

بیماری کلروسیس و کلات‌کننده‌های سیدروفوری و شیمیایی آهن

علی برادر^{1*}، روح اله صابری ریسه²، ابراهیم صداقتی²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد بیماری‌شناسی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر^(عج)

2- استادیار گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر^(عج)

Eng.baradar@gmail.com

کرمان-رفسنجان- دانشگاه ولی‌عصر(عج)، دانشکده کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی

تلفن تماس: 09143526620

خلاصه

گیاه آهن مورد نیاز خود را از طریق خاک جذب می‌کند و اگر به عللی کمبودی در میزان آهن مورد نیاز گیاه به‌وجود آید، برگ‌های آن زرد و سپس سفید می‌شوند و به اصطلاح گیاه به بیماری "کلروسیس" مبتلا می‌گردد. پایین بودن آهن در دسترس در خاک‌های آهکی و قلیایی، تولید و کارایی گیاه را در سراسر دنیا محدود می‌کند. یکی از علل کمبود آهن برای جذب به گیاه، این است که ترکیب‌های محلول آهن به صورت فسفات‌ها و اکسیدها در خاک‌های قلیایی، مانند بیشتر خاک‌های کشاورزی در ایران تثبیت شده‌اند و گیاه قادر به استفاده از آن‌ها نیست. بهترین راه مقابله با این کمبود، افزایش "کلات‌ها" به صورت کودهای شیمیایی کلاته به زمین اطراف گیاه و یا پاشیدن محلول آن‌ها مستقیماً به برگ، برای جذب آهن مورد نیاز در گیاه است. در دسترس بودن آهن برای گیاهان می‌تواند با عوامل کلات‌کننده‌ی مصنوعی مانند EDTA و EDDHA افزایش یابد. سیدروفورهای میکروبی نیز نقش مهمی را در جذب آهن به‌وسیله‌ی گیاه دارند. همچنین تجزیه‌ی سیدروفورها ممکن است به دلیل پایداری بالای آن‌ها، پایین باشد، آن‌ها ممکن است غلظت آهن را در ریزوسفر برای تجزیه‌ی بعدی افزایش دهند.

واژگان کلیدی: آهن، کلروسیس، کلات‌کننده، سیدروفور

مقدمه

آهن عنصر بسیار مفیدی برای رشد نباتات است، زیرا که در عمل تنفس، فتوسنتز، اکسایش و کاهش ترکیب‌های نیتراته و سولفات‌ها در گیاهان نقش حیاتی دارد. گیاه آهن مورد نیاز خود را از طریق خاک جذب می‌کند و اگر به عللی کمبودی در میزان آهن مورد نیاز گیاه به‌وجود آید، برگ‌های آن زرد و سپس سفید می‌شوند و به اصطلاح گیاه به بیماری "کلروسیس" مبتلا می‌گردد. یکی از علل کمبود آهن برای جذب به گیاه، این است که ترکیب‌های محلول آهن به صورت فسفات‌ها و اکسیدها در خاک‌های قلیایی، مانند بیشتر خاک‌های کشاورزی در ایران تثبیت شده‌اند و گیاه قادر به استفاده از آن‌ها نیست. بهترین راه مقابله با این کمبود، افزایش "کلات‌ها" به صورت کودهای شیمیایی کلاته به زمین اطراف گیاه و یا پاشیدن محلول آن‌ها مستقیماً به برگ، برای جذب آهن مورد نیاز در گیاه است. عبارت عوامل کلات‌کننده از کلمه یونانی «chela» به معنی چنگال خرچنگ مشتق شده است، رایج‌ترین عوامل کلات‌کننده‌ی استفاده شده در اروپا در سال 1999، EDTA (ethylenediamine tetra acetic acid) و EDDHA هستند (Knepper, 2003). در بررسی‌های انجام گرفته مشخص شده است که خاک‌های ایران ماهیت قلیایی دارند ($pH \approx 8$) (خاک‌های ایران، 1358)، زیرا مقدار زیادی املاح به صورت آهک و غیره در آن‌ها موجود است و از این رو لازم است از میکروالمنت ویژه‌ای که در این نوع خاک‌ها رسوب نشده و به راحتی جذب گیاه می‌شوند، استفاده کرد. یکی از مناسب‌ترین میکروالمنت‌هایی که از آن برای رفع کمبود آهن گیاهان در ایران استفاده می‌شود، کمپلکس (EDDHA)Fe(III) است که به عنوان ماده اصلی کود آهن "سیکوسترین 138"، که فراورده‌ای وارداتی است، به شمار می‌رود. این ماده برعکس (Fe-EDTA) که در محیط‌های قلیایی ناپایدار است، در این‌گونه محیط‌ها پایدار بوده و تجزیه نمی‌شود و همچنین فلزهای موجود در خاک‌های آهک‌دار به آسانی توانایی جایگزینی با آهن این کلات را ندارند (کیان‌پور راد، 1380).

میزان آهن و حلالیت آن در خاک

میانگین غلظت آهن در سطوح خاک، 3/5 درصد است (Chesworth and Luxmoore, 1991). آهن چهارمین عنصر پوسته‌ی زمین بعد از اکسیژن، سیلیس و آلومینیوم است. به رغم فراوانی آهن در خاک‌ها، کمبود آهن به‌دلیل پایین بودن حلالیت آن، رشد گیاهان را محدود کرده است. حلالیت آهن شدیداً وابسته به pH خاک است. فعالیت Fe^{3+} به ازای هر واحد افزایش در pH خاک، هزار برابر کاهش می‌یابد، حال آنکه کمترین حلالیت آن در pH با دامنه‌ی 7/4 تا 8/5 است. بنابراین کمبود آهن بزرگترین مشکل در خاک‌های قلیایی و آهکی است. بررسی‌ها نشان داده است که خاک‌های قلیایی، حدود 30 درصد خاک‌های زمین را شامل می‌شوند و بنابراین خاک‌های زمین‌های کشاورزی مستعد کمبود آهن می‌باشند (Vose, 1982).

فاکتورهای محیطی مؤثر در جذب آهن

عوامل اصلی کمبود آهن، pH بالا و همچنین غلظت بالای بی‌کربنات خاک می‌باشند (Lucena, 2000)، که از طریق محدود کردن جذب آهن و انتقال آن به ساقه (Nikolic et al., 2000) یا به‌وسیله‌ی غیر فعال کردن آهن داخل برگ‌ها و ممانعت از انتقال آهن از آپوپلاست به سیمپلاست موجب کمبود آهن در خاک می‌شوند. عواملی مانند رطوبت بالای خاک و فشرده سازی که غلظت بی‌کربنات خاک را افزایش می‌دهند، ممکن است وقوع کمبود آهن را افزایش دهند (Gruber and Kosegarten, 2002). با این حال پیشنهاد شده است که حلالیت پایین آهن در خاک‌های آهکی، دلیل اصلی کمبود آهن در گیاه

نیست، بلکه دلیل اصلی براساس حرکت آهن از آپوپلاست ریشه به سیمپلاست می‌باشد. بنابراین جذب آهن، به رشد ریشه وابسته است و رشد نامطلوب آن ممکن است جذب آهن را کاهش دهد (Kosegarten and Koyro, 2001).

استراتژی گیاه برای جذب آهن

حداقل غلظت مورد نیاز از آهن محلول در محلول خاک برای گیاه، حدود 10^{-5} M است (Lindsay, 1984). بدون هرگونه عوامل اصلاح کننده ریشه، کمبود آهن می‌تواند حتی در $pH=5$ نیز اتفاق افتد. به‌همین منظور، در گیاهان، مکانیسم‌هایی برای افزایش آهن در دسترس توسعه یافته است. این مکانیسم‌ها می‌توانند اختصاصی و غیراختصاصی باشند. مکانیسم‌های اختصاصی به‌وضعیت تغذیه‌ای آهن در گیاه بستگی دارد. پیشنهاد شده است که واکنش‌های کنترلی کمبود آهن در ریشه‌ها می‌تواند، از طریق سیگنال‌های ساقه به ریشه، نظیر غلظت آهن فلوئم، سیگنال رشدی ساقه، اکسین، اتیلن یا NO جایگزین شود (Murgia et al., 2002).

مکانیسم‌های غیر اختصاصی

مکانیسم‌های غیر اختصاصی برای افزایش آهن در دسترس، تغذیه‌های اسیدی (آنیون‌کاتیون)، بیان اسیدهای آلی و دیگر باندهای Carbon photosynthetically را از ریشه‌ها را جذب می‌کنند. مغذی‌های اصلی که در تعادل جذب کاتیون/آنیون مؤثر هستند، NH_4^+ و NO_3^- ، فرم تغذیه‌ای پتاسیم و وضعیت تغذیه‌ای فسفر در گیاه می‌باشند. تفاوت‌های ژنوتیپی نیز در تغییرات رشدی ریشه در ریزوسفر مؤثر هستند. بر اساس مطالعات انجام گرفته، مشخص شده است که در اثر ترشحات ریشه‌ی شبدر قرمز به‌علت کمبود آهن، جمعیت میکروبی، به‌طور انتخابی، جذب آهن را با تولید سیدروفورها و اکسین افزایش داده‌اند. سیدروفورهای میکروبی ممکن است نقش مهمی را در جذب آهن به‌وسیله‌ی گیاه داشته باشند. همچنین تجزیه‌ی سیدروفورها ممکن است به دلیل پایداری بالای آن‌ها، پایین باشد، آن‌ها ممکن است غلظت آهن را در ریزوسفر برای تجزیه‌ی بعدی افزایش دهند (Jin et al., 2006).

مکانیسم‌های اختصاصی

گیاهان دو نوع استراتژی مختلف را برای جذب آهن ایجاد کرده‌اند؛ استراتژی I و II.

استراتژی I به‌وسیله غیر گرامینه‌های تک لپه و دو لپه و استراتژی II به‌وسیله گرامینه‌های تک لپه، بعد از استرس ناشی از کمبود آهن افزایش می‌یابند. استراتژی I، Fe^{3+} را به Fe^{2+} جهت جذب ریشه‌ها، احیاء می‌کند. ریشه‌ها در اثر استراتژی I، تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی متحمل می‌شوند، علاوه بر آن احیاء Fe^{3+} افزایش می‌یابد. مشخص شده است که واکنش‌های کمبود آهن، قبل از ایجاد علائم قابل مشاهده کمبود آهن، جایگزین می‌شوند. مکانیسم استراتژی II برای جذب آهن از مکانیسم استراتژی I مؤثرتر در نظر گرفته شده است. مکانیسم استراتژی II جذب آهن، حساسیت کمتری در برابر PH و غلظت بالای بی‌کربنات خاک نسبت به مکانیسم استراتژی II جذب آهن دارد. گیاهان با استراتژی II، در محیط‌های آهکی سازگاری بیشتری یافته‌اند. مکانیسم استراتژی II، شامل آزاد کردن فیتوسیدروفورهایی می‌شود که درواقع کلاتورهایی هستند که پیوستگی بالایی با $Fe(III)$ دارند و به‌طور مؤثر ترکیبات $Fe(III)$ غیرآلی محلول، تشکیل فیتوسیدروفورهای $Fe(III)$ را می‌نمایند. فیتوسیدروفورها به عنوان آمینواسیدهای غیر پروتونی مانند mugineic avenic مشخص شده‌اند. متیونین به عنوان یکی از فیتوسیدروفورهای پیشرو پیشنهاد شده است. جذب فیتوسیدروفورهای $Fe(III)$ به ریشه، از طریق یک انتقال دهنده‌ی اختصاصی که در غشای پلاسمایی ریشه‌ها قرار دارد انجام می‌شود. انتشار فیتوسیدروفورها تحت شرایط کمبود آهن ممکن است تا 20 برابر افزایش یابد، و پیشنهاد شده است که انتشار فیتوسیدروفورها و همچنین جذب کمپلکس‌های فیتوسیدروفور $Fe(III)$ ، در نواحی نوک ریشه‌ها جایگزین می‌شود (Curie and Briat, 2003).

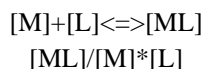
کمبود آهن در گیاهان

از مشخص‌ترین نشانه‌های قابل مشاهده‌ی کمبود آهن، زردی برگ‌های جوان و کم‌رشدی برگ‌ها می‌باشد (Kosegarten et al., 1998). کلروسیس با کاهش بیوسنتز Protochlorophyllide و δ -aminolevulinic، که پیش ماده‌های مولکول‌های کلروفیل هستند، ایجاد می‌شود. زردی برگ‌ها در یک محیط آهکی، برای اولین بار توسط Gries در سال 1843 به آهن ارتباط داده شد (Wallace, 1982). کلروسیس در ناحیه‌ی بین‌رگبرگ‌ها رخ می‌دهد، در حالی که رگبرگ‌ها سبز باقی می‌مانند. احتمال داده می‌شود که در برگ‌های دچار کمبود آهن، آهن ترجیحاً در رگبرگ‌ها قرار گرفته باشد (Jiménez et al., 2009).

عوامل کلات‌کننده در تغذیه‌ی گیاهان

طیف گسترده‌ای از کاربردهای مختلف برای عوامل کلات‌کننده تعریف شده است، به عنوان مثال در شوینده‌ها، تصفیه‌ی آب، شیمی کشاورزی، صنعت کاغذ، عکاسی، الکترونیک، پزشکی، مواد غذایی و در رفع آلودگی از نیروگاه‌های هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌دلیل حلالیت کم آهن در محیط آهکی، عوامل کلات‌کننده‌ی مصنوعی برای حفظ آهن در یک فرم قابل دسترس برای گیاه، استفاده می‌شوند. قبل از اختراع عوامل کلات‌کننده‌ی مصنوعی، ترکیبات آلی مانند سیترات و تارتارات، برای افزایش حلالیت آهن در محلول‌های قلیایی مورد استفاده قرار می‌گرفتند (Reed and Haas, 1924). قدمت استفاده از عوامل کلات‌کننده‌ی مصنوعی در تغذیه‌ی گیاهان به سال 1950 بر می‌گردد، زمانی که FeEDTA برای اولین بار استفاده شد (Jacobson, 1951) و

EDDHA سنتز گردید (Kroll *et al.*, 1957). EDTA آهن را به شکل محلول در حد متوسط خاک، یعنی نزدیک به حالت خنثی نگه می‌دارد، در حالی که EDDHA آهن را به فرم محلول در رنج گسترده‌ای از PH یعنی 4-9 نگه می‌دارد. ثابت‌های پایداری کلاتها (log K) برای بیان کارایی آن‌ها در نگه‌داری فلزات کمپلکس شده:



M = غلظت فلز

L = غلظت لیگاند

ML = غلظت کلات

ثابت‌های پایداری بر اساس تعادل ترمودینامیکی هستند و توزیع کمپلکس‌های مختلف فلز - لیگاند، تابع ثابت پایداری و غلظت فلزات آزاد است. بنابراین یک محیط آهکی با غلظت بالای Ca^{2+} در مقابل غلظت پایین آهن محلول، برای تشکیل CaEDTA به جای FeEDTA، مطلوب می‌باشد، هرچند ثابت پایداری CaEDTA (logK = 11.6) کمتر از FeEDTA (logk = 26.5) است. ثابت پایداری در خاک‌های آهکی، قادر به پیش بینی غلظت عناصر کم مصرف کلات‌شده در محلول خاک نیست. در خاک‌هایی با فرآیندهای پایین مبادله‌ی عناصر، روند عوامل کلات‌کننده ممکن است در تولید فلزات در محلول خاک اثر بگذارد (Nowack, 2002).

استفاده از کلات‌های آهن به وسیله گیاه

گیاهان با مکانیسم استراتژی I، کلات Fe^{3+} را احیاء می‌کنند و جذب Fe^{3+} پس از پاشش کلات انجام می‌شود، در حالی که در گیاهان با استراتژی II، جهت جذب فیتوسیدروفورهای آهن، قادر به استفاده از کلات‌های قوی مانند FeEDDHA نیستند. با این حال کلات‌های با پایداری کمتر ممکن است محتوای آهن آپوپلاست را بعد از پاشش افزایش دهند و فیتوسیدروفورها ممکن است کمپلکس فیتوسیدروفور - Fe (III) را برای جذب به وسیله ریشه‌ها تشکیل دهند. میزان احیاء آهن از کلات‌های آهن در گیاهان با استراتژی I، زمانی که پایداری کلات‌های آهن افزایش می‌یابد، ممکن است کم شود. برگ‌ها به خوبی قادر به احیاء کلات‌های آهن پاشیده شده هستند. توانایی برگ‌ها برای احیاء کلات‌های آهن پاشیده شده، به وسیله کمبود آهن افزایش نمی‌یابد، بلکه با شدت نور، افزایش می‌یابد. بعد از پاشش کلات‌ها، لیگاند‌های کمپلکس با آهن یا دیگر عناصر موجود در خاک، آزاد می‌شوند. این فرایند ممکن است تا زمانی که لیگاند جذب، آبشویی یا تجزیه زیستی می‌شود، مواد غذایی را برای گیاه فراهم آورد. به احتمال زیاد ممکن است کلات‌های سالم و استفاده نشده، از طریق مسیرهای غیر انتخابی، حتی با شکست داخلی‌ترین بافت‌های پوسته‌ی ریشه و ساقه به وسیله گیاه جذب شوند (Lucena, 2003). جذب کمپلکس EDTA- فلز، ممکن است به وسیله مولکول‌ها نیز تحت تأثیر قرار گیرد (Bell *et al.*, 2003). کاربرد کلات‌های آهن در خاک، در محدوده‌ی 2/ - 0/5 گزارش شده است. حدود 1/ از آهن احیاء شده، به وسیله FCR جذب گردیده و به ساقه انتقال می‌یابد (Chaney 2007). بر خلاف استفاده‌ی خاکی، استفاده از محلول غیر آلی آهن در مقایسه با کلات آهن اعمال می‌شود (Álvarez-Fernández *et al.*, 2004). محلول‌پاشی برگ‌ها با اسپری‌های اسیدی، باعث کلروز آهن شده و در منابع آهن برگ‌ها، اثر می‌گذارد (Kosegarten *et al.*, 2001).

واکنش‌های عوامل کلات‌کننده در خاک

هیدرولیز آهن پس از پاشش کلات‌ها، می‌تواند از طریق FCR یا لیگاند‌های آزاد، با عوامل آهن از محلول خاک کمپلکس شود یا آن‌ها می‌توانند حلالیت آهن را از طریق انحلال یا پروتونه کردن، از فاز جامد خاک افزایش دهند. انحلال اکسیدهای Fe(III)، «Ligand-Promoted dissolution» نامیده می‌شود و EDTA کمپلکس نشده، حلالیت آهن را سریعتر از EDTA کمپلکس شده با یون‌های فلزی، افزایش می‌دهد. کمپلکس فلزات توسط لیگاند‌های آزاد تحت تأثیر عواملی چون: پایداری کلات، PH خاک، وضعیت اکسیداتیو، مقدار ماده آلی، تبادل کلسیم و جذب لیگاند به خاک، قرار می‌گیرد. جذب لیگاند‌ها در فاز جامد، توسط نوع عوامل کلات‌کننده، PH، زمان، غلظت خاک و بافت خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از میان انواع لیگاند‌ها، EDTA در خاک بیشتر از EDDHA جذب می‌شود. جذب کلات‌ها نیز توسط فلز کمپلکس شده، تحت تأثیر قرار می‌گیرد و همچنین؛ FeEDTA بیشتر از CaEDTA جذب می‌شود و ZnEDTA کمترین میزان جذب را دارد. FeEDDHA پایدارترین کلات است و جذب آن، به‌خصوص در خاک‌های آهکی پایین است. ثابت تفکیک برای چهار گروه کربوکسیلیک از EDTA:

$K_1=1.02*10^{-2}$, $K_2=2.14*10^{-3}$, $K_3=6.92*10^{-7}$, $K_4=5.5*10^{-11}$ هستند. بنابراین در یک دامنه‌ی PH از خاک‌های کشاورزی، EDTA آزاد یا گونه‌های EDTA فلزی در یک فرم آنیونی هستند و جذب EDTA با PH خاک رابطه‌ی منفی دارد. جذب EDTA در اکسیدهای Fe(III) به صورت لیگاند‌های زیر است؛

یک کمپلکس دو هسته‌ای که در مقادیر پایین PH و یک کمپلکس تک هسته‌ای در مقادیر بالای PH، تشکیل شده‌اند (Nowack and Sigg, 1996).

تأثیر کلات ها روی جذب عناصر

اثرات زراعی یک کلات، بر اساس چهار فاکتور زیر تعریف شده است (Lucena, 2003):

- 1) توانایی حفظ آهن در فرم محلول در خاک و کلات آهن موجود برای جذب گیاه.
- 2) تمایل کم برای کاتیون‌های دیگر، یعنی کاتیون‌های محلول دیگر نباید جایگزین Fe در کلات شوند.
- 3) توانایی گیاه به استفاده از آهن کمپلکس شده.
- 4) جذب پایین به خاک و مقاومت در برابر تجزیه.

پس از پاشش کلات‌ها، لیگاند‌های آزاد می‌توانند به سایر عناصر کمپلکس شوند و به عنوان یک رابط بین خاک و گیاه، عناصر کمپلکس شده را برای گیاه فراهم کنند. اگرچه اثرات کلات آهن در جذب آهن، به شدت مورد بررسی قرار گرفته است، اما اثرات لیگاندها روی جذب عناصر دیگر به ندرت مورد بررسی قرار گرفته‌اند، به‌خصوص در سطوح مورد استفاده برای اصلاح کمبود مواد مغذی. یکی از بیشترین مطالعات انجام گرفته، در خصوص اثرات کلات آهن در جذب مواد مغذی می‌باشد، که نتایج نشان داده است: غلظت Mn پس از کاربرد FeEDDHA، کاهش می‌یابد، تصور بر این است که این تأثیر به علت بهبود تغذیه آهن در گیاهان می‌باشد. همچنین FeEDDHA، غلظت Zn را به میزان کمتر از Ca, Mg, K کاهش می‌دهد، اما میزان فسفر را در کتان افزایش می‌دهد. در مطالعات Phytoremediation، در اغلب موارد، لیگاندها برای افزایش حلالیت فلزات سنگین مثل Cu, Zn, Cd, Pb و یا Ni در خاک‌ها و متعاقباً جذب آنها توسط گیاهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، میزان استفاده از لیگاندها در این مطالعات، بیشتر از آن مقداری است که به جهت کمبود مواد غذایی و خاک‌هایی که اغلب با فلزات سنگین آلوده شده‌اند، می‌باشد. اصطلاح کمبود آهن عمدتاً برای خاک‌های قلیایی و آهکی به کار می‌رود، در حالی که مطالعات phytoremediation، بیشتر در خاک‌هایی با اسیدیته متوسط انجام می‌شود، بنابراین استفاده از نتایج آنها، محدود به محیط‌های آهکی می‌شود. لیگاند رایج در مطالعات Phytoremediation، EDTA است که برای افزایش حلالیت، جذب و آبشویی فلزات سنگین از خاک‌های آلوده، مشخص شده است (Meers *et al.*, 2005). اگرچه لیگاندها حلالیت فلزات سنگین و جذب آنها را به ریشه افزایش می‌دهند، اما تأثیر آنها در انتقال از ریشه‌ها به ساقه‌ها به‌طور قابل توجهی کمتر است (Ghasemi-Fasaei *et al.*, 2002).

سیدروفور

سیدروفورها مواد کلات‌کننده‌ی آهن سه ظرفیتی با وزن مولکولی کم (۵۰۰ تا ۱۰۰۰ دالتون) هستند که تحت شرایط کمبود آهن، تولید شده و با یون آهن، کمپلکس تشکیل می‌دهند. این کمپلکس به وسیله‌ی پروتئین‌های گیرنده در غشای سلول باکتری به‌طور اختصاصی شناسایی و جذب می‌گردد، در نتیجه آهن را از دسترس بیمارگر خاکزی خارج می‌کند و محیطی را فراهم می‌کند که برای بیمارگر نامساعد است. اغلب میکروارگانیسم‌های هوازی و بی‌هوازی در شرایط کمبود آهن تولید سیدروفور می‌نمایند، نقش اصلی این مواد تأمین آهن برای سلول است. سیدروفورها ضمن افزایش رشد گیاه، در کنترل بیولوژیکی عوامل بیماری‌زای گیاهی نیز مؤثرند این ترکیب برای اولین بار در خاک‌های قلیایی به عنوان یک مکانیسم مهم در بازدارندگی از قارچ بیمارگر *Fusarium oxysporum* بیان شد (ابراهیمی‌کاظم‌آباد، 1391).

تجزیه بیولوژیکی

در برابر تجزیه‌ی زیستی، EDTA نسبتاً مقاوم است، و در رودخانه‌ها غلظت EDTA حدود $0.01-0.1 \mu\text{M}$ با اوج غلظت 0.6 اندازه گیری شده است (Kari and Giger, 1995). نگرانی زیست محیطی در مورد EDTA، به توانایی افزایش حلالیت فلزات سنگین Pb, Cd ارتباط داده شده است، از این رو، پتانسیل آلودگی آب‌های زیر زمینی با این فلزات سنگین افزایش می‌یابد. در مورد تجزیه‌ی EDDHA، اطلاعات بسیار کمتری وجود دارد، اما در برابر تجزیه نوری ناپایدار بوده و کودهای تجاری از FeEDDHA با توجه به فرایند تولید، دارای ناخالصی بوده اند (Jiang *et al.*, 2003). قیمت بالای EDDHA، استفاده از آن را فقط برای محصولات دارای ارزش بالا، محدود کرده است. اما از دیدگاه زیست محیطی، سیدروفورها که موادی با وزن مولکولی کم هستند و تحت کمبود آهن به وسیله‌ی موجودات مختلف زیستی تولید می‌شوند، نه تنها با تأمین کمبود عناصر مختلف از قبیل آهن و روی برای گیاه، بلکه با داشتن قابلیت تجزیه‌پذیری بالا در مقایسه با EDTA، و قیمت بسیار پائین در مقایسه با EDDHA، می‌توانند در توجیه استفاده از عوامل کلات‌کننده تجزیه پذیر مطلوب باشند.

هدف از این تحقیق

پایین بودن آهن در دسترس در خاک‌های آهکی و قلیایی، تولید و کارایی گیاه را در سراسر دنیا محدود می‌کند. در دسترس بودن آهن برای گیاهان می‌تواند با عوامل کلات‌کننده‌ی مصنوعی مانند EDTA و EDDHA افزایش یابد. با این حال، صرف نظر کردن از EDTA و توانایی آن در افزایش حلالیت فلزات سنگین مضر در خاک‌ها، نگرانی را برای آبشویی آنها به آب‌های زیرزمینی افزایش داده است، در حالی که قیمت بالای EDDHA، استفاده‌ی آن را محدود می‌سازد. اما کلات‌های سیدروفوری که توسط موجودات مختلف تولید می‌شوند، نه تنها باعث عدم افزایش حلالیت فلزات سنگین مضر در خاک‌ها می‌شوند، بلکه قیمت نه‌چندان بالای آنها در مقایسه با EDDHA نیز، آنها را به عنوان یکی از بهترین تأمین‌کننده‌های آهن و حتی فلزات دیگری همچون روی و غیره برای گیاه معرفی می‌کند.

منابع

- ابراهیمی کاظم آباد، ز. روحانی، ح. جمالی، ف. و مهدیخانی مقدم، ع. 1391. تأثیر آنتاگونیستی جدایه‌های سودوموناس فلورسنت علیه قارچ *Fusarium oxysporum* sp. *ciceris*. نشریه‌ی پژوهش‌های حیوانات ایران. صفحه 64-55.
- خاک‌های ایران، وزارت کشاورزی و عمران روستایی. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، چاپ دوم، شماره 240، شهریور ماه 1358، ص 189.
- کیان‌پور راد، م. 1380. سنتز و کارایی میکروالمنت فریک اتیلن دی آمین بیس (اورتوهیدروکسی- فنیل استات) در محیط‌های خاکی ایران. نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم. جلد 1. شماره 2.
- Álvarez-Fernández, A., García-Laviña, P., Fidalgo, C., Abadía, J and Abadía, A 2004. Foliar fertilization to control iron chlorosis in pear (*Pyrus communis* L.) trees. *Plant and Soil*. 263: 5-15.
- Bell, P.F., McLaughlin, M.J., Cozens, G., Stevens, D.P., Owens, G and South, H 2003. Plant uptake of 14 C-EDTA, 14 C-Citrate and 14 C-Histidine from chelator-buffered and conventional hydroponic solutions. *Plant and Soil*, 253: 311-319.
- Chesworth, W and Luxmoore, R 1991. Geochemistry of micronutrients. *Micronutrients in agriculture*. 1-30.
- Cremonini, M.A., Álvarez-Fernández, A., Lucena, J.J., Rombolà, A., Marangoni, B and Placucci, G 2001. NMR analysis of the iron ligand ethylenediamine di (o-hydroxyphenyl) acetic acid (EDDHA) employed in fertilizers. *Journal of agricultural and food chemistry*. 49: 3527-3532.
- Curie, C and Briat, J.F 2003. Iron transport and signaling in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 54: 183-206.
- Ghasemi-Fasaei, R., Ronaghi, A., Maftoun, M., Karimian, N and Soltanpour, P 2002. Influence of FeEDDHA on iron-manganese interaction in soybean genotypes in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*. 26: 1815-1823.
- Gruber, B and Kosegarten, H 2002. Depressed growth of nonchlorotic vine grown in calcareous soil is an iron deficiency symptom prior to leaf chlorosis. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 165: 111.
- Jacobson, L 1951. Maintenance of iron supply in nutrient solutions by a single addition of ferric potassium ethylenediamine tetra-acetate. *Plant physiology*. 26: 411.
- Jiang, X., Luo, Y., Zhao, Q., Baker, A., Christie, P and Wong, M 2003. Soil Cd availability to Indian mustard and environmental risk following EDTA addition to Cd-contaminated soil. *Chemosphere*. 50: 813-818.
- Jiménez, S., Morales, F., Abadía, A., Abadía, J., Moreno, M and Gogorcena, Y 2009. Elemental 2-D mapping and changes in leaf iron and chlorophyll in response to iron re-supply in iron-deficient GF 677 peach-almond hybrid. *Plant and Soil*. 315: 93-106.
- Jin, C.W., He, Y.F., Tang, C.X., Wu, P and Zheng, S.J 2006. Mechanisms of microbially enhanced Fe acquisition in red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant, cell & environment*. 29: 888-897.
- Kari, F.G and Giger, W 1995. Modeling the photochemical degradation of ethylenediaminetetraacetate in the River Glatt. *Environmental science & technology*. 29: 2814-2827.
- Knepper, T.P 2003. Synthetic chelating agents and compounds exhibiting complexing properties in the aquatic environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 22: 708-724.
- Kosegarten, H., Hoffmann, B and Mengel, K 2001. The paramount influence of nitrate in increasing apoplastic pH of young sunflower leaves to induce Fe deficiency chlorosis, and the re-greening effect brought about by acidic foliar sprays. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 164: 155-163.
- Kosegarten, H and Koyro, H.W 2001. Apoplastic accumulation of iron in the epidermis of maize (*Zea mays*) roots grown in calcareous soil. *Physiologia Plantarum*. 113: 515-522.
- Kosegarten, H., Wilson, G and Esch, A 1998. The effect of nitrate nutrition on iron chlorosis and leaf growth in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European journal of agronomy*. 8: 283-292.
- Kroll, H., Knell, M., Powers, J and Simonian, J 1957. A Phenolic Analog of Ethylenediamine-Tetraacetic Acid. *Journal of the American Chemical Society*. 79: 2024-2025.
- Lindsay, W 1984. Soil and plant relationships associated with iron deficiency with emphasis on nutrient interactions. *Journal of Plant Nutrition*. 7: 489-500.

- Lucena, J. J 2000. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review. *Journal of Plant Nutrition*. 23: 1591-1606.
- Lucena, J.J 2003. Fe chelates for remediation of Fe chlorosis in strategy I plants. *Journal of Plant Nutrition*. 26: 1969-1984.
- Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M., Samson, D and Tack, F 2005. Comparison of EDTA and EDDS as potential soil amendments for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Chemosphere*. 58: 1011-1022.
- Murgia, I., Delledonne, M and Soave, C 2002. Nitric oxide mediates iron-induced ferritin accumulation in Arabidopsis. *The Plant Journal*. 30: 521-528.
- Ngwack, B and Sigg, L 1997. Dissolution of Fe (III)(hydr) oxides by metal-EDTA complexes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 61: 951-963.
- Nikolic, M., Romheld, V and Merkt, N 2000. Effect of bicarbonate on uptake and translocation of Fe in two grapevine rootstocks differing in their resistance to Fe deficiency chlorosis. *Vitis-Geilweilerhof*, 39: 145-150.
- Nowack, B 2002. Environmental chemistry of aminopolycarboxylate chelating agents. *Environmental science & technology*. 36: 4009-4016.
- Oertli, J and Opoku, A 1974. Interaction of potassium in the availability and uptake of iron from ferric hydroxide. *Soil Science Society of America Journal*. 38: 451-454.
- Reed, H and Haas, A 1924. Iron supply in a nutrient medium. *Botanical Gazette*. 290-299.
- Schikora, A and Schmidt, W 2001. Iron stress-induced changes in root epidermal cell fate are regulated independently from physiological responses to low iron availability. *Plant physiology*. 125: 1679-1687.
- Vose, P 1982. Iron nutrition in plants: a world overview. *Journal of Plant Nutrition*. 5: 233-249.
- Wallace, A 1982. Historical landmarks in progress relating to iron chlorosis in plants. *Journal of Plant Nutrition*. 5: 277-288.