

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

موضوع تحقیق :

بررسی نقش آهن به عنوان یک فلز کلیدی

در فرآیند زندگی گیاهان

۱-۰ مقدمه

آهن یکی از عناصر فلزی معمول است که ۴/۶٪ از سنگهای آذرین و ۴/۴٪ از سنگهای رسوبی را تشکیل می‌دهد. محدوده غلظت آهن در خاکهای معمولاً از ۰/۲٪ تا ۵۵٪ تغییر می‌کند (۲۰۰۰ mg/kg تا ۵۵۰/۱۰۰۰ mg/kg) غلظتهای آهن می‌توانند در مناطق مختلف بسته به نوع خاک و حضور سایر منابع تغییر کنند.

خاکهای شنی کمترین و خاکهای رسی بیشترین میزان آهن را دارند. آهن می‌تواند در هر دو حالت دو ظرف (فروس یا Fe^{+2}) یا سه ظرفیتی (فریک یا Fe^{+3}) تحت

شرایط محیطی بخصوص وجود داشته باشد. حالت ظرفیتی آهن توسط PH و پتانسیل

redox سیستم تعیین می‌شود و ترکیبات آهن وجودشان وابسته به میزان دسترسی سایر

ترکیبات شیمیایی هم هست (همانند سولفور که برای تشکیل شدن پیریت یا FeS_2

مورد نیاز است). آهن برای رشد گیاه الزامی بوده و عموماً به عنوان یک ریزمغذی

محسوب می‌گردد. آهن به عنوان یک فلز کلیدی در نقل و انتقالات محسوب شده و

برای سنتز و سایر فرآیندهای زندگی سلولها مورد احتیاج است. در نتیجه گیاهان سعی

در تسریع جذب آهن دارند. آهن فروس بسیار حلال تر بوده و قابلیت دسترسی گیاه

به آهن از آن فریک بیشتر است. $Gothite$ (α -FEDO) شکل غالب کانی آهن در

خاکهاست. حالت دو ظرفیتی یا فروس می‌تواند به حالت سه ظرفیتی یا فریک اکسید

شده که در حالت اخیر می‌تواند تشکیل رسوبات هیدرواکسید یا اکسید را داده و برای

گیاهان به عنوان یک ریز مغذی، غیر قابل دسترس گردد. عوامل عمومی که بر قابلیت

تحرك و تثبيت آهن تأثیر گذارند. شرایط قلیایی و اکسیداسیونی هستند که تشکیل ر سوب اکسیدهای Fe^{+3} آهن محلول را تسریع می کنند یا شرایط اسیدی و احیاء که حلالیت ترکیبات Fe^{+2} فروس را تسریع می کنند. قابلیت در دسترس بودن آهن فروس و فریک همچنین به میزان آب خاک محیط نیز وابسته است. برای مثال محیطهای کاهیده که شامل زمینهای پست و خاکهای باتلاقی) هستند قابلیت در دسترس بودن آهن فروس را برای گیاهان تسریع می کنند. در حالی که محیطهای اکسیده (زمینهای مرتفع یا خاکهای بازهکشی خوب) تشکیل رسوب ترکیبات اکسید فریک را تسریع می کنند که برای گیاهان قابل جذب نیست. اگر آهن فروس زیادی وجود داشته باشد سمیت آهن ممکن است است برای گیاهان رخ دهد. ولی وقوع این حالت تا حد زیادی به گونه گیاهی بستگی دارد همینطور اگر آهن فروس بسته به رسوب ترکیبات آهن فریک در خاکها در دسترس نباشد کمبود آهن یا کلروز ممکن است رخ دهد. مدیریت خاک مناسب می تواند به کنترل PH و شرایط آب خاک کمک نموده و غلظتهای بهینه آهن فروس را در دسترس گیاهان قرار دهد. عموماً تعیین مقیاسی مشخص برای آهن خاکها به علت اینکه قابلیت در دسترس بوده آهن برای گیاهان و یا ایجاد مسمومیت به ویژگیهای خاک نظیر PH یا Eh و میزان رطوبت خاک بستگی دارد مشکل است.

برای تخمین این ویژگیها و پتانسیل به وجود آمدن کمبود و یا سمیت آهن برای گیاهان پیشنهاد گردیده که Eh و PH خاک هر دو در مزرعه باز هم اندازه گیری شوند.

۲-۰ ژئوشیمی آهن

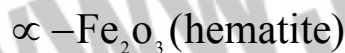
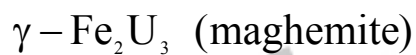
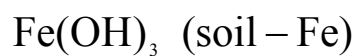
آهن در اکثر کانیهای اولیه (فاز اکسید و فرو منگنز) در حالت اکسیده فروس Fe^{+2} ، وجود دارد که از حالت فریک آهن یا Fe^{+3} بسیار حلالتر است.

چندین نوع مختلف از اکسیدهای آهن که هرکدام دارای حلالیت متفاوتی هستند وجود دارند عکس ۱-۲ حلالیت چندین اکسید آهن گزارش شده معمول را با هم مقایسه می کند. کانیهای آهن آزاد که در خاک وجود دارند به عنوان کلیدی برای شناخت خصوصیات خاک و برای افقهای خاک مورد استفاده قرار می گیرند. کانیهای آهنی که به صورت پدوژنیکی تشکیل می شوند در جدول ۱-۲ آمده اند.

جدول ۱-۲ انواع کانیهای آهن

کانی	فرمول شیمیائی	خصوصیات
Hematite	$\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$	هماتیت دارای رنگ قرمز روشن بوده، در خاکهای به شدت هوازده مناطق خشک، نیمه خشک و مرطوب وجود داشته و اغلب به جای مانده از مواد مادری است. فقط به میزان کمی از گئوتیت معمولتر بوده و همانند گئوتیت در محیطهای اکسیده پایدار است. اگر چه به علت اینکه Fe^{3+} می تواند به Fe^{2+} می تواند به Fe^{2+} تحت شرایط احیاء که در خاکهای ابداع اتفاق می افتد کاهش دهد در شرایط احیاء پایدار نیست.
Maghemite	$\tau - \text{Fe}_2\text{O}_3$	ماگمیت در خاکهای به شدت هوا زده مناطق مرطوب و اغلب همراه با هماتیت مگنتیت و یا گئوتیت یافت می شود.
Magnetite	Fe_3O_4	مگنتیت یک اسید آهن مغناطیسه بوده که معمولاً در اندازه های شن یافت می شود و اغلب به جای مانده از مواد مادری است. اکسیداسیون مگنتیت ماگمیت را حاصل می آورد که آن هم مغناطیسه است.
Ferrihydrite	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	فری هیدریت یک کانی معمول ولی غیر پایدار است و به راحتی در مناطق گرم به هماتیت و در مناطق معتدل مرطوب به گئوتیت تبدیل می گردد.
Goethite	αFeOOH	معمولترین کانی آهن خاک تحت شرایط اقلیمی متفاوت از معتدل نامرطوب رنگ قهوه ای و زرد بسیاری از خاکهای به علت حضور همین کانی است حتی اگر مقدار آن کم باشد. تحت شرایط اکسیده پایدار است اگر چه علت احیاء و در خاکهای اشباع تحت این شرایط غیر پایدار است.
Lepidocrocite	$\gamma - \text{FeOOH}$	در خاکهای بازه کشی کم مناطق معتدل و مرطوب یافت می شود. شرایط مساعد تشکیل این کانی PH کم، دمای کم و عدم حضور Fe^{2+} است.
Ilmenite	FeTiO_3	در خاک غیر معمول است به عنوان یک کانی مقاومت به هوازگی از سنگهای آذرین مادری به جای می ماند.
Pyrite	FeSO_2	به طور گسترده ای در خاکهای در آب غوطه ور شده حاوی سولفور (خاکهای سولفات اسید) توزیع گردیده اند.
Ferrous sulfide	fes	به طور گسترده ای در خاکهای در آب غوطه ور شده حاوی سولفور (خاکهای سولفات اسیدی) توزیع گردیده اند.
Jdrosite	$k\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	به طور گسترده ای در خاکهای در آب غوطه ور شده حاوی سولفور (خاکهای سولفات اسیدی) توزیع گردیده اند.

حلالیت Fe^{+3} معمولاً بوسیله حضور اکسیدهای محلول تر کنترل می شود، در نتیجه رسوبات تازه magnetite بی شکل یا Sidrite $(soil - fe(oH)_3)$ محلولترین اکسیدهای Fe^{+3} بوده و عموماً فعالیت Fe^{+3} و حلالیت Fe^{+2} را بسته به میزان CO_2 Redox کنترل می کنند. تحت شرایط اکسیده $(p_e + PH > 11/5)$ ، $soil - Fe(uH)_3$ (که کریستاله قابلیت حل شدن و تبدیل شدن به هیدروکسیدهای بی شکل و اکسیدهای ترسیناله به حد واسط است) حلالیت را کنترل می نماید. اگر این مقدار از ۱۱/۵ کمتر باشد magnetite نا زمانی که $(Feco3) sidrite$ شکل بگیرد. فاز پایدار است. سایر اکسیدهای Fe^{+3} بر طبق کاهش حالات عبارتند از:



۲-۱ تأثیر فرآیندهای هوازدگی بر آهن

واکنش آهن و فرآیند هوازدگی تا حد زیادی به سیستم $Eh - pH$ محیط و درجه

اکسیداسیون ترکیبات شامل آهن دارد. پتانسیل الکترونی برای جفت $\frac{fe(II)}{fe(II)}$ برابر

۰/۷۷ است. قانون عمومی که بر تحریک و تثبیت آهن حاکمیت دارد این است که در

شرایط اسیدی و قلیایی رسوب اکسیدهای Fe^{+3} آهن نامحلول را تسریع می کند ولی

شرایط احیایی و اسید حلالیت ترکیبات فرس Fe^{+2} را تسریع می کنند. آهن آزاد شده

به آسانی به صورت اکسیدها و هیدورااکسیدها رسوب می کند ولی با Mg و Al در

سایر کانیها جابه جا شده و با لیگاندهای آلی تشکیل کمپلکس می دهد رفتار کلی آهن

در منطقه هوازدگی می تواند در چهار عنوان زیر خلاصه گردد:

۱- در محیط اکسیده با حاکمیت O_2 جو، آهن تشکیل goethite که کانی پایداری

است را می دهد. در طی یک روند طبیعی در S_2 زیاد و CO_3 کم (محیط سופاته

اسیدی) Jarosite ممکن است شکل بگیرد و در شرایط غنی از مواد آلی آهن به

صورت کلاتها در محلول جابه جا می شود.

۲- در محیط کاهیده که باکتریها کربن را برای کاهیدن Fe^{+3} به Fe^{+2} و SO_4 به S

استفاده می کنند زیاد بودن S_2 پیریت را بوجود می آورد (FeS_2) کم بودن S_2 و

زیاد بودن CO_3 و S_2 ، Fe^{+3} در محلول باقی می ماند.

۳- Glaucosite تنها سیلیکات آهن اتوزنیک است که در رسوبات جدید شکل

می گیرد. اگر چه اسمکتایت های آهن در منطقه هوا زده وجود دارند. اینگونه تغییرات

حاصل فیلوسیلیکات های فرو منیزیم هستند.

۴- آهن اکثراً به شکل هیدوکسیدهای ذره‌ای و ریز یا بصورت پوشش به دانه‌های ریز

جابه جا می‌شود تقسیم بندیها بوسیله سرعت‌های ته نشین شدن گوناگون به انجام

رسیده‌اند.

۲-۲ تأثیر شرایط خاک بر آهن

اکسید آهنی که در خاکها حضور دارد به شرایط زیادی همانند میزان رطوبت، PH و

میزان اکسیژن خاک وابسته است در خاکهای مرطوب ولی با شرایط اکسیده اکسید آهن

نوعاً باید در حالت اکسید آهن هیدراته یافت گردد.

در خاکهای مرطوب با شرایط hypoxic اکسید آهن به طور مشخص در حالت فروس

یافت می‌گردد. تبدیل شدن به حالت فروس برای تشخیص مرز تیپیکال خاکهای

هیدریک زمینهای پست بکار می‌رود.

حلالیت آهن معدنی در خاکهای بازه‌کشی خوب بوسیله عدم حلالیت و تشکیل

رسوب اکسیدهای Fe^{+3} کنترل می‌گردد. همانند حالت قبل غلظت Fe^{+3} به PH،

افزایش غلظت از 10^{-8} تا 10^{-20} مول به ازای افزایش PH از ۴ تا ۸ بستگی دارد.

غلظتهای HCO_3 زیاد قابلیت دسترسی آهن را در خاکهای آهکی کاهش می‌دهند. به

غیر از شرایط ویژه تغییر شکل یک اکسید Fe^{+3} به حالت دیگر در خاکها به علت

حلالیت کم این کانیها به آهستگی اتفاق می‌افتد. این کانیهای اکسید Fe^{+3} بخصوص،

ممکن است در خاکها برای یک تناوب زمانی طولانی بدون تغییر شکل کلی به

کانیهای غیرمحلول تر باقی بمانند. در خاکهای مختلف و بخصوص در خاکهای با PH

کم، اکسیدهای آهن می توانند در سطوح رسها تشکیل رسوب بدهند.

اینگونه پوششها در PH های بالاتر پایدارند، همچنین در ظاهر ژل مانند بوده ممکن

است در حالت مرطوب جریان پیدا کنند و در هنگام گرم شدن منقبض شده و تشکیل

حفره بدهند و برای چسبیدن ذرات اولیه و تشکیل خاکدانه ها همانند سیمان عمل

می کنند. اینگونه پوششهای بی شکل در هنگام پیرشدن و گذشت زمان تشکیل فرمهای

کریستاله را می دهند.

اکسیدهای آهن کریستاله و آمورف نقش اصلی را در استحکام یافتن ساختمان خاک

بازی می کنند اکسیدهای آهن به کانیهای آهن از طریق کاهش غلظت بحرانی انعقاد،

پراکندگی رس، جذب آب و انقباض رس انبساط رسها و همچنین بوسیله افزایش

Microaggregation پایداری می بخشند. آنها می توانند پایداری خاکدانه، قابلیت

نفوذپذیری، تخلخل و هدایت هیدرولیکی خاکدانه ها را افزایش دهند. همچنین این

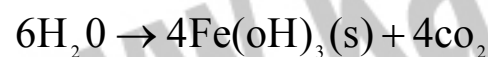
اکسیدهای بی شکل می توانند انقباض و انبساط، پراکندگی رسها، چگالی حجمی و

انقطاع را کاهش دهند. تشکیل اکسیدهای آهن همچنین بوسیله مواد آلی و باکتریها

تحت تأثیر قرار می گیرد باکتریها ممکن است تبدیل بین حالت های مختلف ظرفیتی آهن

را اکسیده کند این باکتریها برای تأمین انرژی برای متابولیسم خود Fe^{+2} را به Fe^{+3}

اکسیده می کنند مکانیسم این عمل در زیر نشان داده شده است.



تعدادی از باکتریهای معمول آهن شامل *Lepthrix crenothrix*، *Ferroba cillus* و *Gallionella* هستند که بصورت لعاب باکتریایی در سیستمهای آبی مشاهده شده‌اند. به علاوه بعضی گونه‌های باکتریایی همانند، *Metallogenius sp* در چرخه آهن شرکت کرده و به عنوان تجمع دهنده آهن در سطح سلولهای زنده‌شان شناخته شده‌اند. توزیع آهن قابل عصاره‌گیری در خاکها به حضور موادآلی وابسته است. آهن با مواد آلی تشکیل کلاتهای آهن را می‌دهد. اسید هومیک خاک در PH بیشتر از ۳ با قدرت زیادی آهن را جذب کرده و یا تشکیل کمپلکس می‌دهد.

سایر تشکیلات خاک که Fe^{+3} را جذب می‌کنند شامل اکسیدهای کریستاله، کانیهای رسی و اکسیدهای هیدراته آهن و منگنز هستند جدول تعدادی از ثوابت جذب را برای آهن در سطح کانیهای رسی، سیلیکاد و مواد آلی نشان می‌دهد. حلالیت آهن مقدماً به حلالیت اکسیدهای Fe^{+3} هیدراته مربوط می‌شود. بعلاوه حلالیتهای آهن ممکن است بطور قابل توجهی تحت تأثیر سایر ترکیبات آهن شامل فسفاتها، سولفیدها و کربناتها قرار گیرد. تفاوتها در مقادیر پتانسیل redox خاک ممکن است دلائل دیگری برای افزایش حلالیت آهن در خاکهای باشند عموماً در خاکهایی با زهکشی خوب و مناسب، اکسیدهای Fe^{+3} حلالیت آهن را کنترل می‌کند. اگر چه فرایندهای احیاء در خاک، کنار ریشه‌های تنفس کننده و در تنفس کننده و در سایتهای میکرو جایی که مواد آلی قویاً degrade می‌شوند و عموماً در خاکهایی غرق شده در آب رخ می‌دهد. تغییر در خواص خاک همانند PH، مقادیر پتانسیل redox می‌تواند آهن را جزئی از

فراکسیونهای غیر محلول کرده و قابلیت دسترسی آنرا برای گیاهان کاهش دهد. در خاکهای آلی ۵۰٪ آهن در فراکسیون سولفید و مواد آلی یافت شده ولی مقادیر کمتری از این شکل آهن در افقهای خاک در کانیها مشاهده گردیده است. اکثراً آهن در اکسیدهای آهن کریستاله و بی شکل و فراکسیونهای باقیمانده قرار گرفتند بودند. شرایط احیاء قوی در خاک فراکسیون آهن و اکسیدها را با فراکسیونهای تبادل، آلی و منیزیم-اکسید در ارتباط است متحرک نموده و آنرا برای جذب توسط گیاهان آماده می نماید. افزایش در میزان PH یا Eh یعنی اینک شرایط اکسیده آهن را از شکلهای آلی و تبدالی به فراکسیونهای غیر محلول در آب و اکسید-آهن جابه جا می نماید. PH و اضافه نمودن مواد آلی به خاک باعث ایجاد شرائط احیاء با تناوب خشک و مرطوب شدن می گردد در پاسخ به افزایش مواد آلی آهن از شکلهای کم محلول به شکلهای تبدالی و آلی تغییر می کند.

آهن در فراکسیونها می تواند تفاوت داشته باشد. از جمله محللهای مردانی که ظاهراً به میزان احیاء اکسیداسیون مربوط می گردد. شخم زدن می تواند PH و سایر خصوصیات خاک را تغییر داده و در حلالیت آهن موثر باشد. شکل گونه های نمونه آهن را تحت شرایط مختلف PH و En نشان می دهد. تشکیل ترکیبات بحرانی آهن همانند Fes_2 همچنین به قابلیت دسترسی سایر مواد شیمیائی مثلاً در مورد اخیر به گوگرد در سیستم بستگی دارد. فازهای جامدی که در شکل نشان داده شده اند $Feco_3$ (سیدریت)،

Fe_2 (پیریت) و Fe_3 هستند احتمال وجود FeO_4 در شرایط محیط طبیعی وجود ندارد مگر اینکه محیط به شدت اکسیده باشد.

۳-۰ اثرات آهن و گیاهان

آهن یکی از عناصر ریز مغذی است که به شکل (Fe^{+2}) توسط گیاهان جذب می‌گردد آهن برای شکل گرفتن کلروفیل II و شرکت در آنزیمهایی که برای سیستمهای تنفسی لازم هستند وجودش ضروری است. اکثر آهن موجود در خاکهای با تهویه مناسب بصورت یون فریک یا (Fe^{+3}) است که برخلاف یون فرو (Fe^{+3}) برای گیاهان غیر قابل دسترس می‌باشد. کمبود آهن ممکن است هنگامی که کانیهای خاک بطور مرتب آهن فروس (Fe^{+2}) را جانشین آهن فروس قبلی که به آهن فریک اکسیده گردیده نکنند ایجاد گردد. و یا کمبود آهن می‌تواند در نتیجه وجود مس و منگنز زیادی باشد. منگنز و مس عواملی هستند که موجبات اکسید شدن فروس را به حالت فریک پدید می‌آورند. در خاکهای اسیدی که ما انتظار داریم آهن به اندازه نیاز گیاهان وجود داشته باشد. سمیت منگنز موجبات کمبود آهن را فراهم می‌آورد.

۳-۱ ضرورت آهن

آهن از سال ۱۸۴۵ به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان شناخته شده است. آهن برای رشد گیاهان لازم بوده و عموماً به عنوان یکریز مغذی آن را می‌شناسیم. همچنین آهن برای شکل گرفتن کلروفیل II و شرکت در بعضی آنزیمهای که در سیستمهای

تنفسی شرکت دارند ضروری است. آهن در خاکها و سنگها یک عنصر فراوان بوده ولی معمولاً به عنوان یک ریز مغذی در خاکها در کمبود است. این مشکل به طبیعت بسیار نامحلول ترکیبات آهن فریک بر می گردد. این ترکیبات در خاکهای با هوازدگی شدید تجمع پیدا کرده و عضو اصلی خاکهای سرخ مناطق تروپیک محسوب می شوند. بازمانده های فسیلی بعضی خاکهای قدیمی شامل آهن به اندازه کافی برای رفع نیاز آهن هستند. هر چند این ترکیبات بسیار نامحلول بوده و نمی توانند نیاز گیاهان به آهن را حتی به عنوان یک ریز مغذی رفع نمایند. مکانیسم جذب آهن انتقال آهن بوسیله گیاهان مطالعات زیادر را به خود مشغول داشته است چون این مکانیسم یک فرایند کلیدی در رفع نیاز آهنی گیاهان می باشد. در اکثر اوقات شدت های متفاوت کمبود آهن در گیاهان به علت فاکتورهای خاک که عدم حلالیت آهن را تشدید می کنند رخ می دهد. به نقش متابولیک آهن در گیاهان سبز نسبتاً پی برده شده است. و آهن را به عنوان یک عنصر فلزی کلیدی در انتقال انرژی که برای سنتز و سایر فرآیندهای زندگی سلول مورد نیاز است به حساب می آورند. نقش اساسی آهن در بیوشیمی گیاهان می تواند بصورت زیر خلاصه گردد.

- آهن در پروتئینهای هم غیر هم وجود داشته همچنین عضو مهم کلروپلاستیایی می باشد.

- کمپلکس های آهن آلی در مکانیسم انتقال الکترون فتوسنتزی شرکت می کنند.

- پروتئینهای غیر هم در احیاء نیتراتها و سولفاتها نقش دارند.

- به نظر می‌رسد که آهن نقش مستقیمی در متابولیسم اسیدهای نوکلئیک داشته باشد.

- همچنین نقشهای ساختمانی و کاتالیزوری برای Fe^{+2} و Fe^{+3} شناخته شده‌اند.

۲-۳ کمبود آهن

هنگامی که کمبود آهن در گیاهان روی می‌دهد تفاوت صریح بین رگبرگهای سبز و سبز کمرنگ یا زرد بافت ما بین رگبرگها آشکار می‌گردد.

این کمبود کلروفیل در برگ گیاهان را کلروز گویند. برگهای جوان بیشتر از برگهای پیر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. به علت اینکه آهن در گیاه نسبتاً نامتحرک می‌باشد.

عاملی که در خاکهای با تهویه خوب باعث کلروز در گیاهان می‌گردد نامحلول بودن اکسیدهای Fe^{+2} است در شرایطی که پتانسیل اکسید و احیایی یا PH و یا هر دو افزایش پیدا کنند. قابلیت جذب آهن از محول خاک به گیاهان به شدت کاهش می‌یابد.

پتانسیل اکسید و احیایی بحرانی برای احیاء Fe^{+2} بین ۱۰۰ میلی ولت و ۳۰۰ میلی ولت در PH برابر ۶ و ۷، و ۱۰۰ - میل ولت در PH برابر ۸ است. کمبود آهن ممکن

است در خاکهای غیرآهکی با بافت شنی هم رخ دهد ولی کمبودهای آهن بیشتر در

خاکهای آهکی معمول هستند غلظت تعادلی آهن در فاز محلول سیستمهای آهکی

خیلی کم است. در دسترس بودن آهن در خاکها برای جذب توسط گیاه تا اندازه

زیادی به PH خاک، لیگاندهای کمپلکس شده و پتانسیل اکسید و احیاء بستگی دارد.

رطوبت اضافی خاک آهن فرس را که محلول تر و متحرک تر است افزایش می‌دهد.

یک محیط آبرگرفته (باتلاقی) منتج به کاهش در پتانسل اکسید و احیایی می گردد.
خاکهایی بازهکشی ناقص اغلب حاوی ماتل های زنگ زده هستند که در اثر جا به جا شدن آهن فروس متحرک به مکانهای که در آنجا اکسید شده و رسوب کرده اند بوجود می آیند. حلالیت آهن فریک و آهن فروس در PH پایین خیلی بیشتر از PH بالاست ترکیبات آهن شامل $Fe(OH)_2$ و $Fe(OH)_3$ حلالیت کمی دارند و می توانند در PH بالا رسوب تشکیل دهند بی علت اینکه هنگامی که PH افزایش پیدا می کند یونهای OH بسیار فراوانند.

آهک دادن به خاک باعث تشکیل رسوب آهنی که قبلاً متحرک بود و همچنین باعث بروز کلروز ناشی از آهک می گردد. تحقیقات نشاندهنده این مطلب است که گیاهان به بیشتر از 10^{-8} مول آهن محلول برای برطرف کردن نیاز تغذیه ای خود نیاز دارند. کمبود آهن معمولاً با کاهش سرعت رشد همراه است اگر چه همیشه معلوم نیست که آیا این نتایج نتیجه ای از کمبود است یا شرایطی که باعث کمبود شده اند. کمبود آهن معمولاً در خاکهای آهکی در خاکهایی با شرایط زهکشی ضعیف و خاک های غنی از منگنز رخ می دهد اعمال مدیریت خاک و دیگر شرایطی که ممکن است باعث به وجود آوردن یا بدتر کردن کمبود آهن گردند شامل: تجمع زیاد رطوبت خاک، غلظت زیاد فلزات سنگین (به خصوص مس، منگنز، روی) در یک خاک اسیدی، دمای بیش از حد پایین یا بالای خاک، حضور ارگانوسمهای معین (نماتدها یا قارچها)، کمبود رطوبت خاک هستند. بازمانده گیاهان، کود، فاضلابها، گلها، پیتها، زغال چوب

فرآورده‌های فرعی صنعتی تولیدات جنگلی (پلی فلائونوئیدها و لیگنوسولفاتها) حتی زغال می‌توانند در درمان کلروز ناشی از آهن موثر واقع گردند.

گونه‌های گیاهای مختلف که با آهن اسپری شده‌اند و همچنین اعمال بعدی بر روی خاکهای دارای مشکل کمبود در فراهم کردن آهن برای گیاهان موثر بوده‌اند. ترکیبات آلی آهن در کود در نگهداشتن آهن در شکل قابل دسترس تأثیر بسیار خوبی دارند.

۳-۳ سمیت آهن

عموماً سمیت آهن به افزایش جذب آهن و جابه جایی آن توسط اندامهای گیاه ارتباط دارد. برای مثال کشف شده که گیاه تنباکو به وسیله سمیت آهن صدمه دیده که در این سمیت استحکام برگ با افزایش غلظت آهن بین ۴۵۰ تا ۱۱۲۶ پی پی ام کاهش پیدا کرد. اینگونه برگها همچنین دارای غلظت منگنز کمتر از معمول بودند. گزارش گردیده که بیماری برنزه شدن برنج با تجمع آهن در نقاط نکروز شده روی برگها ارتباط دارد. (Freckle leaf) در نیشکر نیز به متمرکز شدن تجمع آهن در برگها مربوط است.

علت بیماری Mdni leaf fraeckling در نیشکر نیز تجمع آهن، Mn AL و میزان کم SiO_2 در برگها گزارش گردیده است. ظاهراً گیاهان دچار غلظت بالای Ca و SiO_2 می‌توانند میزان آهن، منگنز و آلومینیم بالای داخل گیاه را تحمل کند. این عمل احتمال دارد که با ممانعت گیاه از تمرکز در نقاط سمی مرتبط باشد. در تحقیقی دیگر گزارش شده که SiO_2 در ابتدا یک نقش سمیت زدایی داشته ولی هنگامیکه عوامل سمی حضور ندارند وجودش ضروری به نظر نمی‌رسد (در گیاه نیشکر).

علائم سمیت آهن در گیاهان مختلف کاملاً متفاوتند. آهن اضافی در گیاه کتان شاخ و برگ سبز تیره حاصل کرده و اندامهای هوایی و همچنین ریشه از رشد باز می ماندند. ریشه ها در هنگام تجمع زیاد فسفات ترکیب شده با ماده آلی محکم و ضخیم می شوند و بالعکس کمبود فسفات شرایط را برای به وجود آوردن رنگ سبز تیره مستعد می کند در حالیکه زیادی فسفات شدت رنگ سبز تیره را کاهش می دهد. این علائم بسیار شبیه علائمی است که در سمیت AL اتفاق می افتد. اگر چه نشان داده شده است که Fe و AL نسبتاً تأثیرشان روی ریشه باقلای مصری و لوبیا متفاوت است همچنین مشاهده گردیده است که نوک ریشه ها در هنگام زیادی Fe سست و شل شده و در هنگام زیادی AL ترد و شکننده می گردند. در برنج سمیت آهن به وسیله نقاط قهوه ای رنگی که از نوک برگهای پایینی آغاز می گردند شناخته شده است این نقاط ابتدا در سر تا سر برگ منتشر شده و بعد به برگهای بالاتر سرایت می کنند. حال آنکه برگهای پایینی گیاه عاقبت به رنگ سفید یا خاکستری در می آیند. علائم به طور گسترده ای با سن گیاه، شرایط تغذیه ای و کشت تغییر می کنند در نتیجه برای تشخیص سمیت آهن مشکل است که فقط از علائم گیاهان استفاد کنیم. در تنباکو محصول آهن اضافی برگهای ترد و شکننده، حساس، قهوه ای تیره تا بنفش دارد که با سوختن نامرغوب محصول (هنگام مصرف) و همچنین گلهای نامرغوب همراه است. در لوبیای مرمری، (Navy bean) سمیت آهن با کمبود Zn در ارتباط می باشد که تولید نقاط سیاه بر روی شاخ و برگ گیاه می نماید.

سمیت آهن در تنباکوی لفاف سیگار بوسیله آبیاری بارانی با آب حوضچه‌ای شامل بیشتر از ۱/۵ پی پی ام آهن ایجاد می‌گردد (Foliar injury) آهن فرس اضافی در آب حوضچه به شریط کاهنده‌ای که با رشد اضافی گیاهان آبی تولید شده مربوط می‌گردد. گزارش گردیده که بعضی گیاهان در خاکهای اسیدی به علت جذب آهن زیادی رشد کمی دارند، مثلاً سمیت آهن باعث کمبود منگنز هلوی Elberta گردیده است. همچنین سمیت آهن رشد سویای Bragdg را محدود نموده در خاکهای اسیدی در PH=۵/۲ رشد کم گیاهان شاهدانه و خردل را در خاکهای اسیدی به سمیت آهن نسبت داده‌اند.

اعتقاد به این است که سمیت آهن در بیماریهای پیچیده اختصاصی تحت شرایط غرقابی در گیاه برنج نقش دارد. این بیماریها شامل برنزه شدن در سریلانکا و اطراف و همچنین اختلال (Alkagdr type) در ژاپن و Akiochi در کره است. برنزه شدن را تحت شریط غرقابی به کمبود عناصر اصلی ناشی از زیادی آهن شامل فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم نسبت داده‌اند. رشد ریشه گیاهان در خاکهای با Fe محلول در سطح بالا ممکن است با اکسیدهای آهن پوشیده شده که ممکن است باعث کاهش جذب سایر مغذی‌ها گردد. نشان داده شده است که سمیت آهن در گیاهان منجر به برنزه شدن می‌گردد هنگامیکه سطح پتاسیم خاک پایین است. همچنین در همین تحقیق پیشنهاد گردیده که H_2S اضافی می‌تواند گیاهان را برای برنزه شدن بوسیله کاهش یا متوقف کردن تنس ریشه مستعد کند.

در حضور غلظت زیاد آهن ریشه گیاه برنج آهن را اکسیده کرده و بر روی سطح ریشه رسوب می نماید، نوک ریشه اندازه های قابل توجهی از آن را جمع نموده و آنرا به برگهای پایین تر منتقل می کند هنگامی که غلظت آهن بالا باشد. بریدن ریشه ها می تواند در کاهش درجه مسمومیت و جذب آهن موثر باشد. در PH برابر ۳/۷ غلظت پایین تر (۱۰۰ PPM) آهن می تواند ایجاد مسمومیت کند. غلظتهای پایتتری برای صدمه زدن به جوانه های جوان نسبت به گیاهان پیرتر احتیاج است. صدمه دیدن ریشه توسط H_2S ممکن است بوسیله از بین بردن توانایی اکسیده کردن، گیاهان را نسبت به سمیت آهن مستعدتر نماید. حتی در محلولهای غذایی تعیین سطح بحرانی آهن برای ایجاد برنزه شدن مشکل است. سمیت آهن در محیط کشت توسط کاهش سطوح پتاسیم تشدید می گردد.

همچنین می توان اختلال برنزه شدن در برنج را به غلظت بالای محصولات کاهیده شده بخصوص Fe^{+2} در خاک مربوط دانست شرایطی که با زهکشی- به زیر آب بردن با تأخیر و همچنین موادی مانند MnO_2 که به تأخیر اندازه های کاهش هستند بهبود پیدا می کند. اضافه نمودن MnO_2 در ۰.۴٪ وزنی به خاک رشد برنج را در سه خاک اسیدی در PH های ۳/۶ تا ۵/۸ بهبود داده است. اثر سودمند MnO_2 را به افزایش دادن پتانسیل اکسیداسیون احیاء و کاهش غلظت Fe^{+2} و همچنین تولیدات احیایی آلی نسبت می دهند. در طی تحقیقی فهمیده اند که حتی بعد از مرحله زیر آب فرو بودن (غرقاب کردن) سطوح PH خاکهای اسیدی از ۶ بیشتر نشد. در PH های زیر ۶ اگر

عمده فاز جامد خاک $Fe_3(OH)_8$ باشد یک خاک کاهیده می تواند حاوی ۵۰۰۰ پی پی ام Fe^{+2} در محلول خاک باشد. اگر فاز جامد اصلی خاک Fes باشد غلظت Fe^{+2} تابعی از PH و میزان H_2S است. در خاک اسیدی در $PH=3/6$ مرگ نشاء برنج به غلظت زیاد Al (۶۸PPm) و Fe^{+2} (۴۹۰۰ PPm) در محلول خاک نسبت داده می شود. AL در ۲۵ PPM و برای گیاه برنج بسیار سمی است. غلظت آهن فروس بیشتر از ۴۰۰ ppm در طی اکثر فصول با سمیت ارتباط دارد. غلظت زیاد نمک (NQCL) اختلال سمیت آهن را بوسیله خشک کردن فیزیولوژیکی تشدید می کند سمیت آهن در PH برابر ۵ تا ۵/۵ در کشت با دادن آهک و رساندن آن به PH ۶ چند هفته بعد از غرقاب کردن برطرف شد. به کاربردن Mno_2 سمیت آهن را تشدید نموده است. غلظت ۷۳۰۰ PPm آهن فروس در محلول یک خاک اسیدی گیاهان برنج را یک روز بعد از عمل نشاء کاری از بین برده است. ۳۶۰ PPm از آهن فروس در هنگام کشت یا ۶۵۵ PPm، ۱۱ هفته بعد از کشت علائم سمیت را به وجود آورده اند. اعمال مدیریتی خاص نظیر زهکشی خاک متناوب برای فراهم کردن شرایط اکسیداسیون آهن محلول و استفاده از کشت های گونه های مقاوم می تواند سمیت آهن را در برنج کاهش دهد. و در طی تحقیقی برای تهویه منتطقه بالای ریشه برنج را بر روی مرزها (شیارها) کشت کرده اند و فهمیده اند که مرزبندی و همچنین ژنوتیپ مقاوم مخصوصاً هنگامیکه هر دو با هم استفاده شوند ظاهراً استراتژی مدیریتی موثری برای کاهش از دست رفتن محصول در خاکهای مسموم از آهن هستند. وضعیت آب خاک به واسطه

تأثیرش بر روی PH و احیای آهن در دسترس بودن آهن برای گیاه را شدیداً تحت تأثیر قرار دارد برای مثال در حالیکه کشت‌های برنج فراوانی غالباً در شرایط upland کلروز ناشی از کمبود آهن را نشان می‌دهند رخ دادن کلروز در شرایط Lowland نادر بوده و به رشد برنج در خاکهای قلیایی که از نظر مواد آلی فقط هستند محدود می‌شود. دلیل اینکه آهن زیاد در گیاه گاهی اوقات و نه همیشه سمیت محصول گیاه برنج را کاهش می‌دهد به خوبی درک نگردیده است. نتیجه گرفته شده است که نسبت

در محلول خاک که با $E_1 - Fe$ نشان داده

$$\frac{Fe^{2+}}{Fe^{2+} + Mn^{2+} + Ca^{2+} + mg^{2+}}$$

می‌شود بیشتر از فعالیت Fe^{+2} جذب آهن را در برنج آبی که در بعضی خاکهای سولفات اسیدی رشد کرده کنترل می‌کند.

میزان زیاد $E_1 - Fe$ ظاهراً جذب آهن را تحرک نموده که در این حالت این سمیت آهن محتمل به نظر می‌رسد. زهکشی و از حالت غرقابی خارج نمودن خاکهای سولفات و اسیدی احتمال وقوع سمیت آهن را کاهش می‌دهد.

۳-۴ مقاومتهای مختلف گیاهان به سمیت و کمبود آهن

گیاهان در حساسیت نسبت به کلروز آهن متفاوتند. سویا در خاکهای Iowa با آهک زیاد کلروزه شد ولی ذرت، یولاف، شبدر و یونجه تحت تأثیر قرار نگرفتند. درختان هلو در خاکهای رسی Houston کلروزه شدند ولی کتان، ذرت، شبدر و علفهای کوتاه علامتی از کلروز را نشان ندادند. اکثراً گیاهان آهن مناسب و کافی را برای نیازشان در

شرایط خاکهای طبیعی و اسیدی بدست می‌آورند. ولی azaleas و rhododendroons اگر PH خاک بیشتر از ۶ باشد کلروزه می‌شوند. ظاهراً مقاومت نسبت به سمیت آهن به مقاومت نسبت به سمیت آهن به مقاومت به مانده‌ای در خاکها مرتبط است فهمیده شده است که ریشه گونه‌های گیاهی مقاوم به خاکهای باتلاقی آهن را بسیار موثرتر از گیاهان حساس به خاک باتلاقی اکسید کرده و انتقال آنرا به اندامهای بالایی گیاه کاهش می‌دهند یونجه که از گیاهان حساس به شرایط ماندایی است هیچ توانایی نسبت به اکسید کردن آهن نشان نداده است و برنج که از گیاهان مقاوم به خاکهای باتلاقی است اکسیده کننده موثری برای آهن هستند. گیاهان دوست‌دار خاکهای باتلاقی سمیت را از طریق کاهش موادی مانند Fe^{2+} از طریق اکسیداسیون در منطقه ریشه کم می‌کنند. گیاه برنج شاید بوسیله کم کردن غلظت Fe^{2+} در محیط کشت، خارج کردن Fe^{2+} از ریشه‌ها و یا ممانعت کردن از انتقال آهن از ریشه‌ها به اندامهای بالایی از سمیت آهن نجات پیدا کند. ریشه‌های برنج می‌توانند Eh محلول خاک را کاهش داده و بنابراین غلظت Fe^{2+} را کم کنند. اگر چه این تأثیر یک جبران کردن جزئی در برابر این حقیقت است که گیاهان رشد کرده PH محیط را کاهش می‌دهند. گزارش گردیده که ریشه‌های گیاه برنج O_2 ترشح کرده و Fe^{2+} را به Fe^{3+} اکسید نموده و بنابراین از نفوذ آن به منطقه بحرانی ریشه ممانعت می‌کنند. گیاه برنج معمولی (خشکه کاری) آهن اضافی را خارج نموده و تنفس مانع افزایش جذب آهن بوسیله ریشه‌هاست.

۰-۴ جذب و تجمع آهن در گیاهان

فرآیندهای احیاء در کنار ریشه‌های تنفس کننده ممکن است که احیاء آهن Fe^{3+} را به Fe^{2+} و جدا شدن Fe^{3+} از کلاتها را افزایش دهد. اگر چه آهن در پوسته زمین نسبتاً فراوان است (تقریباً ۰.۵٪ لیتوسفر) اما در دسترس بودنش در خاکهایی با زهکشی خوب به علت شیمی خاص آهن در محیطهای هوازی کم است. در سیستمهای هوازی حلالیت آهن غیر آلی بسته به اکسیدهای فریک در خاک مطابق واکنش زیر است:



از اینرو زمانی که PH محلول از ۸ به ۴ کاهش می‌یابد غلظت Fe^{3+} در محلول از 10^{-17} به 10^{-15} مول بر متر مکعب افزایش می‌یابد. بعلاوه Fe^{3+} به آسانی هیدرولیز گردیده بنابراین آهن محلول نهایی در محلول آهن مانند $Fe(OH)_2$ و $Fe(OH)_4^-$ می‌باشد. بدون شک پتانسیل اکسیداسیون و احیاء خاک می‌تواند حلالیت آهن را تحت تأثیر قرار دهد. چون Fe^{2+} به مقدار قابل توجهی از Fe^{3+} محلولتر است. اگر چه در محدوده مقادیر PH نسبت داده شده به خاکهای متعدد و شرایط فیزیولوژیکی، (PH حدود ۶-۸) گونه Fe^{3+} غلب است، چون Fe^{2+} به راحتی اکسیده می‌شود. بنابراین در اغلب خاکهای بازهکشی خوب کمترین حلالیت آهن غیر آلی کل در محدوده 10^{-8} تا 10^{-6} مول بر متر مکعب تثبیت شده است. غلظتهای از آهن محلول که بطور واقعی در محلولهای خاک اندازه‌گیری شدند معمولاً بیشتر از آنچه هستند که از واکنشهای معادله‌ای اندازه‌گیری می‌شوند در محدوده $(10^{-5}$ تا 10^{-3} مول بر متر

مکعب) و این به علت کمپلکس شدن آهن خاک با لیگاندهای آلی محلول می‌باشد. این لیگاندهای آلی می‌توانند نتیجه‌ای از degradtion ماده آلی همانند اسید فولولیک و یا سیدروفورها باشند (همانند ترکیبات کلرات کننده آهن که توسط باکتریها و قارچها ترشح می‌شوند) یا اینکه از ریشه‌های گیاهان باشند. یون آهن کمپلکس شده به نظر می‌رسد که فرم غالب آهنی که قابل دسترس برای جذب بوسیله گیاه است باشد (در خاک‌های یا زهکشی مناسب) غلظت آهن کمپلکس شده که برای رشد مناسب گیاه مورد نیاز است در حدود 10^{-2} تا 10^{-4} مول بر متر مکعب است که این میزان بسیار بیشتر از اندازه‌های آهن کمپلکس شده در محلول خاک است. بنابراین برای گیاهان لازم است که قابلیت در دسترس بودن آهن خاک را برای جذب افزایش دهند. علی‌رغم مقادیر کم آهن قابل دسترس خاک برای گیاه. گیاهان در جذب آهن از خاک موفق بوده‌اند و این مسئله هنگامی مستدل می‌شود که می‌بینیم گیاهان توانایی نگهداشتن میزان آهن بافتی بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک را دارند. فرایندهایی که گیاهان برای به انجام رساندن این هدف استفاده می‌کنند نقطه تمرکز بسیاری از تحقیقات در مورد تغذیه آهن در طی ۱۵ سال اخیر بوده است.

۱-۴ جذب آهن بوسیله گیاهان

به نظر می‌رسد که در جذب آهن گیاهان بصورت میانجی عمل کنند. آهن در مقادیر قابل توجه برای رشد گیاهان ولو اینکه ممکن است به راحتی قابل دسترس نباشد جذب گیاه می‌شود. گیاهان همچنین ممکن است عمل احیاء Fe^{3+} به Fe^{2+} را برای

کنترل جذب انجام دهند. همچنین گیاهان کمپلکس های Fe (III) را در سطح ریشه می کاهند و یونهای Fe^{2+} تولید شده از طریق این عمل احیاء ریشه ای و یا آنها از طریق ترکیباتی به نام سیدورفورها که لیگاندهای چند دانه ای آلی با وزن مولکولی کم هستند و توسط گیاه دفع می شوند و باعث محلول شدن Fe^{2+} می شوند این کار را انجام می دهند. بر اساس این دو راهکار گیاهان به دو رده تقسیم می شوند یکی آنهایی که با مکانیسم فیتوسیدروفور عمل می کنند و محدود به خانواده (paccade) grass هستند و دیگری آنهایی که مکانیسم احیاء Fe(III) را اعمال می کنند و شامل dicots و Monocots به غیر از (Poaceae) هستند.

۲-۴ تجمع آهن در گیاهان

آهن توسط گیاهان به صورت یون فرس جذب می گردد و با غلظت آهن کل که نوعاً از ۴ پی پی ام تا بیشتر از ۱۶ پی پی ام می باشد این غلظتها تقریباً معادل مقادیر بور، منگنز و روی گیاهان است یعنی گیاهان حاوی $16PPm >$ آهن هستند ولی نه به اندازه ای که آهن را به عنوان یک عنصر ماکرو به حساب بیاوریم همانطوری که توسط اسپکترومتری نشان داده شده است حالت عمده اکسیداسیون آهن در گیاهان شکل فریک آن است فرم فرس و Fe^{2+} آزاد باسیمت بیشتر معمولاً کمتر از مقدار کشف شده در گیاهان هستند، ولی می توانند در موقعیتهای ویژه به مقادیر بیشتر از ۲۰٪ کل آهن برسند. جذب آهن بوسیله ریشه های گیاه تا اندازه زیادی به نوک ریشه های در حال رشد فعال محدود می شود مقدار مقتضی آهن در گیاهان هم برای سلامتی گیاه و

هم برای فراهم کردن مواد مغذی انسان و حیوان مهم است. تفاوت‌های بین گیاهان در توانایی‌شان برای جذب آهن در گیاهان هم برای سلامتی گیاه و هم برای فراهم کردن مواد مغذی انسان و حیوان مهم است. تفاوت‌های بین گیاهان در توانایی‌شان برای جذب آهن همیشه پایدار نیست و بوسیله تغییر شرایط خاک و اقلیم و مرحله رشد گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. عموماً گونه‌های بخصوص همانند لگوم‌ها برای تجمع آهن بیشتر شان نسبت به grass ها شناخته شده‌اند. اگر چه هر کجا که آهن به راحتی محلول شود گیاهان ممکن است اندازه زیادی از آهن را جذب کنند. این مسئله آشکارا بوسیله گیاهانی که در خاک‌های مشتق شده از سر پنتین رشد می‌کنند نشان داده می‌شود، در جائی که grass حاوی آهن در حدود ۲۱۲۷ تا ۳۵۸۰ پی پی ام (وزن خشک) بود. نیازهای تغذیه‌ای حیوانات چرا کننده معمولاً به وسیله غلظت آهن از ۵۰ تا ۱۰ پی پی ام (وزن خشک) برطرف می‌گردد. قسمت‌های خوردنی سبزیجات به نظر می‌رسد که حاوی مقادیر کاملاً مشابه آهنی که از ۲۹ تا ۱۳۰ پی پی ام تغییر می‌کند باشند. با کاهو که در حد بالایی و پیاز که در حد پایینی قرار می‌گیرد. آهن در خاکستر یک وارپته از یک گونه گیاهی از ۲۲۰ تا ۱۲۰۰ پی پی ام غلظتش گزارش گردیده است.

دانه حبوبات مختلف در میزان غلظت‌های آهنشان تفاوت‌های چندانی ندارند. میانگین معمول مقدار آهن حبوبات مختلف از ۲۵ تا حدود ۸۰ پی پی ام وزن خشک تغییر می‌کند. مقادیر بیشتر از ۱۰۰ PPM فقط برای بعضی کشورها گزارش گردیده‌اند، با محاسبه نکردن مقادیر بیشتر از ۱۰۰ میانگین کل برابر ۴۸ PPM وزن خشک برای آهن

در دانه‌ها معین گردید. تقریباً ۸۰٪ آهن برگها در کلروپلاستها تجمع یافته‌اند. آهن در phloem در غلظتهای بیشتر از آنچه که در xylem است یافت می‌گردد. آهن به عنوان یک عنصر نسبتاً متحرک در گیاه در نظر گرفته می‌شود و نشان‌داده شده که از برگها به اندامهای دیگر منتقل می‌گردد. بر طبق مطالعات کم صورت گرفته بر روی شکل آهن در Phloem نشان داده شده که PH قلیایی Phloem تأثیر قابل توجهی در شکل کمپلکس آهن دارد. به علت اینکه یون Fe(III) به شدت در PH قلیایی غیرمحلول است این امکان وجود دارد که هم یون FeII و هم یون Fe(III) در Phloem وجود داشته باشند. در بافت گیاهان دو گروه اصلی پروتئین‌های حاوی آهن وجود دارند. پروتئینهای هم و پروتئینهای Fe-S. پروتئینهای هم شامل سیتوکرومهای متفاوتند که بوسیله کمپلکس هم و Fe-porphyrin به عنوان گروه Prostetic شناخته می‌شوند. سایر پروتئینهای هم سیتوکروم اکسیداز کاتالاز - پراکسیداز ولگ هموگلوبین هستند که در نودلهای ریشه لگومها وجود دارند. در پروتئینهای Fe-s آهن به گروه تیول سیستین یا به گروه غیرآلی (معدنی) به صورت خوشه و یا در هر دو حالت کئوردینانسه است. سایر پروتئینهای Fe-s در فرآیندهای متابولیک نقش ایفا می‌کنند همانند فتوسنتز، احیاء SO_4 و SO_3 ، تنفس، چرخه اسیدتری کربوکسیلیک و تثبیت N_2 . به علاوه در راستای نقشهای آهن در پروتئینهای هم و Fe-s آهن تعدادی از آنزیمها را شامل اسید آمینو لوولینیک سنتاز و کوپرو پورفیرین اکسیداز را فعال نموده در سنتز RNA نیز نقش ایفا می‌کند.

۵-۰ تأثیر آهن بر بی مهرگان خاک

بررسیهای مقدماتی انجام گرفته توسط محققان اطلاعات مشخصی را در مورد تأثیر سمیت آهن بر کرمهای خکی مشخص نمی نمود. (Ridd ۱۹۹۶) رشد کرم خاکی و تجمع زیستی پنج عضو (کادمیم، مس، آهن، سرب و روی) را در کرم خاکی (*Lumbricus terrestris*) در خاکهای تقویت نشده (بدون اضافه کردن کود) مورد ارزیابی قرار داد. زیاد شدن غلظت عنصر میکرو رشد کرم خاکی را کاهش می داد. تجمع زیستی با استمرار در معرض عنصر تست شده قرار گرفتن کرم خاکی و شرایط فیزیولوژیکی (همانند بلوغ و یا مرحله Cocoon) کرم خاکی در ارتباط بود.

همچنین محققین دیگر نیز اطلاعاتی را در مورد تأثیر سمیت آهن بر سایر بی مهرگان خاک فراهم نموده اند. در طی مطالعه ای تأثیر آهن در رژیم غذایی گونه (*orchesellidcinceta springtial*) مورد بررسی قرار گرفته است رژیم غذایی این گونه شامل جلبک سبز حاوی غظتهای مختلف آهن در ۲۱ روز بود. درصد رشد، فعالیت تغذیه ای و پوست انداختن این بی مهره تعیین گردیدند. رشد Spingtails، ۴۲٪ در رژیم غذایی حاوی ۷۵۳۳mg/kg آهن کاهش یافت و در رژیم غذایی حاوی mg/kg ۳۵۱۵ آهن تأثیر خاصی مشاهده نگردید.

۶-۰ اندازه گیری آهن خاک

برای نمونه خاک، آهن معمولاً با روش ICP بر اساس قراردادهای CLP و یا با روش SW-846 تعیین می گردد. روش Sw-846 شامل آماده کردن نمونه با استفاده از دو متد

3050 (هضم اسید) یا 3051 (موج میکرو همراه با هضم اسید) همراه با آنالیز بر اساس متدهای 7380 یا 7381 صورت می گیرد. در تمام موارد پارامتری که اندازه گیری می گردد آهن کل است. گونه زایی آهن معمولاً به عنوان قسمتی از بررسیهای مکن Base line مورد نیاز نیست. به غیر از زمانی که بر هم کنشهای ژئوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گیرند.

۱-۶ آهن کل

آهن کل در خاکها به علت اطلاعات مفیدی که راجع به تشخیص منشأ مواد مادری خاکها و همچنین هوازدگی فراهم می آورد مورد اندازه گیری است. همچنین به عنوان اساسی برای محاسبه ترکیب مینرالوژیکی نمونه بکار می رود. آهن کل خاک به عنوان اندازه گیری مستقیم سمیت به کار می رود اگر چه به نظر می رسد که بر پایه اطلاعات ارائه شده گذشته هیچ ارزشی برای ما نداشته باشد.

امکان اینکه غلظت آهن محلول خاک را به اندازه گیری آهن خاک همبسته نشان دهیم وجود ندارد در طی تحقیقی ۱٪ آهن کل خاک و آهن محلول خاک در نمونه های جمع آوری شده از زیر منطقه ریشه اندازه گیری شده و هیچ ارتباطی بین این دو غلظت مشاهده نگردید.

۲- آهن تبادلی

تحقیقات خاصی در این زمینه صورت نگرفته است.

۲-۶ آهن محلول

آهن محلول در فضاهای منفذی خاک یک پارامتر کارآمد برای ارزیابی پتانسیل سمیت و کمبود و همچنین تأثیرات آهن بر جوامع میکروفونی خاک است. افزایش آهن در آب منفذی خاک ممکن است به غالب شدن باکتریهای آهن در جوامع باکتریایی خاک منجر گردد. ضریب تقسیم آب خاک (K_d) برای آهن وابسته به PH است. گزارش گردیده که مقادیر (K_d) از $1/4$ تا 1000 لیتر بر کلیوگرم در PH های $4/5$ تا 9 متغیر است. متدهای پیشنهاد شده برای ارزیابی آلومینیم خاک می توانند برای ارزیابی آهن محلول نیز مورد استفاده قرار گیرند. البته اگر گونه‌زایی آهن دخالت داده نشود. این تکنیکها شامل نمونه برداری در محل با لیسیمتر، جایگزینی قابل امتزاج خاکها در ستونهای آرایشی یافته، سانتریفیوژ با یا بدون مایع سنگین غیر قابل امتزاج با آب، و فیلتر کردن نمونه های محلول خاک با یک فیلتر غشایی گرچه اندازه حفر $0/45$ میکرومتر جا کمتر است.

۰-۷ بر هم کنشهای آهن و سایر عناصر

روابط آنتاگونیستی ما بین آهن و فلزات سنگین در گیاهان مختلف مشاهده گردیده است و نتایج مطالعات اخیر پیشنهاد می کند که کلروز ناشی از زیادی فلزات سنگین ظاهراً نتیجه‌ای از کمبود آهن است. مقادیر اضافی از فلزات سنگین و منگنز و نیکل و مخصوصاً کوبالت منجر به کاهش جذب و جابه جایی آهن و همچنین کاهش کلروفیل می گردد. از طرف دیگر مقایر زیاد ترکیبات آهن در خاک علت مهم کمبود جذب

میکرو مغذی ها می باشد. واکنش بین آهن و منگنز معمولاً مشاهده شده و به نظر می رسد که نسبت این دو عنصر در محیط کشت در متابولیسم گیاه بسیار مهم تر از غلظت این دو عنصر می باشد. اگر چه آهن خود به تنهایی سمیت قابل توجهی ندارد ولی این سمیت در محیط به علت روابط با فلزات دیگر که آنها سمی هستند معنی دارد می گردد. اکسیدهای آهن بسیاری از عناصر را جذب کرده و در رقیق کردن بسیاری از فلزات سنگین و میکرو مغذیها شرکت دارند در خاک و رسوباتی که شرایط کاهنده قوی حاکم نیست جذب بوسیله اکسیدهای آهن جامد یکی از مهمترین کنترلها بر روی مزاحمت عناصر میکرو مغذی است اگر اکسیدها بویله عمل احیاء قابل حل گردند ممکن است، فلزات آزاد شده و وارد فاز محلول شوند. یا ممکن است به شکل دیگری مثل سولفید ته نشین شوند.

شکل نیتروژن به کاربرده شده نیز ممکن است قابلیت استفاده آهن خاک را تحت تأثیر قرار دهد. افزایش جذب نیتروژن به صورت NO_3 ($\text{NO}_3 - \text{N}$) ممکن است سبب عدم تعادل در نسبت کاتیون به آنیون گردد و منجر به ترشح HCO_3 به ریزوسفر به همراه کاهش بعدی در جذب آهن گردد.

از طرف دیگر غلظت زیاد آهن باعث کمبود فسفات می گردد. نسبت فسفر به آهن در گیاه برای سلامتی گیاه بسیار مهم است. کمبود پتاسیم نیز اغلب با کمبود آهن ارتباط دارد. به علت اینکه گیاهان قابلیت اکسید کردن Fe^{2+} به Fe^{3+} را ندارند. اثر آنتاگونیستی کلیسم بر آهن هم در محیط کشت و هم در متابولیسم درون یاخته ای بسیار

پیچیده است. سایر روابط متقابل بین آهن و میکرو مغذیها به خوبی فهمیده نشده‌اند. بنابراین کلروز آهن در گیاهان در خاکهای آهنی ممکن است که واکنشی به کمبود قابلیت آهن در این گونه خاکها به علت وجود دخالت‌های متابولیک کلسیم بر آهن باشد. به نظر می‌رسد که روابط متقابل آهن و گوگرد بسیار متفاوت باشد و اندازه‌های کم سولفور خاک جذب آهن را تحت تأثیر قرار دهد. اما در غلظتهای زیاد سولفور بسته به محیط خاک ممکن است منتج به قابلیت دسترسی کم آهن گردد. اکسیدهای آهن سایر عناصر را جذب کرده و تشکیل هم رسوبها را می‌دهند عناصری مانند (روی، سرب، منگنز، نیکل، مس، کوبالت، کروم). و در حقیقت یکی از موثرترین فاکتورهای کنترلی بر انتشار فلزات تحت شرایط غیر احیاء می‌باشند. اگر اکسیدهای آهن تحت شرایط احیایی حل شوند، فلزات جذب شده به شکلهایی که به سهولت قابل استفاده باشند درآمده و در فاز محلول قابل استفاده می‌گردند استفاده آسان فلزات از آهن همچنین می‌تواند به واسطه اعمال باکتریها باشند. نشان داده شده که پنج فلز سنگین، کادمیم، روی، سرب، نیکل، کروم) از اکسید آهن goethite به وسیله باکتریهای غیرهوازی تثبیت کننده آهن قابل حل گردیدند. همچنین اشاره گردیده که انحلال فلزات در نتیجه کاهش میکروبی، با نوع فلز تغییر می‌نماید. مثلاً کادمیم و روی بسیار بیشتر قبل استفاده گردیدند، هنگامیکه رسوبات همزمان با اکسید آهن آزمایش گردید. مکانیسم این عمل کاهش بیوشیمیایی آهن است که منتج به آزاد شدن فلزات می‌گردد هم Fe^{2+} و هم Fe^{3+} به آسانی با سیانید تشکیل کمپلکس می‌دهند.

فهمیده شده که $\text{No}_3 - \text{N}$ با افزایش تولید ماده خشک در کشت سویای Hawkeye که نسبت به جذب آهن کارآمد می‌باشد در ارتباط است در حالی که برای کشت 203-T که گونه‌ای ناکارآمد نسبت به جذب آهن می‌باشد افزایش $\text{No}_3 - \text{N}$ نتیجه‌ای عکس داشت.

مقدار زیاد فسفر خاک شاید باعث کاهش در غلظت آهن گیاه گردد گزارش گردیده که هنگامی که فسفر از ریزوسفر تخلیه گردید ریشه ذرت توانایی جذب آهن از $\text{Fe}(\text{OH})_3$ را بدون کاهش در PH و پتانسیل اکسیداسیون و اجراء پیدا کردن این تخلیه از فسفر می‌تواند بعضی از گونه‌های ناکارآمد نسبت به جذب آهن را قادر سازد که از ترکیبات Fe^{3+} معدنی استفاده نمایند. کمبود Zn جذب آهن را در بعضی گونه‌های گیاهی افزایش داده و در بعضی اوقات تا یک حد سمی می‌رساند گزارش گردیده که هنگامی که PH خاک نمونه بوسیله افزایش آهک از ۵/۲ به ۷/۱ افزایش یافت، گیاه پنبه دچار کمبود روی گردید و همچنین تجمع مقادیر زیادتری از آهن را نشان داد. کشف گردیده که بکار بردن روی غلظت آهن را در ریشه‌ها و جوانه‌های آهن کاهش می‌دهد این کاهش غلظت در جوانه‌ها در نتیجه اثر رقیق شدن یا کاهش سرعت جابجایی آهن را در ریشه‌ها و جوانه‌های آهن کاهش می‌دهد این کاهش غلظت در جوانه‌ها در نتیجه اثر رقیق شدن یا کاهش سرعت در جا به جایی آهن از ریشه به اندامهای بالایی نیست. روابط متقابل آهن و منگنز به صورت گسترده‌ای مطالعه گردیده ولی به خوبی فهمیده نشده است. اهمیت این روابط متقابل از زمان به

کار بردن Mn EDTA برای برطرف کردن کمبود Mn در لوبیا آشکار گردید. ظاهراً به

علت تشکیل لیگماندها قابلیت آهن خاک افزایشی یافت اخیراً پیشنهاد گردیده که:

۱- آهن مانع جذب منگنز می گردد.

۲- منگنز، Fe^{2+} گیاهان را کاهش داده و تأثیر منفی بر متابولیسم آهن می گذارد به

اثبات رسیده که جابه جایی آهن در برنج از ریشه به جوانه در غلظتها دی زیاد Mn

دچار اشکال گردیده است هنگامی که Coating در سطح ریشه اتفاق می افتد و با

افزایش غلظت Mn تشدید می گردد قسمتی از کاهش غلظت آهن در جوانه ها به

تشکیل اکسیدهای منگنز نامحلول بر روی ریشه ها نسبت داده می شود گوجه فرنگی

کارآمد نسبت به جذب آهن و سویای زراعی قادر به عکس العمل نشان دادن به فشار

ناشی از کمبود آهن هنگامی که k در محلول غذایی نبود نمی باشند. عکس العمل نشان

ندادن نسبت به فشار ناشی از کمبود آهن در غیاب پتاسیم منتج به کاهش آهن برگ و

کلروز بیشتر در هر دو گونه گردید. به نظر می رسد پتاسیم نقش بسیار خاصی را برای

ماکزیمم بهره گیری از آهن در گیاه دارد، همچنین کاهش جذب آهن در افزایش میزان

مولیبدن گزارش گردیده است. روابط متقابل ممکن است در خاکهای آهنکی که قابلیت

آهن کم و MoO_4^{-2} محلول بالا باشد اهمیت خود را نشان دهد. پیشنهاد گردیده که

روابط متقابل آهن و روی ظاهراً با ته نشین گردیدن فرانکلینیت ($ZnFe_2O_4$) که

قابلیت هر دو فلز آهن و روی را تحت فشار قرار می دهد. ارتباط دارد. واکنشهای

متقابل آهن و فسفات معمولاً هم در محیط خاک و هم در متابولیسم گیاه وجود دارد.

میل ترکیبی بین Fe^{3+} یون H_2Po_4 بسیار زیاد است و بنابراین رسوب $FePo \times 2 H_2O$ می تواند به آسانی تشکیل شده (تحت شرایط مستعد). بعلاوه آنیون فسفات با گیاهان برای جذب آهن رقابت می نماید و بنابراین فسفات ما بر جذب آهن و همچنین مانع حمل و نقل داخلی آهن در گیاهان می گردد.

Ferricyanid یا $Fe(CN)$ می تواند در حضور نور تجزیه گریده و سیانید آزاد از آن حاصل گردد. تجزیه Ferrocyanic همچنین منتج به افزایشی PH خاک می گردد. کمپلکسهای سیانید آهن از نظر آلودگی نگرانیهایی را به وجود می آورند. مکانهای گیاهی که سازنده گاز هستند هنگامی که باقیمانده فرآیند گازی شدنشان فریسیانید باشد مشکل زا هستند اگر چه با توجه به فرآیند رقیق شدن نور در خاکها محتمل نیست که این فرآیند یک فرآیند قابل توجه برای خاکهای که با این کمپلکسها آلوده شده اند. تا زمانی که این آلودگی بسیار به سطح زمین نزدیک گردد. همچنین برقراری محسوس جذب بعضی از فلزات سنگین مانند کادمیم به وسیله گیاهانی که در خاکهای دچار کمبود آهن رشد نموده اند گزارش گردیده در هنگام استفاده از گیاه جوان نخود محققان توانستند نشان دهند که مکانیسم حمل و نقل آهن برقرار گردید و این زمانی بود که گیاهان تحت شرایط کمبود آهن رشد نمودند. و منتج به افزایشی در جذب کادمیوم توسط گیاه جوان گردید.

**جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید**

اگر چه این نتایج فقط در شرایط آزمایشگاه بدست آمده ولی این پدیده‌ها می‌تواند در

مناطق با خاکهای آهکی مهم باشد نویسندگان پیشنهاد کرده‌اند که ممکن است این

مکانیسم در گیاه درمانی نیز موثر باشد.

www.kandoo.cn.com
www.kandoo.cn.com
www.kandoo.cn.com

۸-۰ بحث و نتیجه گیری

نظر به اهمیت فوق العاده عناصر میکرومغذی بخصوص عنصر آهن برای گیاهان و کمبود اغلب این عناصر در خاکهای آهکی که قسمت عمده خاکهای کشورمان را تشکیل داده‌اند. بررسی چرخه این عناصر در خاک و گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عنصر آهن از عنصری است که عوامل گوناگونی بر میزان دسترسی و حلالیت آنها تأثیر گذارند که Eh و PH سیستم از جمله این عواملند که پیشنهاد می‌گردد برای بررسی پتانسیل کمبود یا سمیت آهن در خاکها و برای گیاهان Eh و PH خاک هر دو اندازه‌گیری گردند. همچنین با توجه به ژئوشیمی خاص این عنصر که باعث عدم حلالیت این عنصر و کاهش قابلیت این عنصر می‌گردد (در خاکهای با تهویه خوب و PH) بالا ممکن است که در خاکهای آهکی اضافه کردن کودهای شیمیایی به خاک مؤثر واقع نگردد که در این موارد بهتر است از ترفندهای دیگری برای رساندن این عنصر به خاک استفاده کرد. قابل ذکر است که بعضی گیاهان با مکانیسمهای مختلفی توانایی جذب آهن از خاک را برای خود بالا می‌برند که تحقیق و بررسی این گیاهان و چگونگی اعمال این مکانیسمها قابلیت جذب تحقیقات گسترده‌ای را دارد.