

کاربرد سرباره و لجن کنورتور فولاد سازی در غنی سازی کود دامی جهت تغذیه ذرت در شرایط گلخانه

احمد رضا مللی* و حسین شریعتمداری^۱

(تاریخ دریافت: ۸۵/۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۳/۲۳)

چکیده

استفاده از سرباره و لجن کنورتور، از محصولات فرعی صنایع فولاد، جهت افزایش کیفیت دو نوع کود آلی و اثر آنها بر تغذیه گیاه ذرت بررسی شد. این آزمایش به صورت انکوباسیون دو کود آلی، کود گاوی و ورمی کمپوست کود گاوی در نمونه‌های ۳ کیلوگرمی در رطوبت ظرفیت مزرعه و دمای اتاق به مدت سه ماه انجام شد. تیمارهای غنی‌سازی شامل سطوح مختلف ۰، ۵ و ۱۰ درصد آهن خالص از سرباره و لجن کنورتور کارخانه ذوب آهن و سولفات آهن تجاری بودند که در ابتدای انکوباسیون به کودهای فوق‌الذکر اضافه شدند. سپس نمونه‌برداری از تیمارها در زمان‌های ۰، ۱۰، ۲۵، ۴۵، ۶۵ و ۹۰ روز پس از شروع آزمایش صورت گرفت. سپس کودهای غنی شده به میزان ۱۷ گرم بر کیلوگرم (۵۰ تن در هکتار) در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی با خاک مزرعه چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان مخلوط گردید. در هر گلدان دو گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ کشت گردید و پس از ۷۰ روز عملکرد و غلظت آهن، منگنز، روی و مس اندام هوایی گیاه تعیین گردید. نتایج نشان داد که استفاده از سولفات آهن تجاری باعث افزایش آهن و منگنز قابل استخراج کود با DTPA شد. در غنی‌سازی به وسیله لجن کنورتور بهترین نتیجه در تیمار ۱۰ درصد آهن مخلوط با ورمی کمپوست کود گاوی و در زمان حدود ۶۰ روز به دست آمد. تیمار ۵ درصد آهن خالص سرباره در کود گاوی باعث افزایش آهن و منگنز قابل استخراج با DTPA با گذشت زمان شد، ولی تیمار ۱۰ درصد تأثیر چندانی در افزایش آهن و منگنز قابل استخراج با DTPA نداشت. بیشترین مقدار کل آهن گیاه در تیمارهای غنی شده با سولفات آهن وجود داشت. بعد از تیمار سولفات آهن مقدار آهن کل گیاه در تیمار ۱۰ درصد لجن کنورتور نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. از طرف دیگر بیشترین میزان کل منگنز گیاه مربوط به تیمار ۵ درصد لجن کنورتور مخلوط با ورمی کمپوست کود گاوی بود. در مجموع با توجه به تأثیر تیمار لجن کنورتور در افزایش جذب عناصر غذایی کم مصرف: آهن، منگنز، روی و مس گیاه؛ به نظر می‌رسد تیمار ۱۰ درصد آهن خالص از لجن کنورتور مطلوب‌ترین نتیجه را در غنی‌سازی کود دامی داشته است.

واژه‌های کلیدی: سرباره، لجن کنورتور، کود دامی، غنی‌سازی، آهن قابل استخراج با DTPA، آهن گیاه

مقدمه

که شکل‌گیری کلروفیل بدون حضور آهن ممکن نیست،
آهن یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است و از آنجا
بنابراین کمبود یا غیر فعال شدن آهن در گیاهان با کلروز

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

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

برگ‌ها ظاهر می‌شود (۱۰). عارضه کلروز آهن اغلب در خاک‌های آهکی دیده می‌شود. کمبود آهن و بعضی از عناصر کم‌مصرف گیاهان و یا غیر قابل جذب بودن آنها در خاک‌های آهکی از مشکلات اصلی تولید محصولات کشاورزی می‌باشد (۱۵). این خاک‌ها ۲۵ تا ۴۵ درصد زمین‌های کشاورزی جهان را تشکیل می‌دهند (۴). در ایران نیز این عارضه در کلیه مناطق میوه خیز از جمله خراسان، اصفهان، کرج و آذربایجان وجود دارد (۳). بهترین روش برای برطرف نمودن این عارضه در گیاهان استفاده از کودهای کلاتی آهن است، ولی به دلیل گران قیمت بودن، استفاده از آنها در بسیاری از موارد مقرون به صرفه نیست و فقط برای محصولات ویژه‌ای استفاده می‌شوند (۱۳). عباسپور و همکاران (۵ و ۹) نشان دادند که کاربرد لجن کنورتور باعث افزایش آهن قابل جذب خاک‌ها می‌شود و مقدار افزایش عموماً متناسب با مقدار لجن مصرفی است و پتانسیل کاربرد به عنوان کود آهن در خاک‌های آهکی را داراست. محمدی ترکاشوند و همکاران (۷) نشان دادند که pH خاک‌های اسیدی با افزایش نسبت سرباره افزایش یافت و سرباره مقدار فسفر و منگنز قابل استخراج با AB-DTPA را متناسب با مقدار به کار رفته افزایش داد، ولی آهن قابل استخراج بسته به pH اولیه خاک متفاوت بود. دستوری (۲) نشان داد که کاربرد لجن کنورتور باعث افزایش آهن قابل عصاره‌گیری خاک می‌شود که به دلیل دارا بودن اکسیدهای آهن دو ظرفیتی قادر است آهن مورد نیاز گیاه را تأمین نماید، ضمن این‌که این تیمار تأثیری بر pH خاک نداشته است. او هم‌چنین نشان داد که سرباره کنورتور حاوی مقدار زیادی آهن می‌باشد که احتمالاً به دلیل pH بالا دارای آثار منفی بر خاک و گیاه می‌باشد، لذا کاربرد مقادیر بالای این را در خاک توصیه نمی‌کند. محمود آبادی (۸) نشان داد که کاربرد سطوح مختلف لجن کنورتور و سرباره در خاک‌های آهکی سبب افزایش عملکردهای متفاوت گیاه ذرت شد که بیشترین عملکرد را در سطوح بالای این دو ترکیب (سه و چهار برابر توصیه آزمون خاک بر حسب آهن قابل جذب ترکیب) مشاهده نمود.

به طور کلی ترکیبات معدنی آهن به دلیل حلالیت کم تأثیر

چندانی در رفع کمبود ندارند (۶). از طرف دیگر کودهای آلی از نظر تعداد عناصر غذایی از جمله آهن نسبتاً فقیر هستند، ولی این کودها می‌توانند قابلیت جذب عناصر فلزی از جمله آهن را در خاک افزایش دهند (۱). لیندزی (۱۲) در تحقیق خود مشاهده نمود که اختلاط مواد آلی با ترکیبات معدنی آهن باعث افزایش راندمان این مواد در تغذیه گیاهان می‌شود. ماده آلی به همراه سرباره سبب افزایش عملکرد و جذب آهن، منگنز، روی و پتاسیم به وسیله گیاه در خاک‌های آهکی می‌شود (۷) هم‌چنین چن و همکاران (۱۱) نشان دادند اختلاط سولفات آهن با کود دامی تأثیر بسزایی در رفع کمبود آهن گیاه سورگوم در خاک آهکی داشته است.

استفاده از کودهای آلی جهت افزایش حلالیت آهن ترکیبات معدنی می‌تواند مفید باشد (۱). غنی‌سازی کودهای آلی توسط ترکیبات معدنی از قبیل سرباره و لجن کنورتور کارخانجات ذوب آهن می‌تواند باعث کلات شدن و افزایش حلالیت آهن در اثر واکنش با مواد آلی شود. با توجه به قابلیت دسترسی کودهای آلی مانند کود دامی و هم‌چنین مقادیر فراوان ضایعات حاوی آهن صنایع فولاد سازی کشور همچون سرباره و لجن کنورتور کارخانه ذوب آهن اصفهان، پتانسیل خوبی جهت غنی‌سازی کودهای آلی توسط این ضایعات و افزایش آهن محلول خاک وجود دارد. به عبارت دیگر مخلوط مناسبی از این ترکیبات می‌تواند ضمن افزایش کیفیت کودهای آلی و کمک به بهبود حاصلخیزی خاک‌ها، باروشی نسبتاً ارزان مشکل تغذیه آهن را در خاک کنترل نماید. لذا در این پژوهش غنی‌سازی دو نمونه کود آلی، کود گاوی و ورمی کمپوست کود گاوی با استفاده از دو ترکیب سرباره و لجن کنورتور فولادسازی کارخانه ذوب آهن اصفهان انجام گرفت و سپس تأثیر آنها بر افزایش آهن قابل استخراج کودهای آلی و افزایش عملکرد و کیفیت گیاه ذرت بررسی شد.

مواد و روش‌ها

نتایج تجزیه شیمیایی لجن کنورتور و سرباره فولاد سازی مورد استفاده که توسط آزمایشگاه مرکزی ذوب آهن اصفهان انجام

| جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی لجن کنورتور | | | | جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی سرباره | | | |
|---|-----------|-------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| ترکیب | مقدار (%) | ترکیب | مقدار (%) | ترکیب | مقدار (%) | ترکیب | مقدار (%) |
| Fe ₂ O ₃ | ۴۴/۳ | MnO | ۱/۰۲ | TFe | ۱۶/۸۳ | V ₂ O ₅ | ۲/۳۱ |
| FeO | ۱۹/۲۲ | ZnO | ۰/۰۳ | FeO | ۷/۸۷ | P ₂ O ₅ | ۴/۷۶ |
| CaO | ۶/۱۲ | V ₂ O ₅ | ۰/۰۷ | MnO | ۴/۴۶ | Al ₂ O ₃ | ۰/۷۸ |
| SiO ₂ | ۱/۳۰ | S | ۰/۱۳ | SiO ₂ | ۸/۹۲ | S | ۰/۱۸ |
| MgO | ۰/۲۴ | Na ₂ O | ۰/۲۰ | CaO | ۵۲/۸۵ | ZnO | ۰/۰۵۷ |
| Al ₂ O ₃ | ۰/۱۰ | K ₂ O | ۰/۲۰ | MgO | ۲/۲۲ | Na ₂ O | ۰/۰۷۵ |
| P ₂ O ₅ | ۰/۲۷ | L.O.I ^۱ | ۰/۳۰ | | | | |

Loss on ignition .1

جدول ۳. مشخصات کود گاوی مورد استفاده^۱

| نمونه | pH | EC _e | N | Ca | Fe | Zn | Mn | Cu | P | K |
|----------------------|------|-----------------|---------------|-------|------|------|----|-----|------|-------|
| | | dS/m | <-----/-----> | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| کود دامی | ۸/۰۲ | ۳/۳ | ۲/۰۵ | ۰/۰۵ | ۶۸/۰ | ۱۷/۵ | ۴۵ | ۱۱ | ۱۹۰۸ | ۱۲۷۰۰ |
| ورمی کمپوست کود دامی | ۷/۷ | ۲/۶ | ۱/۵۷ | ۰/۰۱۸ | ۷۲/۰ | ۱۲/۵ | ۵۱ | ۷/۵ | ۲۲۱۷ | ۱۳۸۶ |

۱. غلظت فلزات Fe, Zn, Mn, Cu مربوط به بخش قابل استخراج با DTPA این عناصر می باشد.

گلدان نمونه‌های فرعی برداشت شد و جهت تعیین عناصر آهن، روی، مس و منگنز قابل استخراج با DTPA مورد آزمایش قرار گرفتند. ضمناً در نمونه‌های ورمی کمپوست در ابتدای آزمایش به هر گلدان ۱۰۰ عدد کرم خاکی از جنس *Eisnesia foetida* نیز اضافه گشت، حفظ رطوبت و نمونه برداری‌های بعدی مطابق روند فوق الذکر در این گلدان‌ها نیز صورت گرفت. آهن و سایر عناصر قابل عصاره‌گیری با DTPA به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل پریکین المر A۲۰۰ اندازه‌گیری شدند.

سپس اثر این ترکیبات بر روی جذب عناصر و عملکرد گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در یک طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در شرایط گلخانه‌ای مطالعه شد، به این صورت که معادل ۵۰ تن در هکتار (۱۷ گرم کود بر کیلوگرم خاک) از کودهای غنی شده در شرایط انکوباسیون در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی با

شده (جدول ۱ و ۲) نشان می‌دهد که سرباره و لجن کنورتور علاوه بر آهن حاوی مقادیر قابل توجهی کلسیم، منیزیم، آلومینیوم، سیلیسیم، منگنز، روی، فسفر و عناصر دیگر می‌باشد، که مقادیر آنها بسته به نوع سنگ آهن و روش تولید فولاد متغیر است (۱۴).

در این آزمایش غنی‌سازی دو کود آلی؛ کود گاوی و ورمی کمپوست کود گاوی (جدول ۳) با استفاده از سه سطح ۰، ۵ و ۱۰ درصد آهن خالص از ترکیبات سرباره و لجن کنورتور فولادسازی ذوب آهن و سولفات آهن تجاری طی سه ماه خواباندن نمونه‌ها در دمای اتاق مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های مخلوط در گلدان‌هایی با ظرفیت ۳ کیلوگرم قرار گرفتند و طی زمان خواباندن رطوبت نمونه‌ها با روش وزنی در حد ظرفیت مزرعه نگه داشته شد. طی این مدت در فواصل زمانی ۰، ۱۰، ۲۵، ۴۵، ۶۵ و ۹۰ روز از شروع آزمایش از هر

جدول ۴. برخی خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان^۱

| بافت | pH | EC _e | OM | N | CaCO ₃ | Fe | Zn | Mn | Cu | P | K |
|------------------|-----|-----------------|------|---------------|-------------------|-----|----|------|----|------|-----|
| | | dS/m | | <-----%-----> | | | | | | | |
| SCL ^۱ | ۸/۱ | ۳/۷ | ۰/۲۹ | ۰/۰۳۹ | ۶۳/۵ | ۳/۲ | ۱ | ۲۷/۴ | ۲ | ۱۳/۵ | ۷۱۴ |

۱. Sandy Clay Loam

۲. غلظت فلزات Cu, Mn, Zn, Fe مربوط به بخش قابل استخراج با DTPA این عناصر می باشد.

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر تیمارها و زمان نگهداری بر مقدار آهن (mg/Kg) قابل استخراج با DTPA

| تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|---------|------------|----------------|
| تیمار | ۵ | ۱۳۳۸۶۹۹** |
| زمان | ۵ | ۳۰۷۹۷۷** |

** : در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است.

قابل استخراج در کودهای آلی محدود می باشد و هم چنین به دلیل وجود آهن فراوان در سرباره (۵۲/۸ درصد CaO)، افزایش سرباره در تیمارهای بیش از ۵ درصد تأثیری در افزایش آهن قابل استخراج مخلوط نداشته است. ضمناً تیمار ورمی کمپوست نیز تفاوت معنی داری با تیمارهای کمپوست نشان نداد و به نظر می رسد در غنی سازی کودها تأثیر افزایش یافته ای نداشته است. بنابراین غنی سازی با سرباره در تیمار ۵ درصد در زمان ۹۰ روز خواباندن می تواند نتیجه رضایت بخشی داشته باشد.

در تیمار ۵ درصد آهن خالص از لجن کنورتور در اثر گذشت زمان میزان آهن قابل استخراج با DTPA افزایش یافته است. خصوصاً در تیمارهای ورمی کمپوست میزان آهن قابل استخراج بیشتر می باشد، به نظر می رسد کرم های خاکی در این تیمار در افزایش حلالیت آهن معدنی و یا حفظ آهن به شکل قابل استخراج در کود نقش مثبت داشته اند.

سطح ۱۰ درصد آهن خالص از لجن کنورتور طبق آزمون LSD تفاوت معنی داری با تیمار شاهد نشان داد و باعث افزایش آهن قابل استخراج شد، به طوری که بیشترین آهن قابل استخراج در تیمار ورمی کمپوست و در زمان حدود ۶۰ روز به دست آمد، احتمالاً افزایش بیشتر زمان نگهداری تا ۹۰ روز باعث افزایش pH

خاک مزرعه چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان (جدول ۴) مخلوط و در هر گلدان دو گیاه ذرت کشت گردید. پس از گذشت ۷۰ روز اندام های هوایی گیاه برداشت شد و بعد از تعیین طول و وزن خشک گیاه غلظت کل عناصر Mn, Zn, Cu, Fe در خاکستر گیاه با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۲۰۰۰ اندازه گیری شد و نتایج حاصل با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث

الف) آهن قابل استخراج با DTPA

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان می دهد که اثر تیمارها و زمان نگهداری بر آهن قابل استخراج با DTPA در سطح ۱ درصد معنی دار است (جدول ۵). تأثیر تیمارها و زمان نگهداری بر آهن قابل استخراج در جدول ۶ نشان داده شده است.

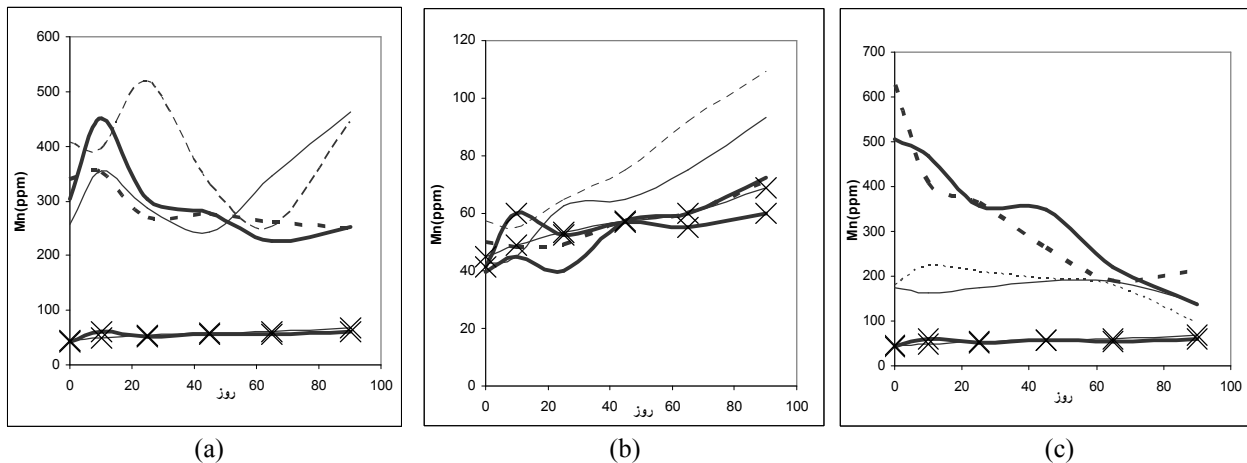
تیمار ۵ درصد آهن خالص از سرباره با کود گاوی باعث افزایش آهن قابل استخراج با DTPA در اثر گذر زمان شده است. ولی تیمار ۱۰ درصد آهن خالص از سرباره تأثیر چندانی در افزایش آهن قابل استخراج نداشته است. احتمالاً به دلیل این که ترکیبات موثر جهت کلاته کردن آهن معدنی و تبدیل آن به آهن

جدول ۶. اثر تیمار و زمان نگهداری بر مقدار آهن (mg/Kg) قابل عصاره‌گیری با DTPA

| AW | A | AS ₂ W | AS ₂ | AS ₁ W | AS ₁ | AK ₂ W | AK ₂ | AK ₁ W | AK ₁ | AC ₂ W | AC ₂ | AC ₁ W | AC ₁ | زمان |
|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------|
| ۷۲/۰ | ۶۸/۰ | ۲۶۲۲ | ۲۵۱۷ | ۱۰۹۲ | ۱۰۸۹ | ۱۲۵ | ۱۱۵ | ۹۰/۰ | ۱۰۰ | ۲۲/۵ | ۲۵/۰ | ۳۵/۰ | ۳۲/۵ | ۰/۰ |
| ۶۴/۰ | ۵۶/۰ | ۹۶۰ | ۱۹۹۲ | ۹۷۰ | ۹۵۰ | ۱۴۲ | ۱۳۵ | ۱۰۲/۵ | ۸۰/۰ | ۳۱/۲ | ۲۷/۵ | ۳۷/۵ | ۴۰/۰ | ۱۰ |
| ۶۸/۰ | ۶۳/۵ | ۹۲۵ | ۹۷۵ | ۸۲۰ | ۸۲۰ | ۱۶۰ | ۱۲۰ | ۸۰/۰ | ۶۷/۵ | ۴۲/۵ | ۳۰/۰ | ۳۵/۰ | ۴۳/۰ | ۲۵ |
| ۵۷/۰ | ۴۷/۵ | ۶۸۰ | ۶۸۵ | ۶۸۲ | ۸۱۵ | ۲۳۰ | ۱۴۱ | ۹۷/۵ | ۹۰/۰ | ۴۸/۷ | ۳۰/۰ | ۴۸/۰ | ۴۷/۵ | ۲۵ |
| ۶۳/۰ | ۴۳/۰ | ۱۰۷۰ | ۶۲۰ | ۶۸۰ | ۸۲۲ | ۳۲۵ | ۱۳۸ | ۱۱۰ | ۱۰۵ | ۶۷/۵ | ۲۲/۵ | ۶۳/۰ | ۶۲/۵ | ۶۵ |
| ۷۵/۰ | ۵۱/۵ | ۱۱۱۲ | ۸۴۵ | ۶۴۰ | ۷۱۰ | ۳۰۲ | ۲۱۵ | ۱۸۵ | ۱۴۷/۵ | ۸۵/۰ | ۱۷/۵ | ۹۸/۷ | ۸۰/۰ | ۹۰ |
| ۶۶/۶۰ ^{ef} | ۵۴/۹ ^{ef} | ۱۲۲۸ ^g | ۱۳۷۳ ^h | ۸۱۴ ^b | ۸۶۷ ^b | ۲۱۴ ^c | ۱۴۴ ^{cd} | ۱۱۰ ^{de} | ۹۸/۳ ^{def} | ۴۹/۸ ^{ef} | ۲۵/۴ ^f | ۵۲/۸ ^{ef} | ۵۰/۹ ^{ef} | میانگین |

۱. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح LSD آزمون ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند ($LSD_{1\%} = 54/28$).

کود گاوی A: سرباره C: سرباره K: لجن کنورتور S: سولفات آهن W: ورمی کمپوست ۱: تیمار ۵٪ آهن خالص ۲: تیمار ۱۰٪ آهن خالص



شکل ۱. تغییرات منگنز قابل استخراج با DTPA با زمان؛ (a) تیمار سرباره، (b) تیمار لجن کنورتور و (c) تیمار سولفات آهن. در هر شکل علائم به کار رفته عبارت اند از: ورمی کمپوست کود گاوی -x-، ورمی کمپوست + ۵٪ آهن ---، ورمی کمپوست + ۱۰٪ آهن ---، کود گاوی -x-، کود گاوی + ۵٪ آهن —، کود گاوی + ۱۰٪ آهن —.

دلیل کمتر بودن منگنز موجود در ترکیب لجن کنورتور (به میزان ۱/۰۲ درصد) می باشد. بیشترین میزان منگنز در تیمار حاوی ۱۰ درصد آهن لجن کنورتور مخلوط با ورمی کمپوست می باشد، که احتمالاً به دلیل فعالیت کرم ها و جلوگیری از رسوب منگنز می باشد.

ضمناً در تیمارهای حاوی لجن کنورتور کاهش ناچیزی در منگنز قابل استخراج پس از چند هفته اول اتفاق افتاده است، به نظر می رسد روند نزولی منگنز قابل استخراج در این تیمار به دلیل تغییرات pH و رسوب و یا اکسایش منگنز II و III به IV می باشد که منگنز IV می تواند به صورت کانی های کم محلول رسوب کند (۵).

میزان روی قابل استخراج کلیه تیمارها کمتر از شاهد بود (داده ها نشان داده نشده است) و در هر دسته تیمارها، تیمارهای ورمی کمپوست میزان روی بیشتری نشان می دهند، احتمالاً به دلیل کم بودن غلظت روی در ترکیبات به کار رفته و همچنین رسوب و جذب سطحی روی در زمان انکوباسیون این پدیده اتفاق افتاده است و کرم های خاکی در حفظ روی قابل جذب نقش موثر داشته اند. در ضمن سرباره می تواند سبب کاهش جذب روی گیاه در خاک شدیداً اسیدی و افزایش جذب خاک حدوداً خنثی شود (۷).

و رسوب ترکیبات نامحلول تر آهن می شود (۱۰). استفاده از سولفات آهن باعث افزایش نسبتاً شدید آهن قابل استخراج مخلوط های کودی شد، گرچه با گذشت زمان آهن قابل استخراج کاهش یافت، به نظر می رسد این پدیده به دلیل حالیت زیاد آهن این ترکیب معدنی می باشد که در اثر گذشت زمان با تثبیت آهن به شکل اکسیدها و هیدروکسیدهای کم محلول از قابلیت استخراج آن کاسته می شود، همچنین حالیت بالای سولفات آهن در مراحل اولیه دوره خواباندن کود pH مخلوط را کاهش داده است که با گذشت زمان و تثبیت آهن محلول pH نیز تدریجاً افزایش یافته است.

(ب) منگنز، روی و مس قابل استخراج با DTPA

تیمارهای حاوی ۵ درصد آهن خالص از سرباره مخلوط با ورمی کمپوست کود گاوی بهترین نتیجه را در افزایش منگنز قابل استخراج با DTPA نشان دادند (شکل ۱). علت افزایش را می توان به منگنز موجود در ترکیب سرباره (به میزان ۲/۲۲ درصد) نسبت داد. در غنی سازی با استفاده از لجن کنورتور در تیمارهای حاوی ۱۰ درصد آهن مخلوط با کود بهترین نتیجه به دست آمد. استفاده از لجن کنورتور به مقدار کمتری نسبت به تیمارهای سرباره منگنز قابل عصاره گیری را افزایش داد، که به

جدول ۸. تجزیه واریانس عملکرد (gr/pot) گیاه ذرت در تیمارهای کود گاوی

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|--------------|------------|----------------|
| تیمار | ۱۳ | ۷/۴۳** |
| خطا | ۴۲ | ۰/۳۶۶** |

** در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است.

جدول ۷. تجزیه واریانس آهن کل گیاه ذرت (mg`pot) در تیمارهای کود گاوی

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|--------------|------------|----------------|
| تیمار | ۱۳ | ۳۰۵۲۰** |
| خطا | ۴۲ | ۹۹۴** |

** در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است.

جدول ۹. میانگین عملکرد (gr/pot) و مقدار کل آهن گیاه ذرت (µg/pot) در تیمارهای کود گاوی

| تیمار | AC ₁ | AC ₂ | AC ₁ W | AC ₂ W | AK ₁ | AK ₁ W | AK ₂ | AK ₂ W | AS ₁ | AS ₁ W | AS ₂ | AS ₂ W | A | AW |
|----------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
| عملکرد | ۷/۴ ^{de1} | ۶/۳ ^e | ۷/۹ ^d | ۸/۵ ^{cd} | ۸/۱ ^{cd} | ۸/۲ ^{cd} | ۹/۲ ^{bc} | ۱۰ ^{ab} | ۱۰/۳ ^{ab} | ۹/۹ ^{ab} | ۱۰/۴ ^a | ۱۰ ^{ab} | ۶/۴ ^e | ۶/۷ ^e |
| آهن گیاه | ۴۱۲ ^{de} | ۳۷۷ ^e | ۴۱۸ ^{de} | ۳۹۵ ^{de} | ۴۰۷ ^{de} | ۳۹۷ ^{de} | ۴۴۲ ^{cd} | ۴۸۹ ^{bc} | ۵۲۰ ^{ab} | ۵۴۵ ^{ab} | ۵۷۸ ^a | ۵۰۵ ^b | ۲۷۹ ^f | ۲۹۵ ^f |

۱. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح ۱٪ آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند، (LSD_{1%} = ۱/۱۰) عملکرد و LSD_{1%} = ۵۸/۲ آهن گیاه).

A: کود گاوی C: سربراره K: لجن کنورتور S: سولفات آهن W: ورمی کمپوست ۱: تیمار ۵٪ آهن خالص ۲: تیمار ۱۰٪ آهن خالص

ورمی کمپوست کود گاوی مخلوط با ۱۰ درصد آهن خالص لجن کنورتور تفاوت معنی‌دار با تیمارهای سربراره و ۵ درصد لجن کنورتور نشان داد.

د) تغییرات منگنز کل در گیاهان ذرت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر غنی‌سازی کود بر مقدار کل منگنز گیاه ذرت در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۱۰). تأثیر کودهای آلی غنی شده بر مقدار منگنز کل گیاه در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

بیشترین میزان منگنز کل گیاه مربوط به ۵ درصد لجن کنورتور در تیمار کود گاوی می‌باشد که این تیمار دارای بالاترین غلظت منگنز در گیاه می‌باشد. بعد از این تیمار بالاترین میزان منگنز کل گیاه در تیمار سولفات آهن دیده شد که به دلیل عملکرد بالا در این تیمار می‌باشد و نه غلظت بالای منگنز در گیاه. در تیمار ۵ درصد سربراره میزان منگنز کل گیاه کمتر از تیمار ۱۰ درصد سربراره بود که به دلیل پایین بودن عملکرد می‌باشد. به طور کلی مطلوب‌ترین تیمار در بالا بردن غلظت منگنز و

مس قابل استخراج با DTPA در تیمار ۱۰ درصد لجن کنورتور مخلوط با کود گاوی نتیجه مطلوب‌تری داده است. ضمناً در کلیه تیمارها یک کاهش اولیه در میزان مس قابل استخراج دیده شد که احتمالاً به دلیل جذب سطحی این عنصر می‌باشد.

ج) تغییرات آهن کل و عملکرد گیاهان ذرت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر کودهای غنی شده بر مقدار کل آهن گیاه و عملکرد وزن خشک در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۷ و ۸). تأثیر کودهای غنی شده بر مقدار آهن کل و عملکرد گیاه در جدول ۹ نشان داده شده است. تیمارهای سربراره و لجن کنورتور در سطوح مختلف غنی‌سازی تفاوت معنی‌دار با هم نداشتند، ولی به طور کلی استفاده از لجن کنورتور جهت غنی‌سازی، عملکرد بالاتری نسبت به سربراره داشته است. به جز تیمار سولفات آهن، مقدار آهن کل گیاه و عملکرد وزن خشک در تیمار ۱۰ درصد لجن کنورتور نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود، به طوری که تیمار

جدول ۱۰. تجزیه واریانس منگنز کل گیاه ذرت (mg/pot) در تیمارهای کود گاوی

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|--------------|------------|----------------|
| تیمار | ۱۳ | ۴۵۰۷۸** |
| خطا | ۴۲ | ۲۷۷۵** |

** در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است.

جدول ۱۱. میانگین عملکرد (gr/pot) و مقدار کل منگنز گیاه ذرت (μg/pot)

| تیمار | AC ₁ | AC ₂ | AC ₁ W | AC ₂ W | AK ₁ | AK ₁ W | AK ₂ | AK ₂ W | AS ₁ | AS ₁ W | AS ₂ | AS ₂ W | A | AW |
|------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|
| عملکرد | ۷/۳ ^{de1} | ۶/۳ ^e | ۷/۹ ^d | ۸/۵ ^{cd} | ۸/۱ ^{cd} | ۸/۳ ^{cd} | ۹/۲ ^{bc} | ۱۰ ^{ab} | ۱۰/۳ ^{ab} | ۹/۸ ^{ab} | ۱۰/۴ ^a | ۱۰ ^{ab} | ۶/۴ ^e | ۶/۶ ^e |
| منگنز گیاه | ۵۱۵ ^{cd} | ۵۰۶ ^d | ۵۶۷ ^{dc} | ۶۰۳ ^{bcd} | ۶۷۰ ^b | ۷۹۵ ^a | ۵۹۸ ^{bcd} | ۵۶۰ ^{cd} | ۵۷۳ ^{bcd} | ۵۲۸ ^{cd} | ۶۰۶ ^{bc} | ۵۹۰ ^{bcd} | ۳۷۶ ^e | ۳۸۶ ^e |

۱. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح ۱٪ آزمون LSD فاقد تفاوت معنی دار می‌باشند، (LSD_{1%} = ۱/۱۰ عملکرد و ۹۷/۶ LSD_{1%} = منگنز گیاه).

A: کود گاوی C: سرباره K: لجن کنورتور S: سولفات آهن W: ورمی کمپوست ۱: تیمار ۵٪ آهن خالص ۲: تیمار ۱۰٪ آهن خالص

ایجاد کرد. بیشترین میزان منگنز در تیمار ۱۰ درصد آهن از لجن کنورتور مخلوط با ورمی کمپوست به دست آمد که احتمالاً به دلیل فعالیت کرم‌ها و جلوگیری از رسوب منگنز می‌باشد. به جز تیمار سولفات آهن، مقدار آهن کل گیاه و عملکرد وزن خشک در تیمار ۱۰ درصد لجن کنورتور مخلوط با کود گاوی نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. استفاده از سطوح مختلف سرباره جهت غنی‌سازی تفاوت معنی‌داری با شاهد از نظر مقدار آهن کل گیاه نشان نداد. به نظر می‌رسد مطلوب‌ترین تیمارها در بالا بردن غلظت منگنز و آهن و افزایش عملکرد، تیمارهای غنی‌سازی با لجن کنورتور می‌باشند.

افزایش عملکرد در تیمارهای غنی شده با لجن کنورتور دیده می‌شود.

نتیجه‌گیری

افزایش سرباره در تیمارهای بیش از ۵ درصد تأثیری در افزایش آهن قابل استخراج مخلوط نداشته است و غنی‌سازی با سرباره در تیمار ۵ درصد در زمان ۹۰ روز خواباندن می‌تواند نتیجه رضایت بخشی نسبت به سطوح بالاتر سرباره داشته باشد. سطح ۱۰ درصد آهن خالص از لجن کنورتور بیشترین آهن قابل استخراج را در تیمار ورمی کمپوست و در زمان حدود ۶۰ روز

منابع مورد استفاده

- اشرفی، ا. ۱۳۸۰. غنی‌سازی کودهای آلی توسط ترکیبات معدنی آهن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- دستوری، ع. ۱۳۸۰. اثر پوسته اکسیدی، لجن کنورتور و سرباره کارخانجات ذوب آهن و فولاد اصفهان بر رشد و عملکرد ذرت در یک خاک آهکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- سالاردینی، ع. ا. ۱۳۸۰. حاصلخیزی خاک. چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.
- سالاردینی، ع. ا. و م. مجتهدی. اصول تغذیه گیاه. چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

۵. عباسپور، ع.، م. کلباسی و ح. شریعتمداری. ۱۳۸۳. کاربرد لجن کنورتوراسیدی شده (ضایعات کارخانه فولاد) به عنوان کود آهن. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۸(۱): ۶۱-۷۲.
۶. کلباسی، م. ۱۳۷۴. کلروز آهن در گیاهان و راه‌های مبارزه با آن. نشریه شماره ۱۸، سازمان پارک‌ها و فضای سبز اصفهان.
۷. محمدی ترکشوند، ع. ۱۳۷۹. بررسی اثر سرباره کنورتور (فولاد سازی) به‌عنوان اصلاح کننده در خاک‌های اسیدی و کود آهن در خاک‌های آهکی. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۸. محمود آبادی، ع. ۱۳۸۳. اثر لجن کنورتور و سرباره ذوب آهن بر عملکرد ذرت و جذب برخی عناصر سنگین در سه خاک آهکی. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
9. Abbaspour, A, M. Kalbasi and H. Shariatmadari. 2004. Effect of steel converter sludge as iron fertilizer and soil amendment in some calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 27(2): 377-394.
10. Bindra, A. S. 1983. *Iron Chlorosis in Horticulture and Field Crops*. Kalyani Publisher, New Delhi.
11. Chen, Y., J. Navrot and P. Barak. 1982. Remedi of lime induced chlorosis with iron enriched muck. *J. Plant Nutr.* A5(9-7): 927-940.
12. Lindsay, W. L. 1992. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley & Sons Inc. Pub., New York.
13. Mortvedt, J. J. 1988. Iron sources and management practices for correcting iron chlorosis problem. *J. Plant Nutr.* A9: 94-97.
14. United Nations. 1990. The recuperation and economic of by-product of the iron and steel industry. Economic commission for Europe, Geneva.
15. Yen, P.Y, W.P. Inskeep and R.L. Westerman. 1988. Effect of soil moisture and phosphorus fertilization on iron chlorosis of sorghum. *J. Plant Nutr.* A11: 511-531.