ها را افزایش می‌دهد (دیکسون و پایوا، ۱۹۹۵). با در نظر گرفتن این نکته که وجود لجن فاضلاب در بستر سبب افزایش عناصر سنگین خاک به‌عنوان یک عامل تنش‌زا برای گیاه می‌شود، افزایش غلظت فنل کل در برگ قابل بحث است. محتوی ترکیبات پلی‌فنلی، از برگ در برابر تنش‌های اکسیداتیو ایجاد شده توسط فلزات سنگین محافظت می‌کند. افزایش میزان فنل‌کل همسو با افزایش میزان لجن بستر بیانگر مقاومت نسبی کنگرفرنگی به تنش ناشی از لجن مقاوم است.

لجن فاضلاب تأثیر معنی‌داری بر محتوی فلاونوئید کل برگ داشت. بیشترین میزان فلاونوئید برگ (٤٧/٧٩ میلی‌گرم برگرم) در گیاهانی مشاهده شد که در گلدان‌های دارای ۱۵ درصد لجن رشد یافتند. نکته جالب توجه این‌که از نظر میزان ترکیبات فلاونوئیدی بین سطوح بالاتر لجن و سطح ۱۵ درصد تفاوت وجود داشت. به‌طوری‌که افزایش میزان لجن سبب کاهش تجمع فلاونوئید شد. به درستی مشخص نیست که دلیل کاهش فلاونوئید در سطوح بالای لجن چیست، به‌نظر می‌رسد که عناصر سنگین به‌عنوان عوامل بازدارنده رشد با تأثیر بر برخی از فرایند بیوشیمیایی از سنتز ترکیبات فلاونوئیدی به شکل مستقیم یا غیرمستقیم ممانعت می‌کنند (میشالاک، ۲۰۰٦). در مقابل بین سطوح مختلف زئولیت و مقدار فلاونوئید اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. لجن فاضلاب بر تجمع اسیدکلروجنیک مؤثر بود. به شکلی که بین سطوح مختلف لجن اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ مشاهده شد (جدول ۵). وجود زئولیت در ترکیب خاکی سبب تغییر میزان اسیدکلروجنیک شد. با این وجود اثر متقابل بین لجن فاضلاب و زئولیت معنی‌دار نشد. با افزایش سطح لجن میزان اسیدکلروجنیک افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان این ترکیب در گلدان‌های دارای ۲۵ درصد لجن در مقابل نمونه‌های شاهد مشاهده شد (جدول ٦). بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول

٥) لجن فاضلاب تأثیر معنی‌داری بر میزان اسیدکافئیک کنگرفرنگی داشت، اما میزان این ترکیب تحت تأثیر زئولیت قرار نگرفت. اثر متقابل سطوح مختلف لجن فاضلاب و زئولیت نیز معنی‌دار نبود. با مشاهده نتایج مقایسه میانگین (جدول ٦) می‌توان به‌این نتیجه رسید که با افزایش سطح لجن میزان اسیدکافئیک کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بالاترین مقدار اسیدکافئیک در تیمار شاهد مشاهده شد.

اسیدکافئیک به‌عنوان یک ترکیب فنولیکی ساده پیش‌ساز بسیاری از ترکیبات مهم و مؤثر آنتی‌اکسیدانی در اغلب گیاهان محسوب می‌شود. کاهش اسیدکافئیک در فرایند افزایش غلظت لجن فاضلاب را می‌توان به تبدیل این ترکیب به ترکیبات قوی‌تر و به‌عبارتی افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مؤثرتر از جمله اسید کلروجنیک و سینارین نسبت داد. از طرف دیگر با توجه به اختلال در فعالیّت آنزیم‌ها در شرایط تحت تنش فلزات سنگین و مطابق فرضیه کربن- عناصر غذایی که بیان می‌کند، در زمان تنش شدید ممکن است مقدار فتوسنتز آنقدر کم شود که تنفس عمده کربن تثبیت شده را مصرف نماید و در نتیجه رشد و تولید متابولیت‌های ثانویه محدود گردد (میشالاک، ٢٠٠٦)، تغییرات ترکیبات مؤثره را می‌توان مورد بحث قرار داد.

جدول ٧- نتایج تجزیه واریانس غلظت عناصر سنگین در اندام‌های مختلف کنگرفرنگی.

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزادی	سرب ریشه (میکروگرم بر گرم)	سرب اندام هوایی (میکروگرم بر گرم)	کادمیم ریشه (میکروگرم بر گرم)
زئولیت	٣	٠/٩٤٨*	٠/٠٢٠٥ns	٠/٠٠٣*
لجن	٣	٠/١٧٨*	٠/٠٢٠٥ns	٠/٠٠١١٧ns
زئولیت*لجن	٦	٠/٩٧١*	٠/٠١٣٣ns	٠/٠٠٢٠٦ns
خطا	٣٩	٠/٣٦٤	٠/٠١٤٥	٠/٠٠٠٩٥
ضریب تغییرات		٢٤/٠٦	٢٢/٨	١٣/١٥

* و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ٥ درصد و غیر معنی‌دار.

با مشاهده نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌های عناصر سنگین (جدول ٧)، تیمار لجن فاضلاب بر میزان سرب اندام هوایی و کادمیم ریشه اثر معنی‌داری نداشت، در مقابل میزان تجمع سرب ریشه تحت تأثیر لجن فاضلاب قرار گرفت. بر اساس نتایج، زئولیت در کاهش غلظت سرب و کادمیم ریشه

به شکل معنی‌داری مؤثر بود. به‌علاوه تحت تأثیر غلظت‌های مختلف لجن و زئولیت میزان تجمع سرب در ریشه گیاه تفاوت معنی‌داری (سطح ۵ درصد) داشت. افزایش سطح لجن فاضلاب منجربه افزایش غلظت سرب در ریشه کنگرفرنگی شد. به‌طوری‌که بیشترین میزان سرب مربوط به سطح ۲۵ درصد لجن به مقدار ۲/٦۵ میکروگرم بر گرم و کمترین غلظت سرب در تیمار شاهد برابر با ۱/۸٦ میکروگرم‌برگرم به ثبت رسید. در مقابل اگرچه روند تجمع سرب در ریشه گیاهان شاهد نسبت به گیاهانی که لجن دریافت نموده بودند به شکل معنی‌داری کمتر بود. با این وجود بین سطوح لجن ۱۵ و ۲۰ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. هودا (۲۰۱۰) گزارش کرد که در گیاه گندم بین میزان سرب جذب شده توسط گیاه و غلظت سرب خاک رابطه مستقیم وجود دارد. بر این اساس می‌توان بیان کرد که با افزایش سطح لجن فاضلاب در خاک میزان سرب بستر افزایش یافته و در نتیجه میزان جذب توسط گیاه نیز افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که بین غلظت سرب ریشه و اندام هوایی تفاوت زیادی وجود دارد به‌طوری‌که در اندام هوایی میزان سرب بسیار کمتر از ریشه است و این مؤید عدم قابلیت تحرک بالای عنصر سرب در گیاه و انتقال به اندام‌های هوایی می‌باشد. نتایج مشابهی توسط واثقی و همکاران (۲۰۰۳)، کاستالدی و همکاران (۲۰۰۵) و همچنین کرمی و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شده است. در پژوهشی با بررسی تأثیر مصرف فاضلاب بر میزان برخی از عناصر سنگین خاک و گیاه نشان داده شد که مقدار سرب تجمع یافته در ریشه برنج به‌دلیل انتقال کم سرب بیشتر از اندام هوایی و دانه برنج داشت (بهمنیار، ۲۰۰۷). کوپه (۱۹۸۱) بیان نمود که بیشترین قسمت سرب توسط ریشه گیاه جذب می‌شود و فقط مقدار بسیار اندکی از آن به اندام هوایی انتقال می‌یابد. این نکته از این نظر که برگ‌های کنگرفرنگی مورد استفاده دارویی قرار می‌گیرند، اهمیّت دارد. توجه به‌این نکته مهم است که عدم برداشت ریشه گیاهان (به‌جز گیاهان ریشه‌ای) در زمان برداشت، سبب تجمع تدریجی عناصر سنگین شده و در صورت عدم استفاده گیاه مناسب مسمومیت خاک را به‌دنبال خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده لجن فاضلاب بر صفات مورفولوژیک و برخی صفات بیوشیمیایی گیاه کنگر فرنگی مؤثر است. بررسی‌های انجام شده در این آزمایش نشان داد که تیمار لجن فاضلاب عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد، این افزایش رشد در افزایش تعداد برگ، عرض برگ، ارتفاع گیاه و

وزن خشک و تر گیاه منعکس شده است. با افزایش میزان لجن بستر میزان فنل کل و اسیدکلروجنیک افزایش یافت در حالی‌که میزان فلاونوئید و کافئیک‌اسید برگ کاهش یافت، این در حالی است که زئولیت هیچ تأثیر معنی‌داری بر فاکتورهای بیوشیمیایی مورد مطالعه نشان نداد. با توجه به افزایش روزافزون تولید لجن فاضلاب، وجود معادن عظیم زئولیت و قیمت پایین این کانی در ایران و همچنین پتانسیل بالای کشت کنگرفرنگی در کشور به‌خصوص در نواحی شمالی کشور، تکرار این آزمایش در شرایط مزرعه و با ایجاد تنوع بیشتر در سطوح لجن و زئولیت جهت دستیابی به حداکثر کمیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه کنگرفرنگی پیشنهاد می‌شود. در نهایت می‌توان بیان نمود که با کاربرد زئولیت استفاده از لجن در تغذیه کنگرفرنگی به‌دلیل افزایش عملکرد و بهبود نسبی کیفیت برگ توصیه می‌شود.

منابع

1.Bahmanyar, M.A. 2007. The effect of sewage usage in irrigation water of agricultural crops on some heavy metals of soil and plants, J. Environ Studies. 33(44): 19-26.

2.Bahremand, M., Afioni, M., Hajabassy, MA., Rezaiinezhad, E. 2001. Effect of sewage sludge on some phasical characters of soil. J. *Sciences* and Technology of *Agriculture* and *Natural Resources*. 12: 13-17.

3.Beckman, C. 2000. Phenolic-storing cells: keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defence responses in plants. Physiol. Mol. Plant Pathology. 57: 101–110.

4.Benton, J., and Case, V.W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In: Westerman, R.L. (ed.). Soil testing and plant analysis. 3rd ed. Book series No. 3. Soil Sci. Soc. of Am., Inc. Madison, WI., USA. 389-428.

5.Cala, V., Cases, M.A., and Walter, I. 2008. Biomass production and heavy metal content of *Rosmarinus officinalis* grown on organic waste-amended soil. J. Arid Environments. 62: 401-412.

6.Castaldi, P.L., Santona, L., and Melis, P. 2005. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupine growth. Chemosphere. 60: 365-371.

7.Chandra, R., et al. 2008. Effects of distillery sludge on seed germination and growth parameters of green gram (*Phaseolus mungo* L.). J. Hazard Mater.152: 431-439.

8.Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In Black C.A., et al. (eds.). Methods of soil analysis. ASA. Madison, WI. Pp: 891-901.

9.Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analisysis. Pp: 545-567. *In*: Black, C.A. (ed.), Methods of soil analysis. Part I. Agronomy 9, Soil Sci. Soc. of Am. Madison, WI., USA.
10.Dixon, R.A., and Paiva, N. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. Plant Cell. 7: 1085-1097.
11.Ebrahimzadeh, M.A., Hosseinimehr, S.J., Hamidinia, A., Jafari, M. 2008. Antioxidant and free radical scavenging activity of Feijoa sallowiana fruits peel and leaves. Pharmacologyonline, 1: 7-14.
12.Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Mohammad Modarres Sanavy, S.A., Jamshidi, E. 2007. Effect of Zeolite Compost Application in Loamy Sand Field on Grain yield and other Traits of Sunflower. Environmental Sciences, 5(1): 23-36.
13.Gholizadeh, A., Esfehani, M., Azizi, M. 2005. Study the role of water stress including Zeolite application on qualitative and quantitative characters of *Dracocephalum moldavica*. Research and Manufacturing in Natural Resources, 73: 1-6.
14.Hamidpour, M., Afyuni, M., Kalbasi, M., Khoshgoftarmanesh, A.A., and Inglezakis, V.J. 2010. Mobility and plant-aviability of Cd (II) and Pb adsorbed on zeolite and bentonite. Applied Clay Sci. 48: 342-348.
15.Hojati, S., Nourbakhsh, F., Khavazi, K. 2006. Effect of sewage sludge on soil microbe biomass, enzymatic activity and the yield of corn. J. Soil and Water Sci. 20(1): 84-93.
16.Hooda, P.S. 2010. Effect of salinity and macronutrient levels on micronutrient in wheat. J. plant nutrition. 24: 273-281.
17.Karami, M., Rezaiinezhad, E., Afioni, M., Shariatmadari, H. 2007. Cumulative effect and the residue of city filtering system sewage sludge on the concentration of lead and cadmium of soil and wheat plant. J. Science and Technology of Agriculture and Natural resources. 1(1): 79-94.
18.Koeppe, D.E., Lead, understanding the minimal toxicity of lead in plants; *In*: Lepp, N.W. (ed.), Effect of Heavy Metal Pollution on Plants, Vol. 1; Applied Science, London Pp: 55–76.
19.Kosobucki, P., Kruk, M., and Buszewski, B. 2008. Immobilization of selected heavy metals in sewage sludge by natural zeolites. Bioresource Technology. 99: 5972-5976.
20.Michalak, A. 2006. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. Polish J. Environ. Stud. 15: 523-530.
21.Mohammadi Sani, M., Astaraii, A., Fotovat, A., Lakzian, A. 2011. Stabilization of Zn and Pb of mine cultch using zeolite and superphosphate tripel and the effect of it on wheat growth. Iranian J. field crops research. 8(6): 956-964.
22.Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. Pp: 181-198. *In*: Page, A.L. (ed.). Methods of Soil Analysis. Part II. 2nd ed. ASA and SSSA.

23.Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Method of soil Analysis. Part 2, chemical and microbiological properties, Second Edition, No. 9.
24.Querol, X., Alastuey, A., and Moreno, N. 2006. Immobilization of heavy metals in polluted soils by the addition of zeolitic material synthesized from coal fly ash. Chemosphere. 62: 171-180.
25.Samaras, V., Tsadilas, D., and Stamadiadis, S. 2008. Effect of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility, cotton yield and nitrate leaching. Agronomy J. 3: 477-483.
26.Shi, WY., Shao, HB., Li, H., Shao, MA., and Du, S. 2009. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. J. Hazard Mater.170: 1-6.
27.Singh, R.P., and M., Agrawal. 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73: 632-641.
28.Song, U., and Lee, E.J. 2010. Environmental and economical assessment of sewage sludge compost application on soil and plants in a landfill. Resources, Conservation and Recycling, 54: 1109-1116.
29.Vaseghi, S. 2001. Effect of sludge sewage on absorbability of heavy metals and growth of plants in some acidic and alkaline soil. M.Sc. thesis, university of Esfahan.
30.Vaseghi, C., Afioni, M., Shariatmadari, H., Mobli, M. 2003. The effect of sewage sludge and soil pH on the absorption ability of micro elements and heavy metals. J. Science and Technology of Agriculture and Natural resources 3: 95-105.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(1), 2014
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effects of sewage sludge and zeolite on the Artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaf yield and leaf quality

N. Bolhasani[1], *A. Ghasemnezhad[2] and M. Baranimotlagh[3]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Horticulture Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Assistant Prof., Dept. of Horticulture Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Soil Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource

Received: 01/24/2013 ; Accepted: 10/30/2013

Abstract

Due to the role of Artichoke in blood cholesterol and sugar reduction as well as antioxidant properties, it is widely cultivated and used. Importance of plant feeding in one hand and environmental contamination by chemical fertilizers on the other hand, forced human to think about clean agriculture. To find the possibility to remove the limitation of microbial contamination and heavy metals, sewage sludge can be used as rich source of mineral and organic matter in plant feeding. In the present study, it has been tried to find the role of zeolite in heavy metal capturing beside the feeding value of sewage sludge. The experimental was complete randomized block containing two treatments of sewage sludge (design 15%, 20%, and 25%) and zeolite (0, 5%, 10% and 15%) with three replications. Results indicated that, using sewage sludge had an influence on some parameters including plant biomass and some qualitative indexes such as chlorogenic acid and total phenols. Contrary to that, a reduction in the content of caffeic acid and total flavonoid was observed. Zeolite had no significant effect on parameters involved in leaf yield and quality. Zeolite significantly (at 5%) reduced the rate of Lead and Cadmium of root. The lowest amounts of root Cadmium and Lead were observed in plants treated with 10% zeolite. Finally it can be concluded that, if it is possible to reduce the limitations of sewage sludge in plant feeding, sewage sludge could be a good fertilizer and zeolite could be a good agent to inactive the heavy metals in root rizosphere.

Keywords: Artichoke, Zeolite, Sewage sludge, Secondary metabolites

* Corresponding Authors; Email: aghasemnajad@hotmail.com