اثر کود آلی و کشت همراه ذرت (*Zea mays L.*) و کلزا (*Brassica napus L.*) بر زیست‌فراهمی و جذب آهن در گلخانه

یاسر عظیم زاده[1]، حسین شریعتمداری و مهران شیروانی

دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز؛ yaser.azimzadeh@gmail.com

استاد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ shariat@cc.iut.ac.ir

استادیار خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ shirvani@cc.iut.ac.ir

دریافت: 93/4/23 و پذیرش: 94/1/26

چکیده

آهن یکی از عناصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان به شمار می‌رود. با وجود مقدار کافی آهن کل در خاک، در اغلب خاک‌ها کمبود آن در گیاهان بروز پیدا می‌کند. برای رفع کمبود آهن در گیاهان، مفیدترین روش خاکی، تغییر خصوصیات شیمیایی خاک جهت افزایش زیست‌فراهمی آهن برای گیاه می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر کود سبز یونجه و کشت مخلوط دو گیاه ذرت و کلزا، بر تغییرات برخی از خصوصیات شیمیایی ریزوسفر و زیست‌فراهمی و جذب آهن توسط گیاه، آزمایشی گلخانه‌ای با دو سطح کود سبز (صفر و 2% جرمی) و 4 تیمار کشت (ذرت منفرد، کلزا منفرد، کشت مخلوط (ذرت و کلزا) و شاهد (بدون کشت) در سه تکرار، با استفاده از رایزوباکس در قالب طرح فاکتوریل انجام شد. نتایج نشان داد که کود سبز با کاهش pH، افزایش کربن آلی محلول (DOC) و ماده آلی خاک (SOM) زیست-فراهمی آهن را به اندازه بیش از 4 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک افزایش داد. همچنین باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخساره گیاهان شده و جذب آهن توسط شاخساره کلزا را به اندازه 54 میکروگرم بر کیلوگرم خاک افزایش داد. نتایج همبستگی ساده خطی بین خصوصیات شیمیایی و زیست‌فراهمی آهن در خاک نشان داد که یک ارتباط پویا بین کاهش pH، افزایش DOC، SOM، EC و زیست‌فراهمی آهن در خاک وجود دارد. همچنین نتایج تجزیه گیاهان نشان داد که کود سبز غلظت آهن در شاخساره کشت مخلوط را کاهش داد. وزن خشک شاخساره در کشت مخلوط، 4/4 گرم در گلدان نسبت به کلزا و 5/5 گرم نسبت به ذرت در کشت منفرد بیشتر بود. بنابراین افزودن کود سبز به خاک و کشت مخلوط دو گیاه ذرت و کلزا در افزایش عملکرد مفید ارزیابی شد. همچنین کشت مخلوط ذرت و کلزا برای افزایش غلظت آهن در شاخساره ذرت مؤثر بود.

واژه‌های کلیدی: فاکتور انتقال، کربن آلی محلول، کمبود آهن، عناصر کم‌مصرف، گیاهان عنصرکارا

---

[1]: نویسنده مسئول، آدرس: تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

مقدمه

آهن یکی از عناصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان محسوب می‌شود. این عنصر در بسیاری از فرایندهای زیست‌شیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه مانند ساخت کلروفیل، فتوسنتز، تنفس، فعالیت‌های آنزیمی و واکنش‌های اکسایش و کاهش شرکت دارد (رونقی و همکاران، 2002). با وجود اینکه مقدار کل آهن در خاک‌ها بیشتر از نیاز گیاهان می‌باشد ولی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از جمله pH قلیایی، کمبود ماده آلی، زیاد بودن قابلیت هدایت الکتریکی، مقدار فراوان کربنات‌های آزاد خاک، تراکم و تهویه ضعیف خاک، زیست‌فراهمی آهن را در خاک تحت تأثیر قرار داده و تغذیه آهن گیاه را دچار مشکل می‌سازد (عشقی زاده و همکاران، 1390؛ کلباسی، 1374). کمبود آهن منجربه کاهش غلظت کلروفیل و فتوسنتز، کاهش وزن خشک بخش هوایی و ریشه، تغییر در غلظت و محتوای آهن و سایر عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی می‌شود که این صفات ارتباط نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعی دارند. طباطبایی و همکاران (1390) در مطالعه‌ای نشان دادند که کمبود آهن موجب کاهش وزن خشک شاخساره شد و میزان کاهش وزن خشک در شرایط کمبود آهن بسته به نوع گیاه متفاوت بود.

مشکل عمده کمبود آهن بؤیژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بخش وسیعی از اراضی زراعی ایران را شامل می‌شود، کمبود آهن کل خاک نیست بلکه زیست‌فراهمی کم آن برای گیاه می‌باشد و مصرف مقادیر زیاد کودهای حاوی آهن برای برطرف کردن کمبود این عنصر در خاک، آلودگی محیط زیست، تخریب ساختمان خاک و بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی خاک را در پی خواهد داشت. بنابراین مصرف کود آهن در چنین شرایطی کارایی لازم را نداشته و توصیه نمی‌شود (کالایسی و همکاران، 1999؛ تینکر و لاوچلی، 1984)؛ لذا یافتن راهکارهای مفید، دارای توجیه اقتصادی و سازگار با محیط زیست در مبارزه با کمبود این عنصر مورد توجه می‌باشد (عشقی زاده و همکاران، 1390). مؤثرترین روش برای رفع کلروز آهن، استفاده از کلات‌های طبیعی و مصنوعی آهن می‌باشد ولی به‌علت گرانی نسبتاً زیاد، معمولاً برای محصولات خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین استفاده از ترکیبات جایگزین که بتواند به‌طور مؤثر کلروز آهن را رفع نماید ضروری است (مورت‌وت، 1988). یکی از راهکارهای عملی و مفید برای رسیدن به این هدف، کشت گیاهان پوششی و کود سبز می‌باشد که می‌تواند جایگزینی برای کودهای شیمیایی باشد (آبریل و همکاران، 2007). کود سبز با تغییر خصوصیات شیمیایی خاک می‌تواند زیست‌فراهمی فلزات از جمله آهن را در خاک تحت تأثیر قرار دهد. به‌عنوان مثال، با کاهش pH، افزایش کربن و ماده آلی، تحریک فعالیت میکروبی و افزودن عناصر غذایی به خاک باعث افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف برای گیاهان می‌شود (تکالی‌اقلو و همکاران، 2003؛ شارما و میترا، 1988؛ تالگر و همکاران، 2009). کود سبز همچنین ماده آلی خاک را افزایش داده و با تشکیل کمپلکس فلز-ماده آلی حلالیت و تحرک فلزات را افزایش می‌دهد (آلماس و همکاران، 2000).

آهن محلول خاک در pHهای طبیعی خاک‌های آهکی کمتر از نیاز آهن گیاه بوده و گیاهان برای جذب آهن مورد نیاز خود در چنین شرایطی دو راهبرد را اعمال می‌کنند. راهبرد نوع اول که راهبرد غالب گیاهان دولپه‌ای و تک‌لپه‌ای‌های غیر گندمیان (غیر گرامینه) می‌باشد، شامل احیای Fe(III) به Fe(II)، ترشح پروتون (H^+)، ترشح ترکیبات آلی مانند مواد فنولی و اسیدهای آلی و توسعه سیستم ریشه‌ای می‌باشد. همچنین در این راهبرد گیاه ممکن است آهن را به صورت Fe^{3+} جذب کرده و در داخل ریشه‌ها به Fe^{2+} احیا کند (چن و همکاران، 2004). راهبرد دوم در گیاهان خانواده گندمیان (گرامینه) غالب بوده و در این راهبرد سیدروفورهای گیاهی (فایتوسایدروفور) که شامل اسیدهای آمینه غیرپروتئینی مانند موژینئیک‌اسیدها می‌باشند از ریشه به محلول خاک ترشح می‌شود و با تشکیل کمپلکس آهن (III) - فایتوسایدروفور قابلیت دسترسی آهن بهبود می‌یابد (یوسفی و همکاران، 2009). بنابراین، بخش مهمی از توانایی گیاهان مختلف برای جذب آهن خاک به فعالیت ریشه و خصوصیات ریزوسفر گیاهان مربوط می‌باشد. منچ و مارتین (1991) تفاوت در ترکیب ترشحات ریشه گیاهان مختلف را یکی از دلایل جذب مقادیر متفاوت فلزات توسط گونه‌های گیاهی مختلف گزارش کردند. از این رو تأثیر فعالیت ریشه در رفتار آهن خاک به نوع و مقدار ترشحات ریشه گیاه بستگی دارد. لذا با کشت دو گیاه مختلف در کنار هم، ریزوسفر مشترک آنها با داشتن خصوصیات متفاوت، می‌تواند تأثیرات متفاوتی را در رفتار آهن خاک داشته باشد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر کود سبز و سیستم کشت مخلوط بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک و زیست‌فراهمی، جذب و انتقال آهن در ذرت و کلزا به عنوان دو گیاه پر مصرف در دنیا بود.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه

در این آزمایش خاک کافی از منطقه‌ای واقع در 20 کیلومتری جنوب غرب شهر اصفهان و از عمق (صفر تا 30 سانتی‌متر) تهیه و پس از هوا خشک کردن و عبور از الک 2 میلی‌متری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن به شرح زیر تعیین شد: نیتروژن کل به روش کلدال (برمنر و کینی، 1966)، پتاسیم قابل جذب خاک به روش استات آمونیوم و فسفر به روش عصاره‌گیری اولسن (کو، 1996)، پ-هاش خاک با دستگاه pHمتر در سوسپانسیون یک به دو و نیم خاک و آب مقطر، ماده آلی خاک به روش اکسیداسیون تر والکلی- بلک (نلسون و سامرز، 1982)، کربن آلی محلول خاک در سوسپانسیون 1 به 4 خاک و آب مقطر و با استفاده از دستگاه کربن آنالایزر مدل Skalar Primacs^{SLC} carbon analyzer، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش استات آمونیوم در pH برابر 7 (چاپمن، 1965)، بافت خاک به روش پیپت (قی و باودر، 1986) و درصد کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون با اسید (آلیسون و مودی، 1965) اندازه‌گیری شد. مقدار کل آهن در خاک با استفاده از مخلوط اسید نیتریک و اسید کلریدریک به نسبت حجمی 1 به 3 اندازه‌گیری شد (مک‌گراث و کونلی، 1985). برای عصاره‌گیری بخش زیست‌فراهم آهن، از DTPA استفاده شد (0/005 DTPA مولار+ $CaCl_2$ 0/01 مولار+ TEA 0/1 مولار در pH=7/3) (لیندزی و نورول، 1978). تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول 1 ارائه شده است.

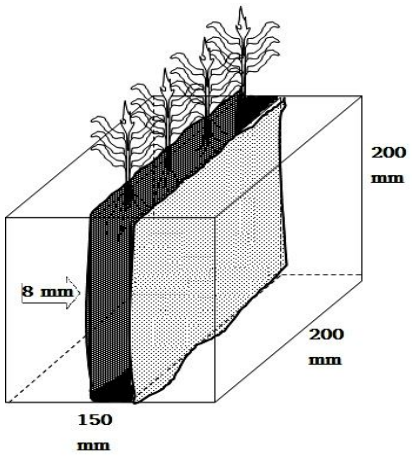
جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

کلاس بافت خاک	لومی رسی
طبقه‌بندی	Typic Haplocambids
پ-هاش (2/5 : 1)	7/9
ظرفیت تبادل کاتیونی($cmol_c\ kg^{-1}$)	13/66
نیتروژن کل(درصد)	0/1
فسفر قابل جذب($mg\ kg^{-1}$)	56/09
پتاسیم قابل جذب($mg\ kg^{-1}$)	109/1
کربن آلی(درصد)	0/62
کربنات کلسیم معادل (درصد)	41
کربن آلی محلول($mg\ L^{-1}$)	25/53
آهن کل ($mg\ kg^{-1}$)	19834/3
آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA ($mg\ kg^{-1}$)	7/01

آزمایش گلخانه‌ای

در این تحقیق برای کاشت گیاه از جعبه ریزوسفر (رایزوباکس) استفاده شد. رایزوباکس سیستمی است که برای بررسی ریزوسفر و تغییرات ناشی از فعالیت ریشه در ویژگی‌های خاک و رفتار عناصر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌علت ضخامت بسیار کم ریزوسفر و گسترش ریشه در توده خاک، حجم کوچکی از خاک ریزوسفری در بین حجم زیادی از خاک غیرریزوسفری قرار گرفته و نمونه‌برداری از ریزوسفر بسیار مشکل می‌باشد. با استفاده از سیستم رایزوباکس، می‌توان به‌راحتی رشد و گسترش حجم زیادی از ریشه را در درون حجم اندکی از خاک متمرکز کرد و با نمونه‌برداری از آن ناحیه کوچک، آن را معادل خاک ریزوسفری در نظر گرفت. جعبه ریزوسفرها در ابعاد 20×15×20 سانتی‌متر (طول× عرض× ارتفاع) ساخته شدند (یوسف و چاینو، 1987). فضایی به ضخامت 8 میلی‌متر در وسط هر جعبه ریزوسفر با استفاده از صفحات مشبک نایلونی 325 مش ناحیه‌بندی شد (شکل 1). تیمار کود سبز شامل دو سطح صفر و 2 درصد بود که با مخلوط کردن 2 درصد (جرمی) پودر یونجه با خاک اعمال شد. سپس در داخل هر جعبه به اندازه 5/6 کیلوگرم خاک عبور داده شده از الک 4 میلی‌متری ریخته شد. به طوری که در ناحیه ریزوسفری هر جعبه ریزوسفر به مقدار 400 گرم خاک ریخته شد. بذرهای ذرت رقم سینگل گراس 704 و کلزا رقم هایولا 401 در دمای 20 درجه سانتی‌گراد و در تاریکی جوانه‌دار شد. سپس در ناحیه وسط (ریزوسفری) هر جعبه 8 عدد بذر کشت شد که بعد از استقرار، به 4 گیاه تنک شد. به طوری که در تیمارهای کشت مخلوط دو بوته ذرت و دو بوته کلزا و در تیمارهای کشت منفرد ذرت و کشت منفرد

کلزا به ترتیب 4 بوته ذرت و 4 بوته کلزا نگه داشته شد. آبیاری گیاهان با استفاده از آب مقطر، به روش وزنی و پس از مصرف حدوداً 25% آب قابل استفاده به گونه‌ای انجام شد که خروج آب از زیر جعبه‌ها به حداقل برسد. بعد از 85 روز اندام هوایی گیاهان از ریشه جدا و خاک جعبه‌ها برداشت شد. در تیمارهای کشت مخلوط، دو بوته ذرت و دو بوته کلزا به صورت مجزا برداشت شد. سپس شاخساره و ریشه گیاهان جداگانه در داخل آون و در دمای 70 درجه سانتی‌گراد و به مدت 48 ساعت خشک و برای آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند. خاک جعبه‌ها نیز برای اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی و زیست‌فراهمی آهن برداشت شد. هضم نمونه‌های گیاهی با استفاده از روش هضم تر صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری غلظت آهن در ریشه و شاخساره ذرت و کلزا در کشت مخلوط، دو بوته ذرت و دو بوته کلزا به صورت مجزا تجزیه شدند ولی در مورد جذب، مقدار جذب آهن به ازای هر رایزوباکس محاسبه و جذب آهن توسط مجموع دو بوته ذرت و دو بوته کلزا در نظر گرفته شد. غلظت آهن موجود در عصاره‌های گیاهی و خاک به روش اسپکتروسکوپی جذب اتمی (AAS)، با دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل 200 AA اندازه‌گیری شد.



شکل 1- طرح شماتیک رایزوباکس مورد استفاده در این تحقیق

فاکتور انتقال آهن از نسبت غلظت فلز در اندام هوایی به غلظت آن در ریشه گیاه به‌دست آمد (گریپسن و همکاران، 2006). تیمارهای آزمایش شامل 2 سطح کود سبز (0 و 2 %) و 4 تیمار کشت (ذرت، کلزا، کشت مخلوط و شاهد) و 24 گلدان (جعبه) بود که با 3 تکرار و در قالب طرح فاکتوریل اجرا شد. تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار **SAS** و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون **LSD** و در سطح احتمال 5 درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک

pH: جدول 2 اثر کود سبز و نوع کشت را بر خصوصیات شیمیایی خاک و زیست‌فراهمی آهن در خاک نشان می‌دهد. افزودن کود سبز به خاک باعث کاهش معنی‌دار pH خاک شد و مقدار آن را به طور میانگین به اندازه 0/19 واحد کاهش داد (جدول 2). کود سبز با تأمین نیتروژن و کربن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها، فعالیت میکروبی را در خاک تحریک کرده و با تشدید تنفس میکروبی، فشار نسبی گاز CO_2 در خاک افزایش یافته و باعث کاهش pH می‌شود (داس و دخار، 2011). علاوه بر آن، آزاد شدن اسیدهای آلی حاصل از تجزیه کود سبز در خاک نیز در کاهش pH خاک دخالت دارد (گسکوانی و همکاران، 1995). pH در تیمارهای کشت نسبت به شاهد (بدون کشت) کاهش معنی‌دار نشان داد. لی و همکاران (2008) نیز در مطالعه‌ای مشاهده کردند که pH در ریزوسفر نسبت به خاک کشت نشده (شاهد) کاهش یافت. ترشح انواع اسیدهای آلی از ریشه گیاه ممکن است که در کاهش pH ریزوسفر نقش مهمی داشته باشد (سگوین و همکاران، 2004). به عقیده نای (1981) یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌هایی که pH ریزوسفر گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد نسبت جذب کاتیون به آنیون توسط ریشه می‌باشد. چرا که گیاه برای حفظ تعادل الکتروشیمیایی داخل سلول‌های خود، به ازای جذب کاتیون و آنیون به ترتیب از ریشه خود H^+ و OH^- و یا HCO_3^- آزاد کرده و بدین ترتیب pH ریزوسفر را تغییر می‌دهد. بنابراین بر حسب نسبت کاتیون به آنیون جذب شده توسط گیاه، ممکن است که pH ریزوسفر نسبت به

خاک غیر ریزوسفری بیشتر و یا کمتر باشد. با این حال به عقیده سگوین و همکاران (2004) بسته به مقدار و نوع ترشحات ریشه، تنفس ریشه و میکروب‌ها و همچنین تغذیه گیاه، pH ریزوسفر نسبت به توده خاک معمولاً اسیدی‌تر است.

DOC: افزودن کود سبز به خاک باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی محلول در ریزوسفر شد (جدول 2). کربن آلی محلول ریزوسفر ذرت بیشتر از کلزا بوده و در ریزوسفر کشت مخلوط مقدار حدواسط مشاهده شد. کاتانی و همکاران (2006) نیز مقدار کربن آلی محلول را در ریزوسفر ذرت سه برابر توده خاک گزارش کردند. با توجه به این که مقدار کربن آلی محلول خاک ارتباط بسیار نزدیکی با ترشحات ریشه گیاه دارد احتمالاً مقدار ترشحات ریشه ذرت در مقایسه با کلزا بیشتر بوده است. ریشه گیاه مقادیر قابل توجهی ترکیبات آلی شامل ترکیبات محلول در آب (قندها، اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه) و ترکیبات غیر محلول در آب (سلول‌های دیواره، ترکیبات پوسته ریشه و موسیلاژ) آزاد می‌کند. بسیاری از این ترکیبات بوسیله ریزجانداران به سرعت تجزیه می‌شوند، اما آزادسازی پیوسته ترکیبات آلی منجربه افزایش ماده آلی (محلول و جامد) در ریزوسفر می‌شود (لومبی و همکاران، 2001). لینچ و ویپس (1990) گزارش کردند که کربن آلی ریزوسفر به دلیل ترشحات ریشه گیاه افزایش یافته و بر همین اساس جمعیت میکروبی نیز افزایش می‌یابد و ترشحات آلی جمعیت میکروبی نیز بر DOC خاک می‌افزاید.

SOM: کود سبز به طور معنی‌دار باعث افزایش ماده آلی خاک شد (جدول 2). 2 درصد کود سبز افزوده شده به خاک، میانگین درصد ماده آلی ریزوسفر را بعد از حدود سه ماه از 1/5 درصد به 2/39 درصد افزایش داده و باعث افزایش 59 درصدی ماده آلی خاک شد. درصد ماده آلی خاک تحت کشت کلزا و کشت مخلوط بیشتر از ذرت اندازه‌گیری شد. متقیان و حسین پور (1392) در بررسی ویژگی‌های شیمیایی ریزوسفر لوبیا گزارش کردند که میانگین SOM و DOC در خاک ریزوسفر نسبت به توده خاک افزایش معنی‌دار نشان داد. در حالی که میانگین pH در ریزسفر به طور معنی‌دار کاهش یافت.

EC: کود سبز باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی ریزوسفر هر سه تیمار کشت شد در حالی که در تیمار شاهد اثر معنی‌دار نداشت (جدول 2) که احتمالاً به اثرات متقابل بین کود سبز و فعالیت ریشه گیاه در افزایش حلالیت عناصر مربوط باشد. افزودن کود سبز به خاک، مقدار هدایت الکتریکی ریزوسفر ذرت، کلزا و کشت مخلوط را به ترتیب به اندازه 0/65، 0/51 و 0/42 دسی‌زیمنس بر متر افزایش داد. وانگ و یانگ (2002) نیز افزایش EC خاک با افزودن کودهای آلی مانند کود سبز به خاک را گزارش کرده‌اند. هدایت الکتریکی ریزوسفر کلزا نسبت به ذرت و کشت مخلوط بیشتر بود و احتمالاً به ترکیب ترشحات ریشه گیاه مربوط باشد.

DTPA-Fe: افزودن کود سبز به خاک آهن قابل استخراج با DTPA ریزوسفر را به طور معنی‌دار افزایش داد (جدول 2). در شرایط بدون کود سبز آهن قابل جذب ریزوسفر ذرت بیشتر از کلزا و کشت مخلوط بود و احتمالاً به مکانیسم راهبرد اول و ترشح سایدروفورهای گیاهی از ریشه ذرت مربوط باشد. هینسینگر و همکاران (2003) نشان دادند که عناصر کم مصرف کاتیونی از طریق ایجاد کلات با فیتوسایدروفورها و اسیدهای الی آزاد شده از ریشه و ریز جانداران در محلول خاک افزایش می‌یابند. فعالیت ریشه گیاه در ریزوسفر با تغییر خصوصیات شیمیایی خاک از جمله کاهش pH، ترشح انواع ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم و افزایش DOC و ایجاد شرایط احیایی در ریزوسفر باعث افزایش زیست-فراهمی عناصر کم مصرف در ریزوسفر می‌شود.

مارشنر و رومهلد (1996) بیان داشتند که عناصر کم مصرف پیوند شده با کربنات‌ها و یا اکسیدها می‌توانند در شرایط اسیدی ناشی از تغییر pH و یا شرایط احیایی در ریزوسفر تغییر کرده و منجربه تغییر در قابلیت استفاده عناصر در خاک ریزوسفر شود. لیندزی (1979) گزارش نمود که به ازاء هر واحد کاهش pH خاک، حلالیت آهن در خاک 1000 برابر افزایش می‌یابد.

کاتانی و همکاران (2006) بیان داشتند که کربن آلی محلول خاک با تشکیل کمپلکس با فلز، فراهمی آن را برای گیاه افزایش می‌دهد.

در شرایط بدون کود سبز آهن زیست‌فراهم خاک در تیمارهای کشت نسبت به شاهد (بدون کشت) کاهش پیدا کرد که احتمالاً به جذب و برداشت آهن زیست‌فراهم توسط گیاه مربوط باشد.

با افزوده شدن کود سبز به خاک آهن زیست‌فراهم نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد و بیانگر اثر متقابل مثبت کود سبز و فعالیت ریشه گیاه در افزایش زیست‌فراهمی آهن می‌باشد.

جدول 2- اثر کود سبز و نوع کشت بر pH، DOC، EC، SOM **و آهن قابل عصاره‌گیری با** DTPA **خاک**

کود سبز	نوع کشت	PpH	DOC(mg/L)	EC(ds/m)	SOM (%)	DTPA-FEmg/kg
بدون کود سبز	ذرت کلزا مخلوط (ذرت و کلزا)	7/67^{bc}	40/75^{c}	0/95^{cd}	1/41^{f}	6/12^{c}
		7/64^{c}	28/60^{a}	1/54^{b}	1/60^{e}	5/39^{a}
		7/67^{bc}	35/76^{cd}	1/13^{c}	1/65^{e}	5/30^{d}
	شاهد ذرت کلزا	7/85^{a}	17/47^{e}	0/80^{d}	1/35^{f}	7/14^{bc}
		7/44^{d}	66/46^{a}	1/46^{b}	2/29^{c}	9/80^{a}
		7/49^{d}	54/90^{b}	2/05^{a}	2/79^{a}	10/78^{a}
با کود سبز	مخلوط (ذرت و کلزا)	7/43^{d}	58/90^{ab}	1/55^{b}	2/63^{b}	10/71^{a}
	شاهد	7/72^{b}	42/49^{c}	0/76^{d}	1/83^{d}	8/71^{b}

حروف متفاوت روی میانگین‌ها در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار آنها در سطح 5% آماری می‌باشد.

به عقیده برنال و مک‌گراث (1994) کاهش بخش زیست‌فراهم فلزات کم مصرف در ریزوسفر ممکن است به علت تشکیل کمپلکس با ترکیبات آلی ریزوسفر و یا جذب و برداشت توسط ریشه باشد.

همبستگی ساده خطی

نتایج همبستگی ساده خطی بین خصوصیات شیمیایی خاک و آهن قابل عصاره‌گیری با **DTPA** در جدول 3 نشان داده شده است. آهن ابل عصاره‌گیری با **DTPA** با **DOC**، **EC** و **SOM** همبستگی مثبت معنی‌دار ولی با **pH** همبستگی منفی معنی‌دار نشان داد. متقیان و حسین پور (1392) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. با توجه به این که کربن آلی محلول خاک که عمدتاً شامل ترشحات ریشه‌ها می‌باشد و همچنین مواد آلی خاک **(SOM)** نقش مؤثری در افزایش زیست‌فراهمی عناصر در خاک دارد و با افزایش انحلال و تحرک عناصر در خاک هدایت الکتریکی محلول خاک نیز افزایش می‌یابد (مارشنر و رومهلد، 1996؛ هینسینگر و همکاران، 2003) لذا رابطه مثبت بین این خصوصیات شیمیایی قابل انتظار می‌باشد. از سوی دیگر، کربن آلی محلول (اسیدهای آلی ترشح شده از ریشه) و همچنین مواد آلی خاک عمدتاً باعث کاهش **pH** خاک می‌شوند و با کاهش **pH** حلالیت املاح نیز افزایش یافته و **EC** محلول خاک نیز افزایش می‌یابد. انحلال آهن در خاک بسیار وابسته به **pH** خاک بوده و با کوچکترین تغییرات **pH** خاک، زیست‌فراهمی آهن نیز تغییر پیدا می‌کند (لیندزی، 1979).

جدول 3- ضرایب همبستگی ساده خطی (r) بین خصوصیات شیمیایی و آهن قابل جذب خاک (N=72)

	Fe-DTPA	SOM	EC	pH	DOC
DOC	0/53**	0/71**	0/53**	-0/69**	1
pH	-0/47**	-0/74**	-0/73**	1	
EC	0/29*	0/68**	1		
SOM	0/71**	1			

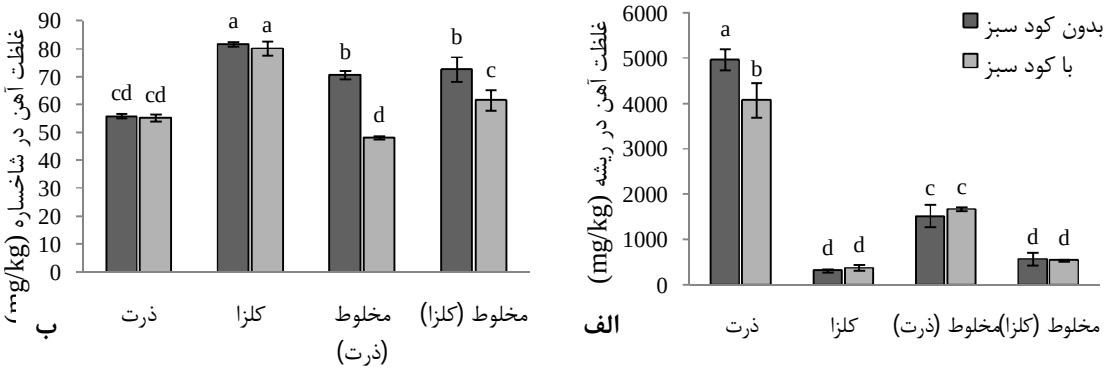
*، ** به ترتیب دارای همبستگی معنی‌دار در سطح 5 و 1 درصد

نتایج تجزیه گیاهان

غلظت آهن در ریشه و شاخساره

نتایج تجزیه گیاهان نشان داد که افزودن کود سبز به خاک، غلظت آهن را در ریشه ذرت و در شاخساره کشت مخلوط به طور معنی‌دار کاهش داد (شکل 2). اسپوزیتو و همکاران (1982) دلیل این امر را تشکیل کمپلکس‌های غیر قابل جذب و غیر محلول مواد آلی با آهن در رقابت با ریشه گیاه برای جذب آهن دانسته‌اند. به عقیده برنال و مک‌گراث (1994) برخی از ترکیبات آلی ممکن است که با تشکیل کمپلکس‌های قوی زیست-فراهمی فلزات کم مصرف را برای گیاه کاهش داده و بدین ترتیب باعث کاهش غلظت آن در گیاه شوند. البته کود سبز با افزایش عملکرد و از طریق اثر رقت نیز ممکن است غلظت آهن را در گیاه تحت تأثیر قرار دهد. غلظت آهن در ریشه ذرت به طور معنی‌دار بیشتر از کلزا (شکل 2 الف) ولی در شاخساره کلزا بیشتر از ذرت مشاهده شد

(شکل 2 ب). با وجود اندازه‌گیری غلظت بالای آهن در ریشه ذرت، علایمی از مسمومیت آهن در ذرت مشاهده نشد و این احتمال می‌رود که بخش قابل ملاحظه‌ای از آهن اندازه‌گیری شده در ریشه ذرت مربوط به رسوبات آهن در سطح ریشه باشد. احتمالاً رسوب آهن در سطح ریشه و اشغال سایت‌های فعال در جذب آهن، باعث شده است که غلظت آهن در ریشه ذرت بسیار بیشتر از شاخساره آن بدست آید و از طرف دیگر، مانع جذب و انتقال بیشتر آهن به شاخساره ذرت شود. از سوی دیگر، در چنین شرایطی، کود سبز ممکن است با کاهش pH باعث انحلال رسوبات آهن در سطح ریشه ذرت شده و غلظت آهن اندازه‌گیری شده در ریشه ذرت را کاهش دهد. همچنین غلظت بسیار بیشتر آهن در ریشه ذرت نسبت به کلزا ممکن است به مکانیسم‌های ذرت در افزایش زیست‌فراهمی آهن در خاک مربوط باشد چرا که آهن زیست‌فراهم در ریزوسفر ذرت بیشتر از کلزا بدست آمد (جدول 2). حد معمول غلظت آهن در گونه‌های مختلف گیاهان 50 تا 500 میلی‌گرم بر وزن خشک گیاه و حد بحرانی این عنصر برای تعداد زیادی از گیاهان 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش شده است (عابدی و هنرجو، 1382).



شکل 2- اثر کود سبز و نوع کشت بر غلظت آهن در ریشه (الف) و شاخساره (ب)

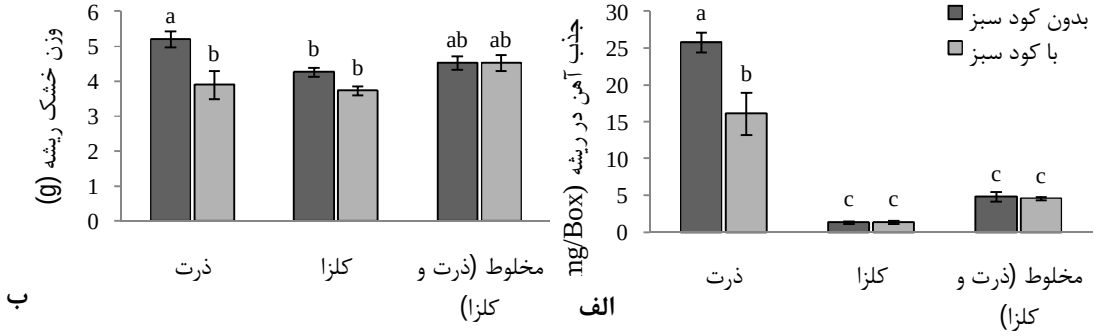
کشت مخلوط باعث کاهش غلظت آهن در ریشه ذرت و شاخساره کلزا شد (شکل 2). کاهش غلظت آهن در شاخساره کلزا در کشت مخلوط احتمالاً به افزایش وزن خشک شاخساره و اثر رقت ناشی از آن مربوط باشد ولی در مورد ریشه که کشت مخلوط بر وزن خشک آن اثر معنی‌دار نداشت، احتمالاً در ریزوسفر مشترک ذرت و کلزا یک برهم کنش منفی بین ریشه دو گیاه در قابلیت جذب و تجمع آهن در ریشه وجود داشته و اثر این برهم-کنش منفی در ذرت مشهودتر است. با افزودن کود سبز به خاک علی‌رغم افزایش وزن خشک شاخساره ذرت و کلزا در اثر کود سبز (شکل 4 ب)، کاهش غلظت آهن در شاخساره ذرت و کلزا مشاهده نشد (شکل 2 ب). احتمالاً ذرت و کلزا در کشت منفرد با افزایش عملکرد، توانایی خود را نیز در جذب بیشتر عناصری مانند آهن افزایش می‌دهند و افزایش عملکرد موجب بروز اثر رقت در غلظت آهن شاخساره آن نمی‌شود ولی در کشت مخلوط وقتی با افزودن کود سبز به خاک عملکرد گیاه افزایش می‌یابد اثرات رقابتی مانع از ارتقای توان جذب آهن به موازات افزایش عملکرد شده و در نتیجه در کشت مخلوط با افزایش عملکرد، اثر رقت نیز بروز می‌کند. با توجه به اینکه افزودن کود سبز به خاک هم غلظت و هم وزن خشک ریشه ذرت را کاهش داد به نظر می‌رسد که ذرت در برابر اسیدهای آلی حاصل از تجزیه کود سبز در خاک حساسیت بیشتری نسبت به کلزا داشت.

جذب آهن در ریشه

افزودن کود سبز به خاک باعث کاهش معنی‌دار جذب آهن در ریشه ذرت شد (شکل 3 الف) به طوری که غلظت آهن را در ریشه ذرت به اندازه 889 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک ریشه کاهش داد و همچنین وزن خشک ریشه ذرت را به اندازه 1300 میلی‌گرم کاهش داد و بدین ترتیب جذب آهن در ریشه ذرت کاهش پیدا کرد. کاهش عملکرد ریشه ذرت و کلزا با افزودن کود سبز به خاک احتمالاً به علت اثر سمیت اسیدهای آلی حاصل از تجزیه کود سبز در خاک باشد. علاوه بر آن ممکن است که کود سبز با تأمین بخشی از عناصر مورد نیاز گیاه، افزایش ظرفیت نگهداشت آب و بهبود تهویه خاک مانع از تحریک ریشه برای رشد بیشتر شده و باعث کاهش وزن خشک ریشه شود (بنجاوان و همکاران، 2007). در حالی

که در کشت مخلوط اثرات رقابتی بین ریشه ذرت و کلزا به طور پیوسته ریشه دو گیاه را تحریک به رشد کرده و اثر کود سبز در بازدارندگی رشد ریشه‌ها از این طریق قابل ملاحظه نبوده است.

جذب آهن در ریشه ذرت به طور معنی‌دار بیشتر از کلزا بود و کشت مخلوط باعث کاهش جذب آهن شد (شکل 3 الف). جذب بیشتر آهن در ریشه ذرت نسبت به کلزا به غلظت بیشتر آهن در ریشه ذرت مربوط می‌باشد. با توجه به اینکه در کشت مخلوط، غلظت (شکل 2 الف) و جذب آهن (شکل 3 الف) توسط ریشه کلزا افزایش پیدا نکرد به نظر می‌رسد که کاهش جذب آهن توسط ریشه در کشت مخلوط نسبت به ریشه ذرت، به رقابت در جذب مربوط نبوده و به کاهش زیست‌فراهمی آهن در ریزوسفر کشت مخلوط نسبت به ذرت و یا کاهش عملکرد ریشه ذرت در حضور ریشه کلزا مربوط باشد.



شکل 3- اثر کود سبز و نوع کشت بر جذب آهن در ریشه (الف) و وزن خشک ریشه (ب)

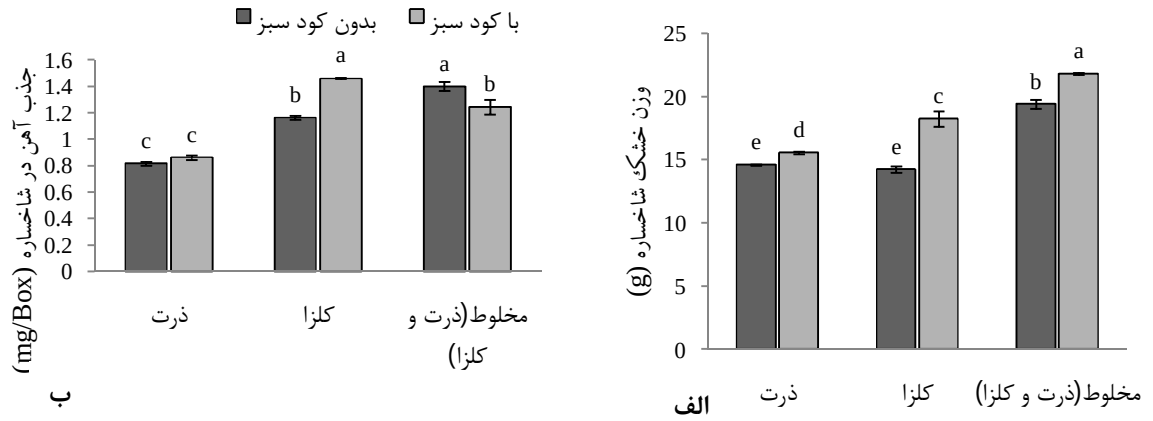
جذب آهن در شاخساره

کود سبز باعث افزایش معنی‌دار جذب آهن توسط شاخساره کلزا و کاهش آن در کشت مخلوط شد (شکل 4 الف). همچنین وزن خشک شاخساره ذرت، کلزا و کشت مخلوط را به طور معنی‌دار افزایش داد (شکل 4 ب). بنجاوان و همکاران (2007) عقیده دارند که کود سبز با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک از جمله ساختمان و تهویه خاک و خصوصیات شیمیایی خاک از جمله عرضه عناصر غذایی، کاهش pH و افزایش DOC خاک باعث افزایش رشد شاخساره می‌شود و با افزایش وزن خشک شاخساره، جذب (حاصل‌ضرب غلظت در وزن خشک) آهن توسط شاخساره نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، با بهبود رشد گیاه و افزایش زیست‌توده نیاز به عناصر غذایی نیز بیشتر شده و توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی بهبود می‌یابد و افزایش جذب آهن قابل انتظار خواهد بود. ولی به نظر می‌رسد کود سبز در کشت مخلوط با تشدید اثرات رقابتی دو گیاه نسبت به هم منجر به کاهش جذب آهن شده است. جذب آهن در شاخساره ذرت کمتر از کلزا و کشت مخلوط محاسبه شد که علت آن غلظت کمتر آهن در شاخساره ذرت می‌باشد.

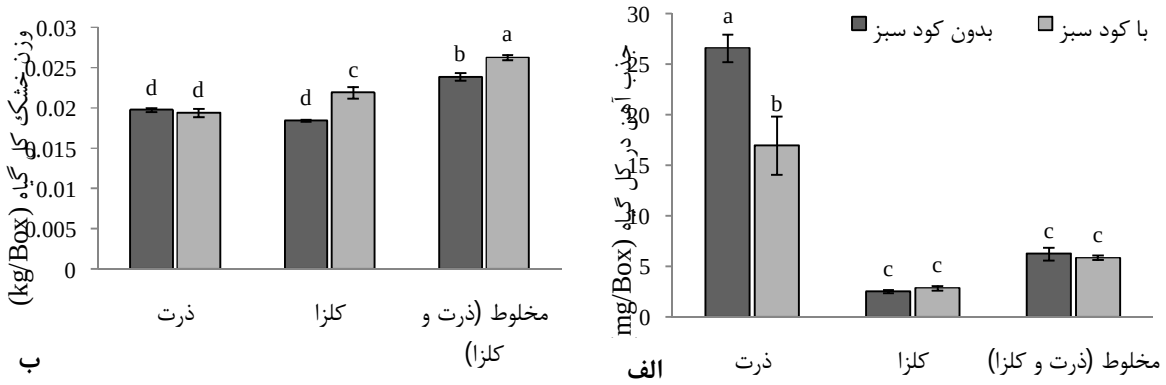
وزن خشک ذرت و کلزا در کشت مخلوط نسبت به کشت منفرد به طور معنی‌دار افزایش نشان داد (شکل 4 ب). اسکندری و قنبری (1390) نشان دادند که جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی بیشتر از کشت منفرد بود. آنها همچنین عملکرد دو گیاه را در کشت مخلوط بیشتر از کشت منفرد گزارش کرده و به این نتیجه رسیدند که کشت مخلوط دو گیاه به علت دارا بودن حالت مکملی در مصرف عناصر غذایی نسبت به کشت منفرد دارای مزیت می‌باشد.

جذب آهن در کل بوته گیاه

در شکل 5 الف مقدار جذب آهن در مجموع ریشه و شاخساره نشان داده شده است. افزودن کود سبز به خاک جذب آهن توسط کل زیست‌توده ذرت را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. بنابراین با افزودن کود سبز به خاک، مقدار آهن کمتری توسط ذرت جذب شد که عمدتاً به کاهش غلظت آهن در ریشه ذرت مربوط می‌باشد. جذب آهن توسط کل زیست‌توده ذرت بیشتر از کلزا و کشت مخلوط بدست آمد که علت آن نیز عمدتاً به غلظت بالای آهن در ریشه ذرت مربوط می‌باشد. کشت مخلوط باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک زیست‌توده (مجموع ذرت و کلزا) شد و جذب آهن را نسبت به ذرت کاهش داد.



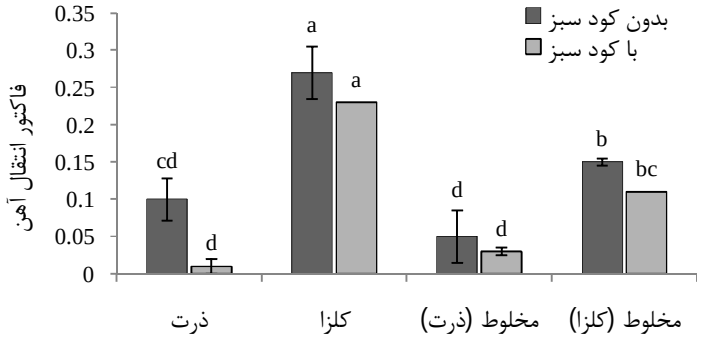
شکل 4- اثر کود سبز و نوع کشت بر جذب آهن در شاخساره (الف) و وزن خشک شاخساره (ب)



شکل 5- اثر کود سبز و نوع کشت بر جذب آهن در کل گیاه (الف) و وزن خشک کل گیاه (ب)

فاکتور انتقال آهن

شکل 6 اثر کود سبز و نوع کشت را بر فاکتور انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی نشان می‌دهد. کود سبز باعث کاهش معنی‌دار انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی ذرت شد. فاکتور انتقال آهن در کلزا نسبت به ذرت به طور معنی‌دار بیشتر بود و کشت مخلوط باعث کاهش آن شد. فرزانگان و همکاران (1390) با مقایسه پتانسیل گیاه‌پالایی کلزا و سورگوم نشان دادند که برغم زیست توده بیشتر در سورگوم، مقدار جذب و فاکتور انتقال فلزات سنگین در گیاه کلزا بیشتر است. ذرت بخش زیادی از آهن جذب شده توسط ریشه را در ریشه انباشت کرد در حالی که کلزا با وجود جذب کمتر آهن از خاک، بخش زیادی از آن را نسبت به ذرت به شاخساره خود انتقال داد. البته با توجه به اینکه ریشه گیاهان بعد از برداشت، اسیدشویی نشدند، احتمالاً بخش قابل توجهی از آهن اندازه‌گیری شده ریشه مربوط به رسوبات آهن در سطح ریشه باشد. با این حال، تمام شرایط آزمایش برای مقایسه ذرت، کلزا و کشت مخلوط برابر بود. آهن کم-تحرکترین عنصر کم مصرف در گیاهان است و در مورد اثر عوامل مختلف بر انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی نیازمند تحقیقات بیشتر می‌باشد.



شکل 6- اثر کود سبز و نوع کشت بر فاکتور انتقال آهن از ریشه به شاخساره

نتیجه‌گیری

کود سبز با کاهش pH و افزایش DOC و SOM، زیست‌فراهمی آهن و EC خاک را افزایش داد. pH در ریزوسفر ذرت، کلزا و کشت مخلوط نسبت به تیمار بدون کشت کاهش یافت در حالی که DOC، SOM، EC و آهن قابل استخراج با DTPA افزایش نشان داد. کربن آلی محلول بیشتر در ریزوسفر ذرت احتمالاً به علت ترشحات بیشتر ریشه ذرت مربوط باشد. بین DOC، SOM، EC و زیست‌فراهمی آهن در خاک همبستگی مثبت معنی‌دار مشاهده شد و همبستگی pH با DOC، SOM، EC و زیست‌فراهمی آهن در خاک همبستگی منفی معنی‌دار بود.

نتایج تجزیه گیاهان نشان داد که عملکرد ذرت و کلزا در کشت مخلوط نسبت به کشت منفرد افزایش یافت. همچنین افزودن کود سبز به خاک باعث افزایش عملکرد ذرت و کلزا در سیستم کشت منفرد و مخلوط شد و غلظت آهن در شاخساره کشت مخلوط را کاهش داد. کشت مخلوط دو گیاه ذرت و کلزا باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دو گیاه نسبت به کشت منفرد شد. بنابراین افزودن کود سبز به خاک و کشت مخلوط دو گیاه ذرت و کلزا در افزایش عملکرد مفید ارزیابی شد. انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی کلزا بیشتر از ذرت بود و کشت مخلوط باعث کاهش آن شد.

فهرست منابع:

1. اسکندری، ح. 1390. ارزیابی میزان رقابت و مکملی اجزای کشت مخلوط ذرت (*Zea mays*) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinersis*) در مصرف عناصر غذایی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد21، شماره2، 1390، صفحات67-75.
2. پیس، الف، و ب، جونز. 1382. مرجع عناصر کمیاب. ترجمه محمد جواد عابدی و ناصر هنرجو، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، صفحه 233.
3. سالاردینی، ا. و م، مجتهدی. 1367. اصول تغذیه گیاه. چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
4. طباطبایی، س. س.، ع، رزازی.، ا. ح. خوشگفتارمنش.، ن. خدائیان.، ز. مهرابی.، ا. عسگری.، ش. فتحیان و ف. رمضان زاده. 1390. تأثیر کمبود آهن بر غلظت، جذب و انتقال نسبی آهن، روی و منگنز در برخی محصولات زراعی با آهن کارایی مختلف در شرایط آبکشت. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 25، شماره 4، ص: 735 – 728.
5. عشقی‌زاده، ح. ر.، ا. ح. خوشگفتارمنش.، پ. احسان زاده و م. کافی. 1390. پاسخ چهار دورگه ذرت به کمبود آهن و روی در محلول غذایی در شرایط کشت بدون خاک، I: رشد گیاه و ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل برگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم خاک و آب، سال پانزدهم، شماره57، ص: 168 – 159.
6. فرزانگان، ز.، غ. ر. ثواقبی و ح. میرسید حسینی. 1390. بررسی تأثیر مواد اصلاحی گوگرد و اسیدسیتریک در گیاه‌جذبی کادمیوم و سرب از یک خاک آلوده. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 25. شماره 4. ص: 736-745.

7. کلباسی، م. 1374. کلروز آهن در گیاهان و راه‌های مبارزه با آن. نشریه شماره 18، سازمان پارک‌ها و فضای سبز اصفهان.
8. متقیان، ح. ر. و ع، حسین پور. 1392. اثر فراریشه لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) بر قابلیت استفاده و شکل‌های مس در تعدادی از خاک‌های آهکی ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 27. شماره 5. ص: 1022- 1009.
9. Abril, A., D. Baleani., N. Casado-Murillo., and L. Noe. 2007. Effect of wheat crop fertilization on nitrogen dynamics and balance in the Humid Pampas, Argentina. Agric. Eco. Environ. 119: 171-176.
10. Allison, L.E., and C.D. Moodie. 1965. Carbonate. PP. 1379- 1396. In C.A. Black (Ed). Methods of soil analysis. part 2. Agron. 9. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
11. Almas, A.R., B.R. Singh., and M.B. McBride. 2000. Solubility and lability of cadmium and Zinc in two soils treated with organic matter. Soil Sci. 165:250-259.
12. Antonio, S.S., S.A. Jua., J. Margarita., J. Juana., and B. Dolores. 2006. Improvement of iron uptake in Table Grape by addition of humic substances. J Plant Nutr. 30(1): 1-7.
13. Benjawan, C., P. Chutichudet., and S. Kaewsit. 2007. Effect of green manures on growth, yield and quality of green Okra (*Abelmoschus esculentus L.*) har Lium cultivar. Pakistan J Biol Sci. 10(7):1028-1035.
14. Bernal, M.P., and S.P. McGrath. 1994. Effects of pH and heavy metal concentrations in solution culture on the proton release, growth and elemental composition of *Alyssum murale* and *Raphanus sativus L.* Plant Soil. 166: 83-92.
15. Bremner, J.M., and D.R. Keeney. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction distillation methods. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:577-582.
16. Brown, J.C., and W.E. Jones. 1974. Phosphorus efficiency as relate to iron inefficiency in sorghum. Agron. J. 62: 468-472.
17. Cattani, I., G. Fragoulis., R. Boccelli., and E. Capri. 2006. Copper bioavailability in the rhizosphere of maize *(Zea mays L.)* grown in two Italian soils. Chemosphere. 64:1972-1979.
18. Chapman, H.D. 1965. Cation Exchange Capacity. PP. 891-901. In C.A. Black (Ed.) Methods of Soil Analysis. part 2. Agron. 9 . Am. Soc. Agron., Madison, WI.
19. Chen, Y., J. Shi., G. Tin., S. Zheng., and Q. Lin. 2004. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelia communis*. Plant science. 166: 1371-1377.
20. Das, B.B., and M.S. Dkhar. 2011. Rhizosphere microbial populations and physico chemical properties as affected by organic and inorganic farming practices. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 10(2): 140-150.
21. Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-412. In A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis, part 1. Vol 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
22. Giusquiani, P.L., M. Pagliai., G. Gigliotti., D. Businelli., and A. Benetti. 1995. Urban waste compost: Effect on physical, chemical, and biochemical soil properties. J Environ Qual. 24: 175 – 182.
23. Gripsen, V.M.J., H.J.M. Nelissen., and T.A.C. Verkleij. 2006. Phytoextraction with plants: A tool for sustainable management of heavy metal contaminated soils. J. Environ. Pollut. 144:77-83.
24. Hinsinger, P., C. Plassard., C. Tang., and B. Jaillard. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. Plant Soil. 248: 43-59.
25. Kalayci, M., B. Torun, S. Eker., M. Aydin., L. Ozturk, and I. Cakmak. 1999. Grain yield , zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivation grown in a zinc – deficient calcareous soil in field and greenhouse. Field Crop Res. 63: 87-98.
26. Kashirad, A., and H. Marschner. 1974. Iron nutrient of sunflower and corn plant in mono and mixed culture. Plant Soil. 41: 91-101.

27. Kuo, S. 1996. Phosphorus. In D.L. Sparks. (Ed.) Methods of Soil Analysis, part 3, SSSA Book Series, no. 5. Agronomy Society of America and Soil Science Society of America, Madison, WI.
28. Li, H., J. Shen., F.M. Zhang., J.J. Clairotte., E. LeCadre., and P. Hinsinger. 2008. Dynamics of phosphorus fractions in the rhizosphere of common bean (Phaseolus vulgaris L.) and durum wheat (Triticum turgidum durum L.) grown in monocropping and intercropping systems. Plant Soil. 312:139-150.
29. Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons, New York.
30. 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.
31. Lombi, E., W.W. Wenzel., G.R. Gobran, and D.C. Adriano. 2001. Dependency of phytoavailability of metals on indigenous and induced rhizosphere processes: a review. Pp:3-24. In G.R Gobran et al. Trace Elements in the Rhizosphere. CRC Press LLC.
32. Loppert, R.H., and C.T. Hllmark. 1985. Indigenous soil properties influencing the availability of iron in calcareous soil. Soil Sci. Soc. Am. J .49: 597-603.
33. Lynch, J.M., and J.M. Whipps. 1990. Substrate flow in the rhizosphere. Plant Soil. 129: 1–10.
34. Marschner, H., and V. Romheld. 1996. Root-induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In Y. Waisel (ed) Plant Roots, The Hidden Half, 2th ed. Marcel Dekker, NY.
35. McGrath, S.P., and C.H. Cunlie. 1985. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. J Sci Food Agric. 36:794–798.
36. Mench, M., and E. Martin. 1991. Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays L. Nicotiana tabacum L.* and *Nicotiana rustica L.* Plant Soil. 132:187-196.
37. Mortvedt, J. J. 1988. Iron source and management practices for correcting iron chlorosis problem. J. Plant Nutr. 9: 94 – 97.
38. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, OC and organic matter. pp. 539-577 .In A.L. Page., R.H. Miller., and D.R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis, part 2, second Ed, Vol. 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
39. Nye, P.H. 1981. Changes of pH across the rhizosphere induced by root. Plant Soil. 61: 7-26.
40. Ronaghi, A., M. Chakrol-hosseini., and N. Karimian. 2002. Growth and chemical composition of corn as affected by phosphorus and iron. J Sci Technol Agri Nat Resour. 6: 91-102.
41. Seguin, V., C. Gagnon., and F. Courchesne. 2004. Changes in water extractable metals, pH and organic carbon concentrations at the soil-root interface of forested soils. Plant Soil. 260: 1–17.
42. Sharma, A.R., and B.N. Mittra. 1988. Effect of green manuring and mineral fertilizer on growth and yield of crops in rice-based cropping system on acid lateritic soil. J. Agric. Sci. 110: 605-608.
43. Sposito, G., L.J. Lund., and A.C. Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid- zone field soils amended with sewage sludge, Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Sci Soc Am J. 46: 260 – 264.
44. Talgre, L., E. Lauringson., H. Roostalu., and A. Astover. 2009. The effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat. Agron. Res. 7: 1.125-132.
45. Tinker, P.B., and A. Lauchli. 1984. Advances in Plant Nutrition. Academic Pub., Dordrecht, The Netherlands.

46. Tokalioglu, S., S. Kartal., and G. Birol. 2003. Application of a tree-stage sequential extraction procedure for the determination of extractable metal contents in highway soils. Turk. J. Chem. 27: 333-346.
47. Whang, M.C., and C.H. Yang. 2002. Type of fertilizer applied to a paddy-upland rotation affects selected soil quality attributes. Geoderma. 114: 93-108.
48. Yousfi, S., M. Rabhi., C. Abdelly., and M. Gharsalli. 2009. Iron deficiency tolerance traits in wild (*Hordeum maritimum*) and cultivated barley (*Hordeum vulgare*). Com Rend Biol. 332(6):523-533.
49. Youssef, R.A., M. Chino. 1987. Studies on the behavior of nutrients in the rhisosphere. Establishment of a new rhizobox system to study nutrient status in the rhizosphere. Plant Nutr, 10: 1185-1195.
50. Zuo, Y., L. Ren, F. Zhang., and R.F. Jiang. 2007. Bicarbonate concentration as affected by soil water content controls iron nutrition of peanut plants in a calcareous soil. Plant Physiol and Biochem, 45: 357-364.