دانشکده کشاورزی
گروه علوم خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد

تأثیر اسید اگزالیک بر فراهمی فسفر و آهن در گندم

سیما دبستانی رضوی

استاد راهنما

دکتر رضا خراسانی

استاد مشاور

دکتر امیر فتوت

بهمن ۹۲

دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

از این پایان نامه کارشناسی ارشد توسط آقا/خانم در تاریخ در حضور هیات داوران دفاع گردید.

پس از بررسی های لازم، هیات داوران این پایان نامه را با نمره عدد حروف و با درجه مورد تایید قرار داد/ندا د.

عنوان پایان نامه: تأثیر مرایدا گرز الیکوفرا همراه با نانو آهن در گندم

سمت در هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	گروه	موسسه / دانشگاه	امضاء
مدیر گروه	جناب آقای دکتر رضا خراسانی	استادیار		خاکشناسی فردوسی مشهد	
استاد راهنما	جناب آقای دکتر رضا خراسانی	استادیار		خاکشناسی فردوسی مشهد	
استاد مشاور	جناب آقای دکتر امیر فتوت	دانشیار		خاکشناسی فردوسی مشهد	
نماینده تحصیلات تکمیلی	جناب آقای دکتر امیر لکزیان	استاد		خاکشناسی فردوسی مشهد	
داور	سرکار خانم دکتر اکرم حلاج‌نیا	استادیار		خاکشناسی فردوسی مشهد	
داور	جناب آقای دکتر حجت امامی	استادیار		خاکشناسی فردوسی مشهد	

تعهد نامه

عنوان پایان نامه: تأثیر اسید اگزالیک بر فراهمی فسفر و آهن در گندم

اینجانب سیما دبستانی رضوی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی جناب آقای دکتر رضا خراسانی متعهد می شوم:

- نتایج ارائه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد یگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت خواهد شد.
- در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافتهای آنها برای انجام پایان نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.

تاریخ

نام و امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.**

چکیده

برخی از گیاهان در شرایط کمبود فسفر، به طور طبیعی قادرند تا حدی قابلیت استفاده فسفر را از طریق تراوش برخی ترکیبات نظیر اسیدهای آلی افزایش دهند و بدین طریق با کمبود فسفر مقابله کنند. این تحقیق با الگوبرداری از این ویژگی خاص گیاهان و با هدف استفاده از یک اسید آلی در خاک آهکی، به منظور افزایش فراهمی فسفر انجام شد. آزمایش در گلخانه و در حضور گیاه گندم، با دوازده تیمار ترکیبی مختلف از کود معدنی فسفات مونوکلسیم و اسید اگزالیک در قالب طرح آشیانه‌ای در سه تکرار انجام گرفت. مقادیر مختلف کود فسفر صفر، ١٤، ٢٨ و ٤٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که به هر سطح، سه غلظت متفاوت از اسید اگزالیک اضافه شد. دامنه غلظت اسید اگزالیک بین ١/٦ تا ٤٠ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک بود. تیمار ٧٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم کود فسفر بدون اضافه شدن اسید آلی به عنوان شاهد انتخاب شد. بعد از برداشت گیاه، ماده خشک اندام رویشی، غلظت و جذب فسفر و آهن گیاه و غلظت فسفر و آهن خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد؛ در حضور گیاه، اسید اگزالیک می‌تواند فراهمی فسفر خاک را افزایش دهد. دامنه غلظت مؤثر اسید اگزالیک برای افزایش قابلیت استفاده فسفر، ١/٦ تا ٤ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک بود و غلظت‌های زیادتر، تأثیر بیشتری بر غلظت فسفر گیاه و جذب فسفر نداشت. کم کردن مصرف کود فسفر در خاک و اضافه کردن اسید اگزالیک برای جبران آن، نه تنها وزن ماده خشک گیاه را کاهش نداد، حتی منجر به افزایش جذب فسفر از خاک نیز شد. نتایج تحقیق نشان داد، تیمار ٤٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم کود فسفر به همراه غلظت ١/٦ میلی‌مول بر کیلوگرم اسید اگزالیک در خاک بهترین ترکیب کود و اسید برای این منظور بود. همچنین اسید اگزالیک قابلیت استفاده آهن خاک را نیز افزایش داد ولی احتمالاً به دلیل اثرات متقابل منفی فسفر و آهن، گیاه قادر به جذب آن نبود. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از اسید اگزالیک در خاک آهکی می‌تواند راهکار کمکی برای افزایش کارایی فسفر خاک بوده و تا حدی مصرف کود فسفر را تعدیل نماید.

کلید واژه‌ها: اسید اگزالیک، آهن، جذب، فسفر، قابلیت استفاده، فسفات مونوکلسیم، گندم.

سپاسگزاری

خداوند را سپاس می‌گویم که مسیر معرفت خویش را از طریق علم‌آموزی هموار ساخت. اکنون که به یاری پروردگار این پایان نامه به اتمام رسیده است، بر خود لازم می‌بینم صمیمانه از زحمات استاد راهنمای گرامی‌ام جناب آقای دکتر رضا خراسانی که با کمال سعه صدر همواره راهگشای اینجانب بوده، و از هیچ کمکی دریغ ننمودند و انجام این پژوهش جز با راهنمایی‌های ایشان ممکن نبود، کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورم. همچنین از استاد مشاور ارجمندم جناب آقای دکتر امیر فتوت که با ارائه نکات ارزشمند سهم بسزایی در تکمیل این پایان نامه داشتند و جناب آقـای دکتر امامی و سرکار خانم دکتر حلاج‌نیا که قبول زحمت فرموده و داوری این پایان نامه را پذیرفتند، بی‌نهایت ممنون و سپاسگزارم.

به علاوه از کلیه اساتید گروه علوم خاک دانشگاه فردوسی، پرسنل محترم آزمایشگاه و گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و همه دوستان عزیزی که در طول این مدت به نحوی من را یاری رساندند، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

در پایان، این پایان نامه را به پدر و مادر عزیزم که همواره یار و پشتیبان من بوده‌اند تقدیم نموده، بر دستان پر محبتشان بوسه می‌زنم و از خداوند می‌خواهم به من توفیق دهد تا بتوانم همواره قدردان محبت‌هایشان باشم.

فهرست مطالب:

فصل اول ۱

مقدمه ۱

۱-۱- فسفر ۱

۱-۲- مشکلات استفاده بیش از حد کودهای فسفر ۲

۱-۳- روش‌های گیاهان برای مقابله با کمبود فسفر در خاک‌های آهکی ٤

۱-٤- اهداف طرح ٥

فصل دوم ۷

بررسی منابع ۷

۲-۱- فسفر در خاک آهکی ۷

۲-۲- تراوش اسیدهای آلی از ریشه ۸

۲-۳- مکانیسم‌های اسیدهای آلی جهت افزایش فسفر قابل استفاده خاک ۱۰

۲-٤- عوامل مؤثر بر کارایی اسیدهای آلی در آزادسازی فسفر خاک ۱۲

۲-٤-۱- شرایط خاک ۱۲

۲-٤-۱-۱- pH ۱۲

۲-٤-۱-۲- مقدار و توزیع فسفر خاک ۱۳

۲-٤-۲- ویژگی‌های اسید آلی ۱۵

۲-٤-۲-۱- غلظت ۱۵

۲-٤-۲-۲- فرم یونی ۱۷

۲-٤-۲-۳- زمان تماس ۱۸

۲-۵- تأثیرات اسیدهای آلی بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک ۱۹

۲-۵-۱- تغییر pH ۱۹

۲-۵-۲- جذب در خاک ۱۹

۲-۵-۳- افزایش جذب فسفر توسط گیاه و افزایش عملکرد گیاه ۲۰

۲-۵-٤- تغییر توزیع اجزای مختلف فسفر خاک ۲۲
۲-۵-۵- افزایش کارایی کود فسفر در خاک ۲٤
۲-۵-٦- افزایش حلالیت عناصر دیگر خاک ۲۵
۲-٦- تجزیه‌ی اسیدهای آلی ۲٦
فصل سوم ۲۹
مواد و روش‌ها ۲۹
۳-۱- نمونه‌برداری و آنالیز خاک ۲۹
۳-۲- پیش‌آزمایش ۳۰
۳-۳- انتخاب تیمارها ۳۱
۳-٤- کشت گلخانه‌ای ۳۳
۳-۵- آنالیز آماری ۳۵
فصل چهارم ۳۷
نتایج و بحث ۳۷
٤-۱- نتایج مرحله‌ی پیش‌آزمایش ۳۷
٤-۲- نتایج مرحله کشت گلخانه ٤۲
٤-۲-۱- ماده خشک اندام رویشی گندم ٤۲
٤-۲-۲- غلظت فسفر در اندام هوایی گندم ٤۹
٤-۲-۳- جذب فسفر در اندام هوایی گندم ۵٤
٤-۲-٤- فسفر قابل استفاده خاک بعد از برداشت گندم ٦۰
٤-۲-۵- دامنه مناسب غلظت اسید آلی و بهترین ترکیب اسید آلی و کود فسفر در افزایش فراهمی فسفر و تولید ماده خشک گیاه ٦۵
٤-۲-٦- غلظت آهن در اندام هوایی گندم ٦۷
٤-۲-۷- جذب آهن در اندام هوایی گندم ۷۰
٤-۲-۸- آهن قابل استفاده خاک بعد از برداشت گندم ۷۳

فصل پنجم ۷۹
نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۹
۵-۱- نتایج کلی..... ۷۹
۵-۲- پیشنهادات ۸۱
۵-۲-۱- راهکارهایی جهت کاهش هزینه ناشی از کاربرد اسید اگزالیک..... ۸۱
۵-۲-۲- راهکارهایی جهت کامل شدن تحقیق..... ۸۱
منابع ۸۳
پیوست‌ها ۹۳
پیوست ۱: فهرست اسامی لاتین ۹٤

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل صفحه

شکل ۲-۱. دیاگرام حلالیت کانی‌های مختلف فسفر (لیندزی، ۱۹۷۹)..... ۸
شکل ۲-۲. هم‌دماهای جذب فسفات اندی‌سول‌ها در حضور و یا عدم حضور سیترات (تانی و همکاران، ۲۰۱۰)..... ۱۱
شکل ۲-۳. تغییر در فسفر قابل استفاده خاک بعد از اضافه کردن اسیدهای آلی (سیتریک، تارتاریک و اگزالیک) به خاک‌های دریافت‌کننده‌ی طولانی‌مدت کود فسفر معدنی و آلی (ونگ و همکاران، ۲۰۰۸)..... ۱۵
شکل ۲-٤. کارایی سه اسید آلی اگزالیک، مالیک و سیتریک در استخراج فسفر از یک خاک آهکی (اشتورم و همکاران، ۲۰۰۵)..... ۱٦
شکل ۲-۵. کارایی آزادسازی فسفر توسط سه اسید آلی (اگزالیک، سیتریک و مالیک) در خاک آهکی در ارتباط با زمان (اشتورم و همکاران، ۲۰۰۵)..... ۱۸
شکل ۲-٦. جذب سیترات، مالات و اگزالات در خاک آهکی در ارتباط با زمان (اشتورم و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۲۰
شکل ۲-۷. جذب فسفر ۳۳ از خاک توسط گیاه گندم در حضور آب (شاهد) و دو آنیون آلی (سیترات و اگزالات) در دو غلظت یک و ده میلی‌مولار در دو فرم یونی K^+ و H^+ (خادمی و همکاران، ۲۰۱۰)..... ۲۱
شکل ۲-۸. اسیدهای آلی تراوش شده از دو رقم جو زمستانه؛ مارینکا و سونات (گاهونیا و همکاران، ۲۰۰۰)..... ۲۳
شکل ۲-۹. تغییر در بخش غیر قابل استفاده فسفر بعد از اضافه کردن اسیدهای آلی (سیتریک، تارتاریک و اگزالیک) به خاک‌های دریافت‌کننده‌ی طولانی‌مدت کود فسفر معدنی و آلی (ونگ و همکاران، ۲۰۰۸)..... ۲٤
شکل ۲-۱۰. تجزیه‌ی اگزالات، سیترات و مالات با گذشت زمان در خاک آهکی (اشتورم و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۲۷
شکل ۲-۱۱. سرعت تجزیه اگزالات، سیترات و مالات در ارتباط با غلظت در خاک آهکی (اشتورم و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۲۸
شکل ۳-۱. نحوه‌ی ساخت ۱۲ تیمار اصلی در طرح ۳۳
شکل ٤-۱. کارایی اسیدهای آلی در استخراج فسفر از خاک آهکی در غلظت یک میلی‌مولار ۳۹

شکل ٤-٢. اثر سطوح مختلف کود فسفات مونوکلسیم بر وزن خشک اندام هوایی گندم ٤٣
شکل ٤-٣. اثر ترکیبات مختلف کود فسفات مونوکلسیم و اسید اگزالیک بر وزن خشک اندام هوایی گندم ٤٤
شکل ٤-٤. اثر کمترین غلظت‌های اسید اگزالیک در هر سطح از کود فسفر بر وزن خشک اندام هوایی گندم ٤٥
شکل ٤-٥. اثر سطوح مختلف کود فسفات مونوکلسیم بر غلظت فسفر اندام هوایی گندم ٥٠
شکل ٤-٦. اثر ترکیبات مختلف کود فسفات مونوکلسیم و اسید اگزالیک بر غلظت فسفر اندام هوایی گندم ٥١
شکل ٤-٧. اثر سطوح مختلف کود فسفات مونوکلسیم بر جذب فسفر اندام هوایی گندم ٥٥
شکل ٤-٨. اثر ترکیبات مختلف کود فسفات مونوکلسیم و اسید اگزالیک بر جذب فسفر اندام هوایی گندم ٥٦
شکل ٤-٩. اثر کمترین غلظت‌های اسید اگزالیک در هر سطح از کود فسفر بر جذب فسفر اندام هوایی گندم ٦٠
شکل ٤-١٠. اثر سطوح مختلف کود فسفات مونوکلسیم بر فسفر قابل استفاده خاک بعد از برداشت گندم ٦١
شکل ٤-١١. اثر ترکیبات مختلف کود فسفات مونوکلسیم و اسید اگزالیک بر فسفر قابل استفاده خاک بعد از برداشت ٦٢
شکل ٤-١٢. اثر سطوح مختلف کود فسفات مونوکلسیم بر غلظت آهن اندام هوایی گندم ٦٨
شکل ٤-١٣. اثر ترکیبات مختلف کود فسفات مونوکلسیم و اسید اگزالیک بر غلظت آهن اندام هوایی گندم ٦٩
شکل ٤-١٤. اثر سطوح مختلف کود فسفات مونوکلسیم بر جذب آهن اندام هوایی گندم ٧١
شکل ٤-١٥. اثر ترکیبات مختلف کود فسفات مونوکلسیم و اسید اگزالیک بر جذب آهن اندام هوایی گندم ٧٢
شکل ٤-١٦. اثر سطوح مختلف کود فسفات مونوکلسیم بر آهن قابل استفاده خاک بعد از برداشت گندم ٧٤
شکل ٤-١٧. اثر ترکیبات مختلف کود فسفات مونوکلسیم و اسید اگزالیک بر آهن قابل استفاده خاک بعد از برداشت گندم ٧٥

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول صفحه

جدول ٤-١. خصوصیات خاک مورد استفاده در طرح ٣٨
جدول ٤-٢. برخی از خصوصیات اسید اگزالیک مورد استفاده در آزمایش ٤١
جدول ٤-٣. تجزیه میانگین مربعات وزن خشک اندام هوایی گندم ٤٢
جدول ٤-٤. مقایسه میانگین ١٢ تیمار با شاهد از لحاظ عملکرد اندام هوایی گندم، از طریق آزمون t..٤٦
جدول ٤-٥. تجزیه میانگین مربعات غلظت فسفر اندام هوایی گندم ٤٩
جدول ٤-٦. مقایسه میانگین ١٢ تیمار با شاهد از لحاظ غلظت فسفر اندام هوایی گندم، از طریق آزمون t ٥١
جدول ٤-٧. تجزیه میانگین مربعات جذب فسفر اندام هوایی گندم ٥٤
جدول ٤-٨. مقایسه میانگین ١٢ تیمار با شاهد از لحاظ جذب فسفر اندام هوایی گندم، از طریق آزمون t ٥٧
جدول ٤-٩. تجزیه میانگین مربعات فسفر قابل استفاده خاک بعد از برداشت گندم ٦١
جدول ٤-١٠. مقایسه میانگین ١٢ تیمار با شاهد از لحاظ میزان فسفر قابل استفاده خاک بعد از برداشت گندم، از طریق آزمون t ٦٣
جدول ٤-١١. تجزیه میانگین مربعات غلظت آهن اندام هوایی گندم ٦٨
جدول ٤-١٢. مقایسه میانگین ١٢ تیمار با شاهد از لحاظ غلظت آهن اندام هوایی گندم، از طریق آزمون t ٧٠
جدول ٤-١٣. تجزیه میانگین مربعات جذب آهن اندام هوایی گندم ٧٠
جدول ٤-١٤. مقایسه میانگین ١٢ تیمار با شاهد از لحاظ جذب آهن اندام هوایی گندم، از طریق آزمون t ٧٢
جدول ٤-١٥. تجزیه میانگین مربعات آهن قابل استفاده خاک بعد از برداشت گندم ٧٣
جدول ٤-١٦. مقایسه میانگین ١٢ تیمار با شاهد از لحاظ میزان آهن قابل استفاده خاک بعد از برداشت گندم، از طریق آزمون t ٧٥

فهرست علامت‌ها و اختصارها

معادل فارسی	علامت	معادل انگلیسی
نیاز بیولوژیکی اکسیژن	BOD	Biological Oxygen Demand
دی اتیلین تری آمین پنتا استیک اسید	DTPA	Diethylene Triamine Pentaacetic Acid
ظرفیت بافری تعادلی	EBC	Equilibrium Buffering Capacity
نیاز فسفر استاندارد	SPR	Standard P Requirement

فصل اول

مقدمه

۱-۱- فسفر

فسفر عنصری ضروری برای سلول‌های گیاهی است، زیرا هیچ عنصر دیگری نمی‌تواند نقش حیاتی آن را در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه انجام داده و جایگزین آن شود. فسفر یازدهمین عنصر از لحاظ فراوانی در پوسته‌ی زمین است. مقدار فسفر در خاک بین ۰/۰۳ تا ۰/۲۲ درصد تغییر می‌کند (سالاردینی، ۱۳۸٤). غلظت این عنصر در خاک بسیار کم است و تحرک کمی در مقایسه با دیگر عناصر غذایی مثل نیترات و پتاسیم دارد (باربر، ۱۹۹۵). بنابراین کمبود این عنصر غالباً یکی از مهم‌ترین و یا حتی اصلی‌ترین فاکتور محدودکننده‌ی رشد گیاه به شمار می‌رود.

خاک‌های کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست، کمبود فسفر در خاک‌های ایران، کشاورزان را به استفاده بیش از حد نیاز کودهای فسفر ترغیب می‌کند. کاربرد سالیانه کود فسفر در آسیا که تقریباً ۷۰ درصد زمین‌های کشاورزی را دربر می‌گیرد، از سال ۱۹٦۵ تا ۲۰۰۷ از ٦ تا ۲۸ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرده است. کاربرد کود معدنی فسفر در این قاره از سال ۱۹٦۵ تا ۲۰۰۷، ۱۲/۵ برابر و کاربرد

کود آلی فسفر در این مدت، ۲ برابر شده است (فائو، ۲۰۱۱). غافل از آن که استفاده بیش از حد کودهای فسفر در خاک، خود عواقب و پیامدهای زیانبار زیادی را به دنبال خواهد داشت.

۱-۲- مشکلات استفاده بیش از حد کودهای فسفر

بهره‌وری کم کودهای فسفر و تثبیت زیاد آن در خاک، از جمله مهم‌ترین محدودیت‌های استفاده از این کودهاست. حتی بعد از اضافه کردن کودهای محلولی مانند سوپرفسفات به خاک، چنانچه گیاه عکس‌العمل مثبتی نسبت به عرضه‌ی فسفر نشان دهد، مقدار جذب‌شده‌ی فسفر از ۵ تا ۱۰ درصد فسفر اضافه شده، بیشتر نخواهد بود (سالاردینی، ۱۳۸٤). بر طبق مطالعات انجام‌شده توسط هول‌فورد (۱۹۹۷)، بیش از ۸۰ درصد فسفر اضافه شده به خاک، به فرم غیرقابل استفاده تبدیل خواهد شد. این رقم حتی تا ۹۰ درصد هم گزارش شده است (منگل و کریکبی، ۱۹۸۲). ولف و همکاران (۱۹۸۷) بیان کردند؛ به طور معمول، در اولین سال استفاده از کود فسفر، گیاه تنها ۱۰ تا ۲۰ درصد از آن را جذب کرده و بخش اعظمی از فسفر موجود در کود در خاک تجمع پیدا می‌کند. آمار ارائه شده توسط فائو (۲۰۱۱) نشان می‌دهد، فسفر تجمع یافته در خاک در آسیا در بین سال‌های ۱۹٦۵ تا ۲۰۰۷، ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. این در حالی است که خاک‌هایی که در طولانی‌مدت کودهای فسفر دریافت کرده‌اند، عکس‌العملی به مصرف کود فسفر جدید نشان نمی‌دهند؛ زیرا هر ساله مقداری از کود فسفر باقیمانده برای گیاه قابل جذب خواهد بود (اثر باقیمانده کود[1]). ستاری و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند؛ در نظر گرفتن فسفر باقیمانده در تعیین نیاز کودی گیاهان، منجر به کاهش کود مورد نیاز نسبت به حالتی خواهد شد که اثر باقیمانده فسفر در نظر گرفته نشود. آن‌ها با در نظر گرفتن داده‌های مربوط به کاربرد کود فسفر و جذب فسفر در بین سال‌های ۱۹٦۵ تا ۲۰۰۷ در آسیا و مدل کردن آن تخمین زدند؛ حتی با کاهش در میزان

[1] Residual effect

کاربرد کودهای فسفر، جذب فسفر در بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۵۰ به میزان ٤٠ تا ٦٠ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

مطالعه‌ای نسبتاً جدید در ژاپن در سطح ملی در ارتباط با کود فسفر دلالت بر این امر دارد که عملکرد گیاه با وجود کاهش استفاده از کود معدنی یا آلی در بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵، ثابت مانده یا حتی افزایش پیدا کرده است (میشیما و همکاران، ۲۰۱۰). حتی در خاک‌هایی با میزان تثبیت فسفر بالا، کاربرد اولیه فسفر به میزان زیاد (٦٠٠ کیلوگرم در هکتار)، می‌تواند برای کشت ذرت به مدت ۷ تا ۹ سال کافی باشد که دلیل آن اثر باقیمانده فسفر است (کمپراد، ۱۹٦۷).

ولی پیرو تصور غلط و سنتی رایج که بیان می‌کند فسفر تثبیت‌شده قابل استفاده مجدد نیست، این عنصر سال‌های متوالی به میزان فراوان در سیستم‌های کشاورزی کشورهای غیر صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است و این امر همچنان ادامه دارد (جلالی، ۲۰۰۷).

استفاده بیش از حد کودهای فسفر، اکوسیستم‌های اطراف زمین‌های کشاورزی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (کارپنتر و همکاران، ۱۹۹۸)؛ اضافه شدن بیش از حد عناصر غذایی به منابع آبی، منجر به تولید بیش از حد اتوتروف‌ها به خصوص جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها می‌شود. تولید نامتعارف باکتری‌ها، منجر به تنفس زیاد و کمبود اکسیژن خواهد شد که مرگ آبزیان را به دنبال دارد. بنابراین تجمع عناصر غذایی از جمله فسفر در محیط‌های آبی که به غنی‌سازی[1] معروف است، با افزایش BOD[2] آب از کیفیت آن خواهد کاست.

علاوه بر این، استفاده طولانی‌مدت از عناصر غذایی در خاک سبب بر هم زدن تعادل عناصر غذایی خواهد شد. استفاده بیش از حد فسفر، به خصوص در خاک‌های خنثی و قلیایی، سبب کمبود

[1] Eutrophication
[2] Biological oxygen demand

عنصر روی می‌شود. حتی اگر این مشکل با اضافه کردن سطوح مختلف روی از طریق کوددهی تصحیح شود، در نتیجه‌ی مقدار زیاد فسفر و روی در خاک، ممکن است کمبود آهن ایجاد شود (داس و همکاران، ۲۰۰۵).

آلودگی کودهای فسفر به عناصر سنگین، از جمله دیگر مشکلات این کودهاست. رایج‌ترین ماده‌ی خام مورد استفاده در تولید کود فسفر، سنگ فسفات است. فلزات سنگین همچون کادمیوم و اورانیوم به میزان فراوان در سنگ فسفات یافت می‌شود. سنگ فسفات ممکن است بالغ بر ٦٤٠ میلی‌گرم کادمیوم در هر کیلوگرم فسفر (آلووی و استینس، ۱۹۹۹) و بالغ بر ۱/۳ گرم اورانیوم در هر کیلوگرم فسفر را دربرگیرد (گزمن و همکاران، ۱۹۹۵). گرنت و همکاران (۲۰۱۰) عنوان کردند کاربرد پی در پی این کود، می‌تواند مقدار کادمیوم را در خاک و به دنبال آن در گیاه افزایش دهد.

با توجه به مشکلات یاد شده و همچنین محدودیت منابع فسفر به عنوان منابع غیرقابل تجدید (فرانز، ۲۰۰۸)، نیاز به استفاده از آن با کارایی بیشتر یا استفاده از روش‌های ثانویه جهت افزایش قابلیت استفاده فسفر (در جهت کاهش مصرف کود) برای گیاهان احساس می‌گردد.

۱-۳- روش‌های گیاهان برای مقابله با کمبود فسفر در خاک‌های آهکی

در خاک‌های آهکی به دلیل تشکیل کمپلکس‌های کلسیم-فسفر و منیزیم-فسفر، فراهمی عنصر فسفر برای گیاهان بسیار کم است. گیاهان برای استقرار و رشد بهینه در خاک‌های آهکی، نیاز به تطابق با کمبود عناصر غذایی در این خاک‌ها دارند. بعضی از روش‌های گیاهان برای این منظور به شرح زیر است:

۱- جذب لوکس عناصر غذایی در طول دوره‌های فراوانی و ذخیره کردن در ریشه‌ها و آزاد کردن آن در بخش‌های هوایی در زمان کمبود (گوپتا و روریسون، ۱۹۷۵؛ ورسوگلو و فیتر، ۱۹۸٤).

۲- کولونیزه کردن ریشه‌ها با مایکوریزا به منظور افزایش بهره‌وری از حجم خاک و افزایش جذب عناصر غذایی (گوه و همکاران، ۱۹۹۷).

۳- تراوشات ترکیباتی از ریشه که حلالیت مواد معدنی را افزایش دهد، به معدنی شدن مواد آلی منجر شود و جذب از منابع غذایی محلول ریزوسفر بیشتر گردد (لیپتون و همکاران، ۱۹۸۷). جونز (۱۹۹۸) بیان کرد، تراوشات ریشه نقشی محوری در افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک‌های آهکی ایفا می‌کنند.

۱-٤- اهداف طرح

مکانیسم ذکر شده برای گیاهان در رابطه با تراوش اسیدهای آلی برای مقابله با کمبود فسفر، این فرضیه را در ذهن تداعی می‌کند که، احتمالاً ممکن است بتوان با الگوبرداری از گیاهان، اسیدهای آلی را به طور مصنوعی با خاک ترکیب کرد و از این طریق قابلیت استفاده فسفر را افزایش داد. اما در استفاده از این روش محدودیت‌هایی وجود دارد که در این ارتباط ذکر نکات زیر ضروری است:

تراوش اسیدهای آلی از گیاهان در غلظت‌های بسیار متنوعی انجام می‌شود، حتی گاهی تراوش این ترکیبات ممکن است پاسخ مستقیمی جهت افزایش قابلیت استفاده فسفر نباشد (جونز، ۱۹۹۸). ضمن اینکه روش‌های رایج برای تعیین کمی اسیدهای آلی در خاک، ممکن است غلظت این اسیدها را در محلول خاک بسیار کمتر از مقدار واقعی آن تخمین بزند و اختلاف غلظت موجود در بخش‌های مختلف از جمله اطراف ریشه‌ها یا اطراف میکروارگانیسم‌ها را مشخص نکند (جونز و همکاران، ۲۰۰۳). از طرفی از غلظت‌های بسیار زیاد این اسیدها نیز با توجه به مسائل مربوط به تجزیه‌ی آن و البته مسائل اقتصادی (تعمیم استفاده از این اسیدها به سطح مزرعه جز با توجیه مسائل اقتصادی و هزینه‌های آن امکان‌پذیر نخواهد بود)، نمی‌توان استفاده کرد. بنابراین هدف اصلی از این تحقیق پاسخ به این پرسش

است که اولاً اضافه کردن اسیدهای آلی به طور مستقیم به خاک می‌تواند قابلیت استفاده و به دنبال آن جذب فسفر توسط گیاه را افزایش دهد و تا حدی باعث کاهش مصرف کود فسفر شود یا خیر؟ و ثانیاً دامنه‌ی مناسب و مؤثر غلظت اسیدهای آلی در خاک برای این منظور کدام است؟ همچنین با توجه به اثرات متقابل عنصر فسفر با عناصر کم‌مصرف از جمله آهن، تعیین مقدار جذب آهن گیاه و میزان آهن قابل استفاده خاک بعد از برداشت گیاه، از جمله اهداف فرعی این تحقیق بود.

فصل دوم

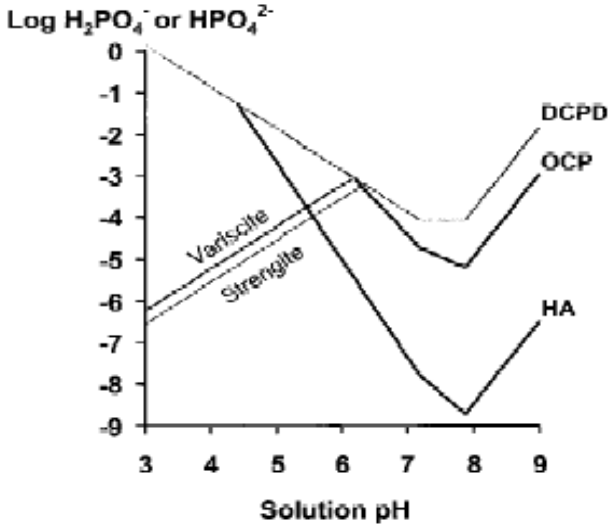
بررسی منابع

۲-۱- فسفر در خاک آهکی

۵/۷ میلیارد هکتار از خاک‌های سراسر جهان، فسفر قابل استفاده بسیار کمی دارند (باتجز، ۱۹۹۷). تحرک بسیار کم فسفر در خاک و واکنش‌پذیری زیاد یون‌های فسفات با اجزاء اصلی خاک سبب خواهد شد، فسفر در خاک تثبیت شده و فقط بخش کوچکی از آن در محلول خاک باقی بماند. این موضوع به خصوص در خاک‌های آهکی و قلیایی بسیار نگران‌کننده است. گستره‌ی کلسی‌سول‌ها[1] (خاک‌هایی با بیش از ۱۵ درصد وزنی کربنات کلسیم)، ۸۰۰ میلیون هکتار تخمین زده شده که اغلب در مناطق با آب و هوای خشک و مدیترانه‌ای متمرکز شده است (دی‌گرگوریو، ۲۰۰۵). اگر سولونچاک‌ها[2] نیز جزء خاک‌های آهکی در نظر گرفته شوند (خاک‌های تحت تأثیر نمک که میزان کربنات کلسیم آن اغلب زیاد است)، کلسی‌سول‌ها حدود ۱۶ درصد سطح زمین را تشکیل خواهند داد. به علاوه ۱٤ درصد سطح زمین با خاک‌های غنی از کربنات کلسیم که به شکل کلسی‌سول طبقه‌بندی نمی‌شوند، پوشیده شده

[1] Calcisols
[2] Solonchaks

است (خاک‌های شامل ۵ تا ۱۵ درصد وزنی کربنات کلسیم). بنابراین خاک‌های آهکی بیش از ۳۰ درصد سطح زمین را احاطه کرده‌اند. ویژگی اصلی این خاک‌ها حالت بازی و pH بین ۷/۵ و ۸/۵ است که مربوط به میزان زیاد کربنات کلسیم می‌باشد. به دلیل حلالیت ضعیف فسفر در pH زیاد و تشکیل کمپلکس‌های نامحلول فسفات کلسیم، قابلیت استفاده این عنصر در خاک‌های آهکی بسیار کم است (مارسچنر، ۱۹۹۵) (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱. دیاگرام حلالیت کانی‌های مختلف فسفر (لیندزی، ۱۹۷۹)
OCP: اکتا کلسیم فسفات HA: هیدروکسی آپاتیت DCPD: دی‌کلسیم فسفات دوآبه

۲-۲- تراوش اسیدهای آلی از ریشه

همان‌طور که در فصل قبل ذکر شد؛ تراوشات ریشه نقشی محوری در افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک‌های آهکی ایفا می‌کنند (جونز، ۱۹۹۸). به طور معمول گیاهان کلسیم‌دوست (گیاهانی که می‌توانند در خاک‌های آهکی به خوبی رشد کنند)، مقدار تراوش اسیدهای آلی به خصوص اسیدهای دی و تری‌کربوکسیلیک از جمله اسید سیتریک و اسید اگزالیک یا آنیون‌های این اسیدها را در مقایسه با گیاهان غیرکلسیم‌دوست افزایش می‌دهند (اشتورم و همکاران، ۱۹۹٤؛ تیلور و اشتورم، ۱۹۹۵).