نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، ص. ۱۹-۱۲

Journal of Agroecology
Vol. 4, No. 1, Spring 2012, p. 12-19

تأثیر فسفر و ماده‌آلی بر فراهمی و جذب آهن در گیاه ذرت (*Zea mays* L.)

لیلی السادات قرشی[1*]، غلامحسین حق نیا[2]، امیر لکزیان[3] و رضا خراسانی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۵/۲۹

چکیده

آهن عنصری ضروری برای رشد همه گیاهان است.کمبود مواد آلی خاک و کاربرد بیش از اندازه فسفات در خاک از عوامل محدودکننده بر فراهمی آهن است. از این‌رو در یک آزمایش گلخانه‌ای اثر آهن، فسفر و ماده آلی بر رشد و جذب آهن در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) بررسی شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح کود گاوی (صفر، یک درصد)، سه سطح فسفر (صفر، ۲۰۰، ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل) و سه سطح آهن (صفر، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار سکوسترین ۱۳۸) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تکرار بود. گیاهان به مدت هشت هفته در یک خاک لوم شنی رشد کردند. نتایج نشان داد که کود گاوی سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخساره، غلظت و جذب کل آهن در گیاه ذرت شد. کاربرد فسفر و کاربرد آهن در سطح ۲۰ کیلوگرم در هکتار، سبب افزایش وزن خشک شاخساره گردید، اما کاربرد سطح بیشتر آهن آن را کاهش داد. غلظت و جذب کل آهن با کاربرد آهن افزایش، اما با کاربرد فسفر کاهش یافت. بررسی برهمکنش تیمارهای آزمایشی نشان داد که کاربرد کود آلی می‌تواند اثر منفی ناشی از مصرف زیاد فسفر را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه گیاه، کود گاوی، عناصر کم مصرف، برهمکنش فسفر و آهن

مقدمه

آهن یکی از عناصر ضروری کم مصرف برای رشد گیاهان است و گیاه آن را به شکل دو ظرفیتی (Fe^{2+}) جذب می‌کند. این عنصر برای بسیاری از فرایندهای فیزیولوژی و زیست‌شیمیایی از جمله ساخت کلروفیل، واکنش‌های اکسایش وکاهش، فتوسنتز، تنفس و سیستم‌های آنزیمی ضروری است. با اینکه مقدار کل این عنصر در خاک زیاد است، لیکن برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها از جمله pH قلیایی،کمبود مواد آلی، مصرف بیش از مقدار کودهای فسفردار، تغذیه آهن به وسیله گیاهان را زیر تأثیر قرار داده و فراهمی آن را کاهش می‌دهد (Malakoti et al., 1999; Ronaghi et al., 2002). در اراضی خشک و نیمه خشک مقدار مواد آلی خاک بسیار کم است. استفاده از کودهای آلی یکی از مهمترین راه‌های حفظ بیلان کربن آلی خاک، چرخش طبیعی مواد و عناصر در بوم‌نظام‌های کشاورزی است. ماده آلی نه تنها منبع بزرگی از عنصرهای غذایی است بلکه با تشدید فعالیت زیستی در خاک به چرخش بهتر مواد غذایی کمک می‌کند (Lumpwayi & Itaque I., 1999; Walen et al., 2001).

افزودن ماده آلی به خاک از جمله کود دامی افزون بر اینکه موجب بهبود وضعیت فیزیکی خاک می‌شود دارای عناصر غذایی پر مصرف مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و گوگرد و همچنین عناصر کم مصرف از جمله آهن، روی و مس می‌باشد (Lumpwayi & Itaque I., 1999; Ronaghi et al., 2002).

میرلوحی و همکاران (Mirlohi et al., 2003) گزارش کردند که کاربرد تیمار کود گاوی سبب کاهش pH، افزایش EC، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، آهن و روی قابل دسترس در خاک گردید. در یک مطالعه آنتونیو و همکاران(Antonio et al., 2006) بهبود جذب آهن را به وسیله افزودن مواد هومیکی گزارش کردند. آنها نشان دادند کاربرد همزمان ترکیب‌های آلی و کلات سکوسترین، تغذیه آهن را در گیاه انگور(*Vitis vinifera* L.)، به خوبی بهبود می‌بخشد. همچنین جایگزینی بخشی از کلات به وسیله مواد هومیکی موجب افزایش مقدار Fe و P در برگ شد. بررسی‌های انجام شده، به وسیله مکویاک و همکاران (Mackowiak et al., 2001) نشان دادکه جذب فسفر و آهن به وسیله فرآورده‌های هومیکی افزایش می‌یابد.

برهمکنش منفی میان فسفر و سایر عناصر غذایی در مقدار و چگونگی محصول در پژوهش‌های بسیاری گزارش شده است. مصرف بی‌رویه کودهای فسفردار موجب کاهش جذب، انتقال و متابولیسم

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد، دانشیار و استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: E-mail: leili.ghorashi@gmail.com)

بعضی از عناصر کم مصرف و از جمله آهن می‌شود و در نهایت اثر نامطلوبی روی رشد گیاه دارد (Ronaghi et al., 2002; Sarhadi sardoui et al., 2003). متن و آمبرگر (Mathan & Amberger, 1975) نشان دادند که در مقادیر زیاد فسفر قابل حل، جابه‌جایی آهن از ریشه به ساقه گیاه ذرت (*Zea mays* L.) کاهش می‌یابد که بیانگر حالت غیر فعال شدن درونی آهن توسط فسفر است. بررسی تأثیر فسفر و آهن بر رشد و ترکیب شیمیایی شاخساره ذرت و سویا (*Glycine max* L.) نشان داد که غلظت و جذب کل آهن با کاربرد آهن افزایش لیکن با کاربرد فسفرکاهش یافت (Chakerol-Hosseini, 1999). کاشی راد و همکاران (Kashirad et al., 1977)حساسیت بیشتر ذرت به کمبود آهن در مقایسه با آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) را به انباشتگی مقدار زیاد فسفر در ساقه نسبت داده‌اند و دلیل کاهش جذب آهن را پیامد تأثیر فسفر در ایجاد رسوب آهن و کاهش آن بیان می‌کنند. بنابراین، هدف اصلی از انجام این آزمایش بررسی برهمکنش فسفر و آهن و تأثیر افزودن ماده‌آلی بر رشد و جذب آهن در گیاه ذرت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش خاک کافی از منطقه‌ای واقع در ۴۰ کیلومتری شمال شهر مشهد و از عمق (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) سطح خاک برداشت شد و پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مانند بافت به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1936)، کربنات‌کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با هدایت سنج الکتریکی، فسفر فراهم به روش اولسن (Olsen et al., 1954)، pH در گل اشباع، درصد کربن و ماده‌آلی به روش اکسایش با دی کرومات (Walkley & Black, 1934)، نیتروژن کل با استفاده از هضم کجلدال (Gupta, 1999)، پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم، آهن فراهم خاک به روش DTPA_TEA (Lindsay et al., 1978) تعیین گردید.

آزمایش در شرایط گلخانه و به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار و دو تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد استفاده دربرگیرنده ماده‌آلی به شکل کود گاوی پوسیده در دو سطح (صفر: CM_0 و یک: CM_1 درصد)، فسفر از منبع کود سوپر فسفات تریپل در سه سطح (صفر: P_0، ۲۰۰: P_1 و ۴۰۰: P_2 کیلوگرم در هکتار) و آهن از منبع کود سکوسترین ۱۳۸ در سه سطح (صفر: F_0، ۲۰: F_1 و۴۰: F_2 کیلوگرم در هکتار) تأمین شد. در ابتدا تیمار کود گاوی به نمونه‌های خاک اعمال شد و برای رسیدن به تعادل شیمیایی، در گلخانه و در رطوبت ۷۰ درصد زراعی به مدت دو ماه نگهداری شد. دیگر تیمارها پیش از کاشت به خاک افزوده شد. برای این هدف، پنج کیلوگرم خاک روی ورقه‌های پلاستیکی با مقدار لازم از کود سوپر فسفات به شکل جامد و کود سکوسترین آهن به شکل محلول به خوبی مخلوط گردید. با توجه به آزمون خاک و نیاز گیاه ذرت، عناصر پر مصرف نیتروژن، پتاسیم و محلولی از عناصر کم مصرف به مقدار ضروری، به خاک مورد نظر افزوده شد و پس از یکنواخت شدن به گلدان‌هایی با گنجایش شش کیلوگرم، منتقل گردید. سپس پنج عدد بذر جوانه‌دار شده ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در فاصله‌های منظم و در عمق دو سانتی‌متری از سطح خاک کشت شد. رطوبت گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی، به روش توزین گلدان‌ها تا پایان آزمایش حفظ شد. دو هفته پس از کاشت شمار بوته‌ها به دو عدد کاهش داده شد. پس از هشت هفته گیاهان از محل طوقه جدا شدند و پس از شستشو در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۶ ساعت خشک شدند. سپس وزن خشک شاخساره تعیین شد. اندام هوایی گیاه آسیاب و پس از عبور از الک نیم میلی‌متری در ظرف‌های در بسته نگهداری شدند. برای انجام آزمایش شیمیایی نمونه‌های گیاهی با استفاده از روش تر (Waling et al., 1989) هضم شدند. غلظت آهن نمونه‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. وزن خشک اندام هوایی گیاه، غلظت آهن، جذب کل آهن در هر گلدان (حاصل ضرب وزن ماده خشک در غلظت عنصر غذایی) به وسیله روش‌های آماری با استفاده از نرم افزار MSTAT-C و JMP7 مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و میانگین‌های مربوط به اثر اصلی هر یک از تیمارها و برهمکنش آنها استخراج و با آزمون توکی در سطح اطمینان پنج درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک قبل از آزمایش

Table 1- Soil properties before the start of experiment

بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	آهک $CaCO_3$	کربن آلی OC	نیتروژن کل Total N	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe
			(درصد) (%)			(میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mg.kg^{-1}$)		
لوم شنی Sandy loam	7.6	1.2	3	0.4	0.035	10	100	4

جدول ۲- ویژگی‌های کود گاوی

Table 2- Chemical properties of cattle manure

آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن کل Total N (درصد) (%)	کربن آلی Organic carbon	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
2.1	3.2	0.75	4.04	29	12.8	8.6

جدول ۳- اثر سطوح آهن، کود گاوی و برهمکنش آنها بر وزن خشک شاخساره، غلظت و جذب کل آهن در ذرت

Table 3- Effect of cattle manure, iron and interaction effect of these treatments on shoot dry weight, concentration and uptake of iron in corn plant

میانگین Mean	سطح آهن (کیلوگرم در هکتار سکوسترین) Levels of iron ($kg.ha^{-1}$ of sequestrene)			سطح کود گاوی (درصد) Levels of cattle manure (%)
	40(F_2)	20(F_1)	0(F_0)	
	وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان) Shoot dry weight ($g.pot^{-1}$)			
40.43 B	38.91 d	43.22 c	39.15 d *	0 (CM_0)
53.54 A	50.70 b	56.35 a	53.57 ab	1 (CM_1)
	44.80 B	49.78 A	46.36 B	میانگین Mean
	غلظت آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) Iron concentration ($mg.kg^{-1}$)			
170.65 B	201.08 b	182.33 c	128.54 d	0 (CM_0)
213.23 A	241.55 a	230.01 a	168.13 c	1 (CM_1)
	221.31 A	206.17 B	148.33 C	میانگین Mean
	جذب کل آهن (میلی‌گرم در گلدان) iron uptake ($mg.pot^{-1}$)			
7.31 B	7.63 c	7.89 bc	4.90 d	0 (CM_0)
11.33 A	12.22 a	12.88 a	8.89 b	1 (CM_1)
	9.92 A	10.39 A	6.90 B	میانگین Mean

* برای هر یک از پاسخ‌های گیاهی، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا در هر ستون در یک حرف بزرگ و یا میانگین‌هایی که در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، طبق آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Averages with the capital letters belong to the main effects, and they belong to the interactions when they have small letters. Means followed by same letter are not significantly different at 5% level of probability using Tukey test.

وزن خشک شاخساره

با افزودن کود گاوی وزن کل خشک شاخساره افزایش معنی‌داری یافت، به‌گونه‌ای که وزن خشک شاخساره با کاربرد کود گاوی افزایشی برابر با ۳۲/۴۳ درصد را نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۳).

عملکرد بیشتر در تیمار کود گاوی به دلیل وجود مقادیر زیاد عناصر غذایی ضروری می‌باشد. دلیل مهم دیگر معدنی شدن تدریجی این عناصر از شکل آلی و فراهمی آنها به مقدار کافی، در هنگام نیاز گیاه به آنها، به نظر می‌رسد. عزیز و همکاران (Aziz et al., 2010) گزارش کردند که کاربرد کود دامی عملکرد و اجزای عملکرد ذرت را به طور معنی‌داری افزایش داد. افزایش عملکرد همراه با کاربرد کود گاوی به وسیله دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Ouda & Mahadeen, 2008; Abebe et al., 2005).

کاربرد آهن در سطح ۲۰ کیلوگرم بر هکتار سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخساره ذرت شد، اما کاربرد ۴۰ کیلوگرم بر هکتار، وزن خشک شاخساره را کاهش داد (جدول ۳). کاهش در عملکرد ماده خشک در غلظت‌های زیاد آهن، می‌تواند ناشی ازبرهمکنش منفی آهن با فسفر و همین طور عدم توازن یونی به دلیل آهن زیاد باشد (Singh & Dahiya, 1976). نتایج مشابه در پژوهش چاکرالحسینی (Chakerol-Hosseini, 1999) نیز گزارش شده است.

با افزایش سطح فسفر، از صفر تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، میانگین وزن خشک شاخساره به‌طور معنی‌داری افزایش داشت (جدول ۴). با توجه به اینکه غلظت فسفر در خاک مورد آزمایش کمتر از حد بحرانی فسفر برای ذرت (۱۵ ppm) است (Malakoti et al., 1999) پاسخ

گیاه به افزودن فسفر قابل انتظار است. کریمیان و قنبری (Karimian & Ghanbari, 1990) گزارش کردند که مصرف ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلو گرم خاک وزن خشک شاخساره ذرت را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است، ولی میزان افزایش در خاک‌هایی که فسفر بومی زیادتری داشته‌اند، کمتر بوده است.

اثر برهمکنش فسفر و آهن بر وزن خشک شاخساره گیاه ذرت در جدول ۴ نشان داده شده است به نظر می‌رسد که کاهش در محتوای فسفر در کاهش عملکرد ماده خشک بازتاب یافته است. بررسی این برهمکنش نشان می‌دهد که در وضعیت بدون کاربرد آهن، بیشترین وزن خشک، مربوط به بیشترین سطح فسفر (P_2F_0) می‌باشد، در حالی که با کاربرد آهن تیمارهای (P_2F_1) و (P_2F_2) تأثیر کمتری بر وزن خشک شاخساره نشان داده‌اند که ممکن است ناشی از برهمکنش منفی آهن و فسفر باشد. بررسی برهمکنش فسفر و کود گاوی، بر میانگین وزن خشک شاخساره (جدول ۵) نشان می‌دهد که کاربرد همزمان این دو تیمار، نسبت به شاهد و در مقایسه با کاربرد جداگانه هر عنصر، معنی‌دار است و تأثیر مثبت بر وزن خشک شاخساره گیاه ذرت داشته است به‌گونه‌ای که بیشترین تأثیر مربوط به تیمار (CM_1P_2) که افزایشی برابر با ۹۸/۶۰ درصد را نسبت به شاهد نشان می‌دهد. از آنجا که کودهای آلی منبعی با ارزش از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف‌اند، در شرایط کاربرد همزمان با کودهای شیمیایی، تعادل تغذیه‌ای مناسبی را برای گیاه ایجاد می‌کنند و منجر به پاسخ‌های عملکردی مشخص، در گیاه می‌شوند (Schoenau, 2006).

غلظت و جذب آهن

مقایسه میانگین غلظت آهن بیانگر این حقیقت است که با افزایش مقدار آهن مصرفی، غلظت آهن در گیاه ذرت به‌شکل معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ۳). افزایش غلظت آهن در گیاه به دلیل کاربرد آهن به وسیله پژوهشگران بسیاری گزارش شده است. (Salardini &Murphy,1978; Singh & Yedva, 1980). سینگ و یداو (Singh &Yedav, 1980) نیز افزایش معنی‌داری در غلظت و جذب کل آهن در گیاه سورگوم (*Sorghum biocolar* L.) در اثر کاربرد پنج و ده میلی‌گرم آهن در خاک را گزارش کرده‌اند. کاربرد کود گاوی به‌طور معنی‌دار غلظت و جذب کل آهن در شاخساره گیاه ذرت را افزایش داد (جدول ۳). برهمکنش کود آهن و کود گاوی نیز بر غلظت آهن در شاخساره ذرت تفاوت معنی‌داری را نشان داد، چنانکه بیشترین غلظت آهن با افزایش ۸۷/۹ درصد نسبت به شاهد، مربوط به تیمار کود گاوی همراه با بیشترین سطح آهن ($CM_1 F_3$) و کمترین مقدار، مربوط به شاهد است (جدول ۳).

برهمکنش آهن و کود گاوی بر جذب کل آهن نیز تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۳) و تیمار (CM_1F_2) نسبت به شاهد افزایشی برابر با ۱۶۲/۸۵ درصد را نشان داد که با تیمار (CM_1F_3) تفاوت معنی‌داری نداشت و این مقدار از اثرکود گاوی و آهن به‌طور جداگانه بیشتر است. اثر کودهای آلی به‌ویژه کود گاوی روی جذب آهن می‌تواند ناشی از این باشد که کود آلی به جز اینکه خود دارای عناصر کم مصرفی مانند آهن می‌باشد به شکل یک منبع انرژی برای ریزجانداران خاک بوده و در طی فرایند معدنی‌شدن با آزادسازی اسیدهای آلی سبب کاهش موضعی pH خاک شده و جذب آهن به‌وسیله گیاه را افزایش می‌دهد (Ouda &Mahadeen, 2008). رفعتی (Rafati, 2004) اثر مثبت برهمکنش آهن و ماده آلی بر غلظت آهن در گیاه سورگوم را گزارش کرد و نشان داد که بیشترین اثر مربوط به ترکیب کود حیوانی همراه با بیشترین سطح آهن بود. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ترکیب‌های آلی نقش مهمی در فراهمی آهن گیاه دارند، مواد هومیکی با تشکیل کمپلکس‌های آلی محلول از رسوب اکسیدهای آهن جلوگیری کرده و موجب افزایش پخشیدگی آهن به سمت ریشه گیاه می‌شوند (Santiyago & Delgado, 2007; Barness & Chen, 1991).

کاربرد فسفر به‌گونه‌ای معنی‌دار سبب کاهش غلظت آهن در گیاه ذرت شده است که می‌تواند نتیجه کاهش انتقال آهن از ریشه به شاخساره گیاه باشد (جدول ۴). سینگ و همکاران (Singh et al., 1993) دریافتند که در یک سطح معین آهن با افزایش سطوح فسفر غلظت آهن در گیاه کاهش می‌یابد. جورج و لوچی (George & Lauchi, 1985)دلیل کاهش غلظت آهن در گیاه ذرت به وسیله فسفات را پیامد اثر بازدارندگی فسفر بر جذب آهن به‌وسیله ریشه و یا بر انتقال آهن از ریشه به ساقه بیان کرده‌اند. این پژوهشگران گزارش کردند که فسفر به دلیل رقابت با سیترات که وظیفه آن انتقال آهن به آوندهاست مانع انتقال آهن می‌شود. متن و آمبرگر (Mathan & Amberger, 1975) دریافتند که با افزایش مقدار فسفر فراهم، مقدار آهن در ریشه‌ها افزایش، اما در شاخساره گیاه ذرت کاهش می‌یابد. این موضوع، نشان دهنده انباشتگی آهن در ریشه‌ها به شکل فسفات آهن است. رونقی و همکاران (Ronaghi et al., 2002) به نقل از ونکاتا و مهاتا تشکیل فسفات آهن در خاک را دلیل کاهش غلظت آهن به دنبال مصرف فسفر در گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) بیان کرده‌اند.

مقایسه میانگین جذب کل آهن نشان می‌دهد که با مصرف فسفر در سطح ۲۰۰ کیلوگرم، جذب کل آهن به گونه‌ای معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافته است که به دلیل افزایش وزن خشک گیاه می‌باشد، لیکن با افزایش سطح فسفر مصرفی جذب کل آهن کاهش می‌یابد (جدول ۴). چاند و همکاران (Chand et al., 1995) گزارش کردند که کاربرد ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، جذب آهن در سورگوم علوفه‌ای را کاهش داد.

جدول ٤- اثر سطوح فسفر، آهن و برهمکنش آنها بر وزن خشک شاخساره، غلظت و جذب کل آهن در ذرت

Table 4- Effect of phosphorus, iron and interaction effect of these treatments on shoot dry weight, concentration and uptake of iron in corn plant

میانگین Mean	سطح فسفر Levels of phosphorus (کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات) (kg.ha^{-1} of super phosphate) 400(P_2)	200(P_1)	0(P_0)	سطح آهن Levels of iron (کیلوگرم در هکتار سکوسترین) (kg.ha^{-1} of Sequestrene)
		وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان) shoot dry weight (g.pot^{-1})		
46.36 B	56.47 a	47.92 cd	34.69 e *	0(F_0)
49.78 A	51.42 bc	52.93 ab	45.00 d	20(F_1)
44.80 B	47.45 cd	50.44 bc	36.52 e	40(F_2)
	51.78 A	50.43 A	38.74 B	میانگین Mean
		غلظت آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) Iron concentration (mg.kg^{-1})		
148.33 C	132.05 g	146.36 fg	166.60ef	0(F_0)
206.17 B	182.70 de	219.65 b	216.15 bc	20(F_1)
221.31 A	196.20 cd	220.15 b	247.60 a	40(F_2)
	170.31 C	195.38 B	210.11 A	میانگین Mean
		جذب کل آهن (میلی‌گرم در گلدان) Iron uptake (mg.pot^{-1})		
6.90 B	7.63 d	7.14 de	5.93 e	0(F_0)
10.38 A	9.62 c	11.65 a	9.88 bc	20(F_1)
9.92 A	9.47 c	11.13 ab	9.18 c	40(F_2)
	8.91 B	9.97 A	8.33 B	میانگین Mean

* برای هر یک از پاسخ‌های گیاهی، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا در هر ستون در یک حرف بزرگ و یا میانگین‌هایی که در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، طبق آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Averages with the capital letters belong to the main effects, and they belong to the interactions when they have small letters. Means followed by same letter are not significantly different at 5% level of probability using Tukey test.

مطالعه برهمکنش فسفر و آهن بر میانگین جذب کل آهن نشان داد که کاربرد همزمان فسفر و آهن بر میانگین جذب کل آهن در مقایسه با کاربرد جداگانه هر عنصر دارای اثر مثبت است (جدول۴). بیشترین افزایش مربوط به کاربرد همزمان فسفر در سطح ۲۰۰ و آهن در سطح ۲۰ کیلوگرم در هکتار (P_1F_1) می‌باشد که سبب افزایشی برابر با ۹۷ درصد، در جذب آهن، نسبت به شاهد (P_0F_0) شده است. براون و جونز (Brown & Jones,. 1974) گزارش کردند که با کاربرد فسفر غلظت و جذب کل آهن به‌وسیله برنج کاهش یافت و بر این باورند که فسفر، آهن انتقال یافته از ریشه به شاخساره را کاهش می‌دهد. برهمکنش آهن وفسفات به‌طور رایج هم در درون گیاه و هم در محیط خاک رخ می‌دهد. میل ترکیبی بین Fe^{3+} و $H_2PO_4^-$ به خوبی شناخته‌شده است و از این‌رو، رسوب هیدروکسی فسفات آهن در شرایط مساعد رخ می‌دهد. از سوی دیگر، آنیون‌های فسفات با گیاه برای جذب آهن رقابت می‌کنند و بنابراین فسفات در جذب آهن و انتقال درونی آهن دخالت می‌کند (USEPA, 2003).

بررسی برهمکنش کود گاوی و فسفر بر میانگین غلظت و جذب آهن نشان می‌دهد که کاربرد همزمان این تیمارها یعنی (CM_1P_1, CM_1P_2) نسبت به شاهد (CM_0P_0) و کاربرد جداگانه فسفر، یعنی (CM_0P_1, CM_0P_2) معنی‌دار است (جدول ۵).

بررسی این برهمکنش نشان می‌دهد که در وضعیت استفاده از کود گاوی، با افزایش سطوح فسفر، غلظت آهن نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری دارد، در حالی که در وضیت بدون کود گاوی، با افزایش سطوح فسفر غلظت آهن نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری یافته است. امباتا (Embatha, 2008) غلظت بیشتر آهن را در سبزی‌هایی که تیمار کود آلی نیز، دریافت کرده‌اند نسبت به آنهایی که تنها با کود شیمیایی تیمار شده‌اند، گزارش کرده است. برهمکنش مثبت بین دو تیمار کود گاوی و فسفر، نشان می‌دهد که توقف آهن به دلیل اثر منفی ناشی از فسفر، می‌تواند با کاربرد منابع آلی کاهش یابد. کودهای آلی به دلیل اینکه تعادل تغذیه‌ای را برای گیاه فراهم می‌سازند، از اثرات منفی ناشی از زیادی عناصر ویژه‌ای مانند فسفر

جلوگیری می‌کنند (Elamin & Elagib, 2001). درواقع چنین به نظر می‌آید که کاربرد کود گاوی و فسفراثر منفی ناشی از زیادی فسفر را تا حدی بهبود می‌بخشد. با بررسی برهمکنش بین تیمارهای آزمایشی (جدول ۶) چنین به نظر می‌رسد که کاربرد همزمان فسفر، آهن و کود گاوی شرایط مناسبی را از نظر تعادل تغذیه‌ای برای گیاه در خاک فراهم کرده که به رشد و افزایش جذب عنصر منجر شده‌است.

نتیجه‌گیری

کاربرد فسفر در هر دو سطح و آهن تا سطح ۲۰ کیلوگرم در هکتار، سبب افزایش وزن خشک شاخساره شد، اما کاربرد مقدار بیشتر آهن وزن خشک شاخساره را کاهش داد. اثر برهمکنش آهن و فسفر نیز بر وزن خشک شاخساره گیاه منفی بود. با مصرف فسفر غلظت آهن در گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. استفاده از کود گاوی اثر مثبت بر رشد و در نتیجه غلظت و جذب آهن در گیاه ذرت داشت که نشان می‌دهد مواد آلی طبیعی به عنوان یک عامل مهم برای فراهمی آهن و ایجاد تعادل بین عناصر محسوب می‌شوند. با بررسی برهمکنش فسفر و کود گاوی چنین به نظر می‌رسد که کاربرد کود گاوی می‌تواند اثر منفی ناشی از مصرف زیاد فسفر را بهبود بخشد.

جدول ۵- اثر سطوح فسفر، کود گاوی و برهمکنش آنها بر وزن خشک شاخساره، غلظت و جذب کل آهن در گیاه ذرت

Table 5- Effect of cattle manure, phosphorus and their interaction on shoot dry weight, concentration and uptake of iron in corn plant

میانگین Mean	سطح فسفر Levels of phosphorus (کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات) (kg.ha^{-1} of super phosphate) 400	200	0	سطح کود گاوی (٪) Levels of cattle manure (%)
	وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان) shoot dry weight (g.pot^{-1})			
40.43 B	44.26 d	47.16 cd	29.86 e *	0
53.54 A	59.30 a	53.70 b	47.61 c	1
	51.78 A	50.43 A	38.74 B	میانگین Mean
	غلظت آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) Iron concentration (mg.kg^{-1})			
170.65 B	144.08 d	174.55 c	193.31 b	0
213.23 A	196.55 b	216.22 a	226.91 a	1
	170.31 C	195.38 B	210.11 A	میانگین Mean
	جذب کل آهن (میلی‌گرم در گلدان) Iron uptake (mg.pot^{-1})			
7.31 B	6.30 c	8.36 b	5.75 c	0
11.33 A	11.51 a	11.58 a	10.90 a	1
	8.9 B	9.97 A	8.32 B	میانگین Mean

* برای هر یک از پاسخ‌های گیاهی، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا در هر ستون در یک حرف بزرگ و یا میانگین‌هایی که در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، طبق آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

* Averages with the capital letters belong to the main effects, and they belong to the interactions when they have small letters, means followed by same letter are not significantly different at 5% level of probability using Tukey test.

جدول ٦- اثر برهمکنش تیمارهای آزمایشی بر غلظت و جذب کل آهن در ذرت

Table 6- Interaction effect of treatments on concentration and total uptake of iron in corn

تیمارکود گاوی (٪) Levels of cattle manure (%)	سطح فسفر (کیلوگرم‌در هکتار) Levels of phosphorus ($kg.ha^{-1}$)	سطح آهن (کیلوگرم- در هکتار) Levels of iron ($kg.ha^{-1}$)	غلظت آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاه) Iron concentration ($mg.kg^{-1}$)	جذب کل آهن (میلی‌گرم در گلدان) Iron uptake ($mg.pot^{-1}$)	وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان) Shoot dry weight ($g.pot^{-1}$)
		0	147.35 g*	4.03 g	27.34 h
	0	20	196.55 cde	7.22 def	36.74 g
		40	236.05 ab	6.02 efg	25.50 h
		0	128.57 gh	5.29 fg	41.05 fg
0	200	20	189.25 def	9.86 cd	52.1 bc
		40	205.85 bcd	9.96 bc	48.32 bcde
		0	109.70 h	5.38 fg	49.05 bcd
	400	20	161.19 efg	6.59 ef	40.82 g
		40	161.35 efg	6.93 def	42.9 defg
		0	185.85 def	7.82 cde	42.04 efg
	0	20	235.75 ab	12.55 a	53.26 bc
		40	295.15 a	12.34 a	47.46 cdef
		0	164.15 efg	9.00 cd	54.8 b
1	200	20	250.05 a	13.44 a	53.75 bc
		40	234.45 ab	12.01 a	52.56 bc
		0	154.40 fg	9.88 bc	63.88 a
	400	20	204.22 bcd	12.66 a	62.03 a
		40	231.05 abc	12.01 ab	52 bc

* میانگین‌هایی که در هر ستون در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

* Averages with same letter are not significantly different at 5% level of probability using Tukey test.

منابع

1- Abebe, G., Hattar, B., and Al-Tawaha, A.R.M. 2005. Nutrient availability as affected by manure application to cowpea (*Vigna unguiculate* Walp.) on calcareous soils. Journal of Agricultural of Social Science 1: 1-6.

2- Antonio, S.S., Jua, S.A., Margarita, J., Juana, J., and Dolores, B. 2006. Improvement of iron uptake in Table Grape by addition of humic substances. Journal of Plant Nutrition 30(1): 1-7.

3- Aziz, T., Ullah, S., Sattar, A., Farooq, M., and Mujtaba khan, M. 2010. Nutrient availability and mays (*Zea mays* L.) growth in soil amended with organic manure. International Journal of Agriculture and Biology 12: 621-624.

4- Barness, E., and Chen, Y. 1991. Manure and peat based iron-organo complexes. Journal of Plant and Soil 130: 35-43

5- Bouyoucos, G.J. 1936. Direction for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. Journal of Soil Science 41: 225-228.

6- Brown, J.C., and Jones, W.E. 1974. Phosphorus efficiency as related to iron inefficiency in sorghum. Journal of Agronomy 62: 4 68-472.

7- Chakrol-hosseini, M. 1999. Effect of phosphorus and iron on growth and chemical composition of corn and soybean. MSc Thesis, College of Agriculture, Shiraz University, Iran. (In Persian with English Summary)

8- Chand, K., Dixit, M.L., and Gupta, V.K. 1995. Influence of phosphorus fertilization on Fe and Zn in forage sorghum. Journal of Annals of Arid Zone 34(4): 313-315.

9- Elamin, A., and Elagib, M.A. 2001. Comparative study of organic and inorganic fertilizers on forage corn (*Zea mays* L.) grown on two soil types. Qatar Universal Science Journal 21: 47-54.

10- George, C.E., and Lauchi, A. 1985. Phosphorus efficiency and phosphate-iron interaction in maize. Journal of Agronomy 77: 399-403.

11- Gupta, P.K. 1999. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Published by Agrobios (INDIA).

12- Karimian, N., and Ghanbari, A. 1990. Evaluation of different extractants for prediction of Plant response to applied P fertilizer in highly calcareous soils. Abstract, p. 25, 10th Word fertilizer congress, CIEC, Nicosia, Cyprus.

13- Kashirad, A., Bassiri, A., and Kheradnam, M. 1977. Response of cowpeas to application of P and Fe in calcareous soils. Journal of Agronomy 70: 67-70.

14- Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal 42: 421-428.
15- Lumpwayi, N.Z., and Itaque, I. 1999. Leucaena hedgerow intercropping and cattle manure application in the Ethiopian high lands II. Nutrient balance. Journal of Biology and Fertility of Soils 28: 204-211.
16- Lumpwayi, N.Z., and Itaque, II. 1999. Leucaena hedgerow intercropping and cattle manure application in the Ethiopian high lands I. Decomposition and release. Journal of Biology and Fertility of Soils 28: 182-195.
17- Mackowiak, C., Grossl, P., and Bugbee, B. 2001. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. Soil Science Society of American Journal 65: 1744-1750.
18- Malakoti, M.J. 1999. Effects of Micronutrients on the Yield and Quality of Agricultural Products. Tarbiyat Modares University Publication Iran (In Persian)
19- Mathan, K.K., and Amberger, A. 1975. Influence of iron on the uptake of phosphorus by maize. Journal of Plant and Soil 46(2): 413-422.
20- Mirlohi, A., Noorbakhsh, F., and Razavi, J. 2003. Effect of addition of farmyard manure in rice-barley, maize-barley on some chemical and physical properties. 2003. Proceedings of the 8th Soil Science Congress. 9-12 September, Rasht, Iran. (In Persian)
21- Mbatha, A.N. 2008. Influence of organic fertilizers on the yield and quality of cabbage and carrots. MSc Thesis, College of Natural and Agricultural Sciences, University of the Free State Bloemfontein, Germany.
22- Olsen, S.R., Cloe, V., Watnebe, F.S., and Pean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA, 939 USA.
23- Ouda, B.A., and Mahadeen, A.Y. 2008. Effect of fertilizers on growth, yield, yield components, quality and certain nutrient contents in broccoli (*Brassica oleracea*). International Journal of Agriculture and Biology 10: 627–32.
24- Rafati, F., 2004. The effect of different additives on iron availability in calcareous soils in sorghum. MSc Thesis, College of Agriculture, Gilan University, Iran. (In Persian with English Summary)
25- Ronaghi, A., Chakrol-hosseini, M., and Karimian, N. 2002. Growth and chemical composition of corn as affected by phosphorus and iron. Journal of Science and Technology of Agricultural and Natural Resources 6: 91-102.
26- Salardini, A.A., and Murphy, L.S. 1978. Grain sorghum responses to organic iron on calcareous soil. Journal of Plant and Soil 149: 57-70.
27- Santiyago, A., and Delgado, A. 2007. Effects of humic substances on iron nutrition of lupin. Journal of Biology and Fertility of Soils 43: 829-836.
28- Sarhadi-Sardoui, J., Ronagashi, A., Maftoun, M., Karimian, N. 2003. Growth and chemical composition of corn in three calcareous sandy soil of Iran as affected by applied phosphorus and manure. Journal of Agricultural Science and Technology 5: 77-84.
29- Schoenau, J.J. 2006. Benefits of long-term application of manure. Journal of Advances in Pork Production 17: 153-158.
30- Singh, M., and Yedva, D. 1980. Effects of copper, iron and liming on the growth, concentration and uptake of Cu, Fe, Mn and Zn in sorghum. Journal of Indian Society of Soil Science 28: 113-118.
31- Singh, M., and Dahiya, S.S. 1976. Effect of calcium carbonate and iron on the availability and uptake of iron, manganese, phosphorus and calcium in pea. Journal of Plant and Soil 44: 511-520.
32- Singh, V., Singh, R., and Khan, N. 1993. Effect of P and Fe application on the yield and nutrient contents in chickpea. Journal of Indian Society Soil Science 4: 186-187.
33- USEPA. 2003. Ecological soil screening level for iron. USEPA, Washington. DC 24460. Available at http://www.epa.gov/ecotox/ecossl.
34- Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G., and Der Lee, J.J. 1989. Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi. Part 7, Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University.
35- Walkley, A., and Black, A.I. 1934. Examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and organic matter and a proposed modification of the chromic and titration method. Journal of Soil Science 34: 29-38.
36- Whalen, J.K., Chi Chang, and Olsen, B.M. 2001. Nitrogen and phosphorous mineralization potentials of soil receiving repeated annul cattle manure applications. Journal of Biology and Fertility of Soils 34: 334-341.