تعیین شکل‌های آهن و روابط آن‌ها با جذب آهن و شاخص‌های رشد ذرت در برخی خاک‌های استان آذربایجان شرقی

ندا پاشاپور [۱] ، عادل ریحانی‌تبار [۲]، شاهین اوستان [۲]
۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده
قابلیت دسترسی آهن برای گیاه به توزیع نسبی شکل‌های مختلف شیمیایی آن بستگی دارد که تابعی از ویژگی‌های خاک است. در این پژوهش به منظور جزءبندی آهن کل به شکل‌های مختلف آهن از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای در ۲۱ نمونه خاک که از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متنوع بودند، استفاده شد. مطالعات آماری نشان داد که شکل تبادلی آهن، پیوسته به اکسیدهای آهن بی‌شکل و آهن باقی‌مانده رابطه قوی و معنی‌داری با تمام پارامترهای رشد بخش هوایی گیاه ذرت (ماده خشک، غلظت آهن فعال و جذب آهن در بخش هوایی و ریشه) داشتند این امر نشان می‌دهد احتمالاً این شکل‌ها منبع آهن قابل جذب گیاه ذرت در خاک‌های مورد مطالعه در شرایط این آزمایش گلخانه‌ای بودند.

واژه های کلیدی: ذرت، شکل‌های شیمیایی آهن، عصاره‌گیری دنباله‌ای، غلظت و جذب آهن.

مقدمه
آهن پنج درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد و از نظر فراوانی چهارمین عنصر در پوسته زمین می‌باشد. آهن نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌ها، متابولیسم اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها (پروتئین‌های هم، سیتوکروم، کاتالاز، لگ هموگلوبین، پروتئین‌های Fe-S، فردوکسین و همچنین آنزیم‌های حاوی آهن مانند نیتروژناز و سوپر اکسید دیسیموتاز و...)، تکامل کلروپلاست، تنفس گیاه، فتوسنتز، احیای نیترات، سوخت و ساز اسیدهای آلی و.....دارد. در بسیاری از گیاهان کمبود آهن موجب تحریک پاسخ‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک متعددی می‌شود. مکانیسم‌های سازشی و یا قابل تحریک در میان ژنوتیپ‌ها متفاوت می‌باشد و این تفاوت‌ها را می‌توان بر اساس دو استراتژی تقسیم بندی نمود. ذرت گیاهی است گرامینه که علاوه بر سیستم جذبی I استراتژی نوع II را نیز دارا می‌باشد (سمر و همکاران، ۱۳۸۹). در مطالعات مربوط به خاک - گیاه، اطلاع از توزیع عناصر کم مصرف بین اجزای خاک، برای درک بهتر شیمی آن‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و در شناخت بر همکنش آن‌ها با ریشه‌های گیاه در ریزوسفر کمک زیادی می‌کند. آهن از این امر مستثنی نبوده و آگاهی از شکل‌های شیمیایی آن در فهم شیمی آن در خاک و همچنین در درک جنبه‌های حاصلخیزی و تغذیه گیاهی این عنصر اهمیت دارد (هان و همکاران، ۲۰۰۳). با مشخص کردن روابط بین شکل‌های مختلف آهن و ویژگی‌های خاک، تمهیدات لازم برای تغییر برخی پارامترهای خاکی با هدف افزایش قابلیت استفاده آهن را می‌توان تدارک دید. از سوی دیگر، تناسب و کارآیی روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای در پیش‌بینی زیست فراهمی عناصر عموماً از طریق مقایسه با مقادیر عناصر در قسمت‌های مختلف گیاه به ویژه در بخش هوایی گیاهان ارزیابی می‌گردد.

مواد و روش‌ها
بر اساس نقشه‌های تهیه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی نمونه‌برداری به تعداد ۴۰ نمونه خاک از مناطق ذرت‌کاری استان و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر به صورت تصادفی صورت گرفت. پس از خشک کردن و گذراندن خاک‌ها از الک ۲ میلی‌متری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها به صورت زیر تعیین شد: بافت خاک به روش هیدرومتری ۴ زمانه، pH و EC در عصاره اشباع خاک، کربن آلی به روش اکسایش تر، کربنات کلسیم معادل با روش خنثی کردن با اسید و تیتر نمودن اسید باقی‌مانده با محلول سود، کربنات کلسیم معادل فعال با روش اگزالات آمونیم، ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه خاک‌ها با استفاده از روش باور و مقدار آهن قابل جذب گیاه در خاک با روش DTPA اندازه‌گیری شد. خاک‌های مورد استفاده در آزمایش فاقد محدودیت شوری بوده و محدوده وسیعی از آهن قابل جذب گیاه در خاک (۷۷/۰-۸۶/۱۴ mg/kg) دیده می‌شود. با توجه به این ویژگی‌ها تعداد ۲۱ نمونه خاک که بیشترین ضریب تغییرات را از نظر ویژگی‌های فوق داشتند انتخاب و برای آزمایش عصاره‌گیری دنباله‌ای و کشت گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند.
تعیین شکل‌های شیمیایی آهن: برای جداسازی و تعیین شکل‌های شیمیایی آهن در خاک‌ها از روش تغییر یافته سینگ و همکاران (۱۹۸۸) استفاده شد. مراحل عصاره‌گیری دنباله‌ای و ترکیب هر عصاره‌گیر به روشی که در پژوهش حاضر به کار رفته به طور خلاصه در جدول ۱ نشان داده شده است. در ضمن برای به حداقل رساندن تأثیر ماده زمینه، استانداردهای آهن در محلول‌هایی که از نظر ترکیب و غلظت تقریباً مشابه عصاره‌گیرهای هر مرحله بود تهیه گردید.
آزمایش گلخانه‌ای: آزمایش گلخانه‌ای با کشت گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ و در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با ۲۱ نوع خاک و ۳ تکرار انجام شد. به غیر از آهن بقیه عناصر به صورت محلول طبق آزمون خاک و توصیه‌های رایج کودی مصرف شدند. سپس در هر گلدان ۱۰ عدد بذر در عمق ۵/۲ سانتی‌متری کاشته شد و پس از استقرار و سبز شدن کامل بذور در پایان هفته دوم، تعداد گیاهان هر گلدان به ۳ بوته یکنواخت تنک گردید. پس از ۶۰ روز گیاهان برداشت شدند. پارامترهای گیاهی شامل وزن تر و

وزن ماده خشک گیاه، جذب آهن بخش هوایی و ریشه، شاخص کلروفیل در برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل متر قبل از برداشت گیاه اندازه‌گیری شده، غلظت آهن کل با روش خشک‌سوزانی، آهن فعال گیاه ذرت با دو روش عصاره‌گیری با ۱مولار HCl (اسرکاسکی، ۱۹۳۳) از ماده خشک گیاهی و ۵.۱% ارتو- فنانترولین در pH=۳ (کاتیال و شارما، ۱۹۸۰) از بافت تازه گیاه اندازه‌گیری شد.

مطالعات آماری شامل ضرایب همبستگی خطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت.

جدول ۱ - خلاصه روش عصاره‌گیری دنباله‌ای و مشخصات شکل آهن استخراج شده در روش تغییر یافته سینگ و همکاران (۱۹۸۸).

شکل شیمیایی اهن	علامت	مدت تکان دادن (ساعت)	عصاره‌گیر	میلی‌لیتر عصاره‌گیر برای ۵/۲ گرم خاک
محلول + تبادلی	FeEx	۲	۱M $Mg(NO_3)_2$	۱۰
کربناتی	FeCar	۵	۱M NaOAc + CH_3COOH (pH=۵)	۱۰
آلی	FeOM	۵/۰(حمام آب جوش)	۰.۷M NaOCl (pH=۸.۵)	۵*
پیوسته به اکسیدهای منگنز	FeMnox	۵/۰	۰.۱M $NH_2OH.HCl$ + HNO_3(pH=۲)	۲۵
پیوسته به اکسیدهای آهن بی‌شکل	FeAFeox	۵/۰ (دمای C ۵۰°)	۰.۲۵M $NH_2OH.HCl$ + ۰.۲۵M HCl	۲۵
پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری	FeCFeox	۵/۰ (حمام آب جوش)	۰.۲M $(NH_4)_2C_2O_4$+۰.۲M $H_2C_2O_4$	۲۵
باقی‌مانده	FeRes	۱۶ (حمام آب جوش)	۰.۱M $C_6H_8O_6$(pH =۳)+ ۴M HNO_3	۲۵/۳۱

*دو مرتبه عصاره‌گیری می‌شود.

نتایج و بحث

در جدول ۲ توصیف آماری شکل‌های آهن نشان داده شده است. آهن تبادلی، آهن کربناتی و آهن پیوسته به مواد آلی مقادیر ناچیزی را به خود اختصاص دادند. در حالی که آهن پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری ۴۸/۳۹ و آهن باقی‌مانده ۵۹/۵۷ درصد آهن را تشکیل دادند. تقریباً می‌توان گفت که مقدار کل آهن عمدتاً در همین دو شکل توزیع شده است که می‌تواند حاکی از نقش مهم این کانی‌ها در جذب سطحی و نگهداشت آهن در این خاک‌ها باشد. علمداری و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که در دشت تبریز بخش اعظم آهن به شکل بلوری می‌باشد که با تحقیق حاضر از خاک‌های استان مطابقت دارد. به این ترتیب فراوانی مقادیر مختلف آهن به طور میانگین در خاک‌های مورد مطالعه را می‌توان به صورت زیر نشان داد: آهن باقی‌مانده > پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری > پیوسته به اکسیدهای آهن بی شکل> پیوسته به اکسیدهای منگنز> پیوسته به مواد آلی> آهن تبادلی آهن کربناتی. همانند نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر، ضرابی و همکاران (۱۳۹۰) در خاک‌های آهکی استان یزد و محمدی و همکاران (۱۳۹۲) در خاک‌های آهکی استان کردستان نیز شکل کربناتی آهن را کم‌ترین مقدار آهن گزارش کردند.

جدول ۲- توصیف آماری شکل‌های آهن در خاک‌های مورد مطالعه

	Fe-Res	Fe-CFeox	Fe-AFeox	Fe-Mnox	Fe-OM	Fe-Car	Fe-Ex	مجموع
	((g kg^{-1}))			mg kg^{-1}				
حداقل	۲۹/۰	۵۹/۱	ناچیز	۵۵۳/۰	۵۸۷/۶	۶۱۱/۷	۳۹۸/۱۵	
حداکثر	۵۴/۳	۳۲/۸	۷۷/۴۰	۹۱۵/۱	۶۰۰/۲۳	۱۴۲/۲۷	۵۳۰/۵۱	
میانگین	۱۷/۲	۹۲/۱	۳۰/۶	۷۹۸/۰	۶۹۲/۱۱	۲۰۳/۱۷	۰۳۵/۳۰	
انحراف‌معیار	۷۵/۰	۶۳/۱	۱۰	۲۸۲/۰	۵۱۶/۴	۷۴۷/۵	۵۱۲/۹	
میانه	۲/۲	۶۱/۱	۱۶/۲	۷۵/۰	۵۶/۱۰	۷۲/۱۷	۰۶/۲۹	

برای شرح علامت‌های اختصاری به جدول ۱ مراجعه شود.

توصیف آماری شاخص‌های رشد گیاه ذرت در خاک‌های مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. جدول ۴ همبستگی خطی شاخص‌های رشد گیاه ذرت با آهن قابل جذب و شکل‌های آهن را نشان می‌دهد. همبستگی خطی ماده خشک بخش هوایی و ریشه گیاه با مقدار آهن به شکل‌های تبادلی، پیوسته به مواد آلی، آهن باقی‌مانده و آهن قابل جذب خاک معنی‌دار است. مقدار جذب آهن در بخش هوایی ذرت با شکل‌های آهن پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری در سطح احتمال ۵ درصد و با آهن قابل جذب، آهن تبادلی و شکل باقیمانده آهن در سطح احتمال ۱ درصد همبستگی مثبت معنی‌داری نشان داد. شکل‌های تبادلی آهن با تأثیر مستقیم و شکل باقی‌مانده آهن با اثر غیر مستقیم خود جذب آهن در بخش هوایی گیاه ذرت را توجیه می‌کنند. همچنین می‌توان چنین نتیجه گرفت که روش عصاره‌گیری با DTPA می‌تواند آهن قابل جذب ذرت را در خاک‌های مورد مطالعه پیش‌بینی کند. ضریب همبستگی جذب آهن در ریشه ذرت با تمامی شکل‌های آهن به جز آهن کربناتی و آهن پیوسته به اکسیدهای منگنز معنی‌دار است. در محیط رایزوسفر ریشه‌ی گیاه ذرت به دلیل تولید اسیدهای آلی و فیتوسیدروفورها در اطراف ریشه شکل‌های آهن پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری و باقی‌مانده که از شکل‌های با حلالیت کم آهن هستند به صورت محلول در می‌آیند. همچنین پس از جذب آهن توسط ریشه مقدار آهن قابل جذب در محیط اطراف ریشه کاهش یافته و آهن از شکل‌های با حلالیت کم آهن آزاد می‌شود و توسط ریشه جذب و در اختیار گیاه قرار می‌گیرید. همچنین می‌توان احتمال داد به دلیل بالا بودن غلظت آهن باقی‌مانده نسبت به سایر شکل‌های آهن و توانایی گیاه ذرت در استفاده از آهن نامحلول‌تر در شرایط کمبود آهن، آهن باقی‌مانده، پیوسته به اکسیدهای آهن بی‌شکل و آهن تبادلی منابع مهم آهن برای گیاه ذرت در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشند. دسانتیاگو و همکارانش (۲۰۰۸) گزارش نمودند اکسیدهای آهنی که به طور ضعیف کریستاله شدند، منابع آهن برای گیاهانی هستند که در خاک‌های آهکی رشد می‌کنند. همبستگی بسیار خوب شاخص کلروفیل با Fe-DTPA احتمالاً دلالت بر برتر بودن عصاره‌گیر DTPA در خاک‌های مورد مطالعه باشد. غلظت آهن کل بخش هوایی با هیچ کدام از شکل‌های آهن همبستگی معنی‌داری نشان نداد. چلیک و کت کات (۲۰۰۷) گزارش کردند که بین آهن کل بخش هوایی با آهن قابل جذب خاک رابطه معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۳- توصیف آماری شاخص‌های رشد گیاه ذرت

شاخص‌های رشد گیاه ذرت	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
وزن خشک بخش هوایی	۰۹/۲	۴۴/۱۰	۲۱/۶	۹/۱	۰۴/۳۰
وزن تر بخش هوایی	۲۸/۲۱	۰۵/۹۰	۶۵/۶۴	۷/۱۷	۲۷
وزن خشک ریشه	۲۶/۰	۴/۱	۷۶/۰	۳۱/۰	۷۸/۴۰
وزن تر ریشه	۳۸/۱	۸۰/۱۳	۴۷/۶	۲۳/۳	۹/۴۹
شاخص کلروفیل	۶/۴	۴۱/۱۴	۸۲/۸	۶۳/۲	۸/۲۹
غلظت آهن فعال (HCl) (mg/kg dw)	۶/۴۱	۸۳/۶۴	۳۴/۵۴	۹۵/۵	۹۴/۱۰
غلظت آهن فعال(ارتوفنانترولین)((mg/kgfw	۵۴/۸	۵۹/۱۷	۸۲/۱۲	۷۱/۲	۱۳/۲۱
غلظت آهن کل بخش هوایی (mg/kg (dw	۴۱/۹۷	۵۹/۱۵۸	۷۴/۱۲۰	۵۱/۱۷	۵/۱۴
غلظت آهن کل ریشه (mg/kg dw)	۶۴/۹۸۶	۹۶/۱۷۴۱	۴۳/۱۳۰۵	۶۷/۱۹۸	۲۲/۱۵

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده با آهن قابل جذب و شکل‌های آهن

	Fe-Res [۱]	Fe-CFeox	Fe-AFeox	Fe-Mnox	Fe-OM	Fe-Car	Fe-Ex	Fe-DTPA
ماده خشک بخش هوایی	۷۱/۰**	۵۲/۰*	۰۳۲/۰	۴۵/۰*	۰۲/۰	۱۹/۰	۳۸/۰	۷۰/۰**
ماده خشک بخش ریشه	۶۶/۰**	۵۲/۰*	-۱۰/۰	۴۵/۰*	۰۳/۰	۱۹/۰	۲۵/۰	۶۶/۰**
جذب آهن بخش هوایی	۸۵/۰**	۵۹/۰**	-۰۲۵/۰	۴۰/۰	۰۸/۰	۲۷/۰	۴۶/۰*	۶۸/۰**
جذب آهن بخش ریشه	۸۱/۰**	۵۹/۰**	-۰۶۹/۰	۴۴/۰*	۱۳/۰	۴۹/۰*	۴۷/۰*	۰ /۶۹**
آهن‌کل بخش هوایی	۴۲/۰	۰۸/۰	-۰۲/۰	-۰۹/۰	۱۱/۰	۲۵/۰	۲۱/۰	۰۷/۰
آهن کل ریشه	۲۹/۰	۰۶/۰	۰۸/۰	-/۰۶	۳۰/۰	۵۱/۰*	۴۹/۰*	۱۰/۰

AFe-HCl	۵۵/۰*	۲۹/۰	۱۶/۰-	۰۵/۰	۱۱/۰	۲۱/۰	۵۹/۰**	۶۹/۰**
AFe-Ortho	۵۷/۰**	۴۶/۰*	۳۴/۰-	۵۵/۰**	۳۶/۰-	۱۹/۰-	۳۴/۰	۵۱/۰*
شاخص کلروفیل	۸۲/۰**	۷۱/۰**	۳۱/۰	۰۹/۰	۵۰/۰*	۱۸/۰-	۵۳/۰*	۸۴/۰**

برای شرح علامت‌های اختصاری به جدول ۱ مراجعه شود.
آهن فعال اندازه‌گیری شده با ارتوفنانترولین: AFe-Ortho، HCl آهن فعال اندازه‌گیری شده با: AFe-HCl
و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد *

جدول ۵ همبستگی خطی بین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و شاخص‌های رشد گیاه را نشان می‌دهد. درصد رطوبت اشباع با شاخص کلروفیل در سطح احتمال ۵ درصد و با آهن فعال اندازه‌گیری شده با ارتوفنانترولین، مقدار جذب آهن، وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. احتمالاً دلیل همبستگی بالای درصد رطوبت اشباع با شاخص‌های رشد گیاه ذرت، تحت تأثیر قرار گرفتن آن از طریق درصد رس، ماده آلی و CEC می‌باشد. درصد کربنات کلسیم معادل فعال، pH و EC همبستگی معنی‌داری با هیچ کدام از شاخص‌های رشد گیاه ذرت نداشتند. شعبان علی الحدق (۲۰۰۷) گزارش کرد که آهن فعال (اندازه‌گیری شده با HCl) در گیاه جو همبستگی منفی معنی‌داری با کربنات کلسیم معادل و کربنات کلسیم معادل فعال داشت.

جدول۵ - همبستگی خطی بین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با برخی از شاخص‌های رشد گیاه ذرت

شاخص‌های رشد / خصوصیات	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	جذب آهن	Fe-Orto	Fe-HCl	شاخص کلروفیل
Sand	۵۶/۰-**	۵۹/۰-**	۶۸/۰-**	۶۳/۰-**	۵/۰*	۶۴/۰-**	۱۷/۰-	۴۷/۰-*
Clay	۵۷/۰**	۵۶/۰**	۶/۰**	۶۴/۰**	۶۲/۰**	۶۴/۰**	۳۸/۰	۵۱/۰*
Silt	۳۹/۰	۴۴/۰*	۵۷/۰**	۴۴/۰*	۲۴/۰	۴۷/۰*	۰۱/۰-	۳/۰
CCE	۱/۰-	۰۱/۰	۱۳/۰	۰۲/۰	۱۳/۰-	۰۸/۰	۵۶/۰-**	۰۸/۰-
ACCE	۰۱/۰-	۱۱/۰	۲/۰	۰۹/۰	۰۳/۰	۲۲/۰	۳۶/۰-	۰۱/۰-
OC	۴/۰	۳۶/۰	۳/۰	۲۹/۰	۳۲/۰	۵۷/۰**	۳۸/۰	۴۶/۰*
SP	۷۴/۰**	۷۲/۰**	۷۷/۰**	۷۲/۰**	۶۵/۰**	۶۴/۰**	۳۹/۰	۵۴/۰*
pH	۱۵/۰	۰۱/۰-	۱۶/۰-	۰۶/۰-	۰۴/۰-	۱۶/۰-	۲/۰-	۴/۰-
CEC	۶۲/۰**	۶۵/۰**	۷۲/۰**	۶۷/۰**	۶۷/۰**	۴۴/۰*	۴۲/۰	۵۱/۰*
EC	۳۵/۰-	۲۸/۰-	۳/۰-	۲۶/۰-	۳/۰-	۰۵/۰	۱۴/۰-	۰۴/۰-

منابع

س. م.، سماوات، س.، تدین، م. س.، رضایی، ح.، طهرانی، م. م.، اردکانی، م. س.، بشارتی، ح. و فلاح، ع. ر. ۱۳۸۹. آهن در خاک و گیاه. موسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی.

ضرابی، ا.، یثربی، ج. و رونقی، ع. ۱۳۹۰. بررسی توزیع شکل‌های شیمیایی عناصر روی و آهن در خاک‌های آهکی استان یزد. صفحه‌های ۱۲ تا ۱۴. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران.تبریز.

محمدی، ب.، فرقانی، ا. و حسینی، س، م، ط. ۱۳۹۲. تعیین شکل‌های مختلف آهن و بررسی تأثیر کشت بر وضعیت آهن در خاک‌های آهکی استان کردستان. سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران.

elik H. and Katkat V. ۲۰۰۷. Some parameters in relation to iron nutrition status of peach orchards. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, ۱(۳): ۱۱۱-۱۱۵.

Desantiago A., Diaz I. and Delgado A. ۲۰۰۸. Predicting the incidence of iron deficiency chlorosis from hydroxylmine-extractable iron in soil. Soil Science Society of America Journal, ۷۲: ۱۴۹۳-۱۴۹۹.

Han F.X., Kingery WL. and Selim HM. ۲۰۰۳. Accumulation, redistribution, transport, and bioavailability of heavy metals in waste-amended soil. In: Iskandar IK Kirkham MB, (Eds.), Trace elements in soil, LEWIS Publisher. P: ۱۴۵-۱۷۳.

Katyal J. C. and Sharma, B. D. ۱۹۸۴. Some modification in the assay of Fe^{2+} in ۱-۱۰, o-phenanthroline extracts of fresh plant tissues. Plant and Soil. ۷۹, ۴۴۹-۴۵۰.

Oserkowsky J. ۱۹۳۳. Quantitative relation between chlorophyll and iron in green and chlorotic pear leaves. Plant Physiology.

Singh J. p., Karwasra S. P. S. and Singh M. ۱۹۸۸. Distribution and forms of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soil of India. soil Science, ۱۴۶: ۳۵۹-۳۶۶.

Abstract

Phytoavailability of fe depends on the relative distribution of different chemical forms, which is function of soil properties. To partition the total Fe into different forms of iron a sequential extraction procedure was conducted in ۲۱ Soils that varied in physical and chemical properties. Correlation studies showed that the Fe-Ex, Fe-AFeox and Fe-Res had a close and significant relationship with all the growth parameters of corn. This shows that these forms of iron are probably the source of available Fe for corn in soils studied in greenhouse conditions.