



روابط شکل‌های فسفر معدنی و آلی با رشد ذرت و جذب فسفر در برخی خاک‌های استان آذربایجان شرقی

نسیم حیدری^۱، * عادل ریحانی‌تبار^۲، نصرت‌اله نجفی^۳ و شاهین اوستان^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، ^۲ استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز،

^۳ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۵

چکیده

فسفر بعد از نیتروژن دومین عنصر محدودکننده برای تولید محصول در خاک‌ها می‌باشد. آگاهی از شکل‌های شیمیایی فسفر در خاک و روابط این شکل‌ها با رشد ذرت و فسفر جذب شده در درک جنبه‌های حاصل‌خیزی خاک و تغذیه گیاه نقش مؤثری دارد. برای به‌دست آوردن چنین اطلاعاتی، ۲۰ نمونه مرکب خاک زراعی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و شکل‌های معدنی و آلی فسفر در آن‌ها تعیین شدند. نتایج نشان داد که در خاک‌های مورد مطالعه ماده خشک بخش هوایی ذرت با شکل‌های دی‌کلسیم فسفات ($\text{Ca}_2\text{-P}$)، فسفات آهن (Fe-P)، آپاتیت ($\text{Ca}_{10}\text{-P}$)، فسفر آلی پایدار (NLOP) و فسفر قابل‌جذب خاک (Olsen-P) روابط معنی‌داری داشت و بیش‌ترین ضریب همبستگی مربوط به $\text{Ca}_2\text{-P}$ بود. ضریب همبستگی ماده خشک ریشه نیز با $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ منفی و معنی‌دار شد. همبستگی غلظت فسفر بخش هوایی و غلظت فسفر ریشه ذرت با شکل‌های $\text{Ca}_2\text{-P}$ ، Fe-P و Olsen-P معنی‌دار شد. بین مقدار فسفر بخش هوایی ذرت و شکل‌های $\text{Ca}_2\text{-P}$ ، Fe-P و Olsen-P نیز همبستگی معنی‌داری مشاهده گردید. مقدار فسفر ریشه همبستگی منفی معنی‌داری با $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ داشت. شکل دی‌کلسیم فسفات ($\text{Ca}_2\text{-P}$) منبع عمده فسفر قابل‌جذب ذرت در خاک‌های مورد مطالعه بود.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان شرقی، ذرت، عصاره‌گیری دنباله‌ای، فسفر

* مسئول مکاتبه: areyhani@tabrizu.ac.ir

مقدمه

فسفر بعد از نیتروژن محدودکننده‌ترین عنصر غذایی برای تولید محصول در خاک‌ها می‌باشد و ذرت هم از گیاهان مهم تیره غلات بوده و به‌همراه گندم از محصولات استراتژیک کشور محسوب می‌شود. فسفر از عناصری است که ذرت به آن نیاز فراوانی دارد. در صورت کمبود فسفر گرده‌افشانی ذرت به تعویق افتاده یا ناقص انجام می‌شود و رسیدن میوه‌ها نیز به تأخیر می‌افتد (خدابنده، ۲۰۰۰). چندین عصاره‌گیر برای تعیین فسفر قابل جذب گیاه در خاک استفاده شده است، اما اجزای معدنی و آلی فسفر خاک به‌وسیله آزمون‌های معمول تعیین نشده و بنابراین روش تفکیک اجزا با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف برای کمی کردن شکل‌های شیمیایی مختلف فسفر پیشنهاد شده است (جیانگ و گو، ۱۹۸۹). آگاهی از شکل‌های شیمیایی فسفر در فهم شیمی فسفر در خاک و درک جنبه‌های حاصل‌خیزی خاک نقش مؤثری دارد و می‌توان با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده روش مدیریت مناسب برای افزایش قابلیت استفاده فسفر توسط گیاهان را پیشنهاد نمود. آگاهی از تغییر شکل فسفر اضافه شده به خاک از آن جهت اهمیت دارد که گیاهان قسمت عمده کود فسفر را نه فقط به شکل منبع اضافه شده بلکه به شکل محصولات واکنش آن با خاک جذب می‌کنند (ژانگ و مکزی، ۱۹۹۷). اصلاح روش‌های عصاره‌گیری متوالی فسفر به‌ویژه روش چانگ و جکسون (۱۹۵۷) و تغییرات اعمال شده به‌وسیله سایر پژوهشگران در این روش این امکان را فراهم می‌کند تا شکل‌های غالب فسفر در خاک‌ها تعیین شود و عصاره‌گیری شناسایی گردد که همان شکل یا شکل‌هایی را استخراج کند که بیش‌تر قابل استفاده گیاه هستند (پاتریک و ماهاپاترا، ۱۹۶۸). بر همین اساس العباس و باربر (۱۹۶۴) با استفاده از رابطه بین شکل‌های فسفر و جذب فسفر به‌وسیله ارزن، عصاره‌گیری برای فسفر قابل جذب ارایه نمودند. آنان مشاهده نمودند فسفر جذب شده توسط ارزن همبستگی بالایی با فسفات آهن نشان داد و آنان با تغییراتی که در عصاره‌گیری این شکل فسفر معدنی دادند به عصاره‌گیری دست یافتند که فسفر قابل جذب گیاه را با صحت بالایی پیش‌بینی کرد. از آن‌جا که بخش زیادی از فسفر کل خاک برای گیاه قابل استفاده نیست، تلاش‌های زیادی شده تا رابطه بین فسفر قابل جذب گیاه در خاک و شکل‌های قابل جذب را کمی نمایند. چون مقدار هر یک از شکل‌ها در طی کوددهی یا کشت گیاه افزایش یا کاهش می‌یابند، بنابراین شکل‌های نام برده می‌توانند به‌عنوان مقصد یا منبع‌های فسفر قابل جذب گیاه عمل نمایند (اشمیت و همکاران، ۱۹۹۶). کامپراس و واتسون (۱۹۸۰) گزارش کردند که با بررسی رابطه رشد گیاه و جذب فسفر با شکل‌های فسفر معدنی می‌توان عصاره‌گیر جدیدی برای تعیین فسفر قابل جذب گیاه در خاک انتخاب کرد. نجفی و توفیقی (۲۰۰۹) گزارش کردند که فسفر

قابل جذب در خاک‌های آهکی به استثنای آپاتیت با بقیه شکل‌های فسفر همبستگی معنی‌دار داشت. بیش‌ترین همبستگی با دی‌کلسیم فسفات بود و ۸۳ درصد تغییرات فسفر قابل جذب را توضیح داد. اسمیت (۱۹۶۵) گزارش کرد که فسفات آلومینیوم (Al-P) منبع مهم فسفر برای گندم است و در طی دوره رشد گیاه فسفات آهن (Fe-P) به Al-P تبدیل می‌شود. نجفی و توفیقی (۲۰۰۶) گزارش کردند که در خاک‌های آهکی شکل‌های دی‌کلسیم فسفات، اکتاکلسیم فسفات و فسفات‌های آلومینیوم در ناحیه ریزوسفر برنج نسبت به توده خاک کم‌تر بود در حالی‌که آپاتیت، فسفات آهن و فسفر محبوس اختلاف معنی‌داری در خاک ریزوسفر نسبت به خاک غیرریزوسفر نداشتند. همچنین اکتاکلسیم فسفات و آپاتیت همبستگی معنی‌داری با جذب فسفر بخش هوایی برنج داشتند. صمدی (۲۰۰۶) در پژوهشی در ۱۳ خاک آهکی استرالیای غربی به این نتیجه رسید که با انجام کشت گیاه در این خاک‌ها مقدار تمام شکل‌های فسفر کاهش می‌یابد. مطالعه ضرایب همبستگی میان شکل‌های فسفر معدنی و پارامترهای گیاهی و فسفر اولسن نشان داد که دی‌کلسیم فسفات (Ca_۲-P) در تمام پارامترها وارد می‌شود (۷۴ درصد تغییرات در عملکرد نسبی، ۶۰ درصد جذب کل فسفر در گیاه، ۶۸ درصد در عملکرد ماده خشک و ۶۹ درصد در فسفر قابل جذب خاک). همچنین ایشان گزارش کردند که جذب فسفر گیاه ارتباط نزدیک‌تری با Fe-P در مقایسه با Olsen-P داشت و چنین نتیجه گرفت که ممکن است عصاره‌گیر NaHCO_۳ نتواند فسفر قابل استفاده گیاه را در خاک‌های آهکی به خوبی پیش‌بینی نماید. سماواتی و حسین‌پور (۲۰۱۱) مشاهده نمودند در برخی خاک‌های استان همدان دی‌کلسیم فسفات و اکتاکلسیم فسفات همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های رشد سیر داشت ولی فسفات‌های آهن همبستگی معنی‌داری نداشتند و چنین نتیجه گرفتند که احتمالاً فسفر پیوند شده با آهن نمی‌تواند نقش مهمی در فراهمی فسفر برای گیاه سیر در خاک‌های مورد مطالعه داشته باشد. فسفر آلی نیز همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های گیاهی نداشت و آنان علت این امر را کم بودن مقدار ماده آلی خاک‌های مورد مطالعه عنوان کردند. شریعتمداری و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی از روش ژانگ و کواری (۲۰۰۰) برای جداسازی شکل‌های فسفر آلی استفاده و گزارش کردند که عملکرد ماده خشک گیاه گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر LOP، Fe-P، Ca_۲-P و MLOP^۲ قرار می‌گیرد. در این پژوهش همه شکل‌های آلی و معدنی به‌جز Al-P، اکتاکلسیم فسفات (Ca_۸-P) و NLOP^۳ رابطه معنی‌داری با مقدار یا غلظت فسفر در بافت گیاهی گندم داشتند. با توجه به منابع مرور شده، هدف از انجام این پژوهش تعیین

- 1- Labile Organic Phosphorus
- 2- Moderately Labile Organic Phosphorus
- 3- Non-Labile Organic Phosphorus

روابط شکل‌های مختلف فسفر معدنی و آلی در برخی خاک‌های آهکی استان آذربایجان شرقی با جذب فسفر و برخی پارامترهای رشد گیاه ذرت در خاک‌های مورد مطالعه بود که تاکنون گزارش چاپ شده‌ای در این مورد وجود ندارد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و انتخاب خاک‌های مورد بررسی

۲۰ نمونه خاک مرکب سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) از مناطق مختلف زراعی استان آذربایجان شرقی از بین ۵۰ نمونه با انجام تجزیه کلاستر طوری انتخاب شدند که اولاً منطقه وسیعی را شامل شوند و ثانیاً از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از دامنه خوبی برخوردار باشند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بافت خاک به روش هیدرومتر چهار زمانه (گی و بودر، ۲۰۰۲)، pH در عصاره ۱ به ۲ خاک به محلول (توماس، ۱۹۹۶)، کربن آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز، ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید (آلیسون و مودی، ۱۹۶۵)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (اولسن و سومرز، ۱۹۸۲) و فسفر آلی و فسفر کل به روش هضم با اسید (والکر و آدامز، ۱۹۵۸) تعیین شدند. برای جداسازی و تعیین شکل‌های مختلف فسفر معدنی از روش جیانگ و گو (۱۹۸۹) و برای جداسازی و تعیین شکل‌های فسفر آلی از روش ژانگ و کوار (۲۰۰۰) استفاده شد (جدول‌های ۲ و ۳). فسفر موجود در تمامی عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی با اسید آسکوربیک (روش آبی) تعیین شد (مورفی و ریلی، ۱۹۶۲).

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های گیاهی و میزان فسفر جذب شده، گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در گلخانه در خاک‌های مورد مطالعه در ۳ تکرار کاشته شد. مقدار ۲/۵ کیلوگرم خاک در هر گلدان ریخته شد. به غیر از فسفر بقیه عناصر بر طبق آزمون خاک و توصیه‌های رایج کودی مصرف شد. برای این منظور مقدار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره، ۱۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی و ۵ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک از منبع کلات آهن در گلدان‌ها استفاده شد. به دلیل این که خاک‌ها کمبود پتاسیم نداشتند، پتاسیم مصرف نشد. رطوبت خاک داخل گلدان‌ها در طول دوره رشد بین FC و ۰/۷ FC از طریق توزین کنترل شد. پس از ۲ ماه گیاهان از گلدان خارج و بخش هوایی و ریشه از هم تفکیک شده و با آب مقطر شسته و آماده تجزیه شدند. ابتدا ماده خشک بخش‌های هوایی و ریشه ذرت در هر خاک بر حسب گرم بر گلدان تعیین شد. غلظت فسفر گیاه پس

از هضم به روش تر (والینگ و همکاران، ۱۹۸۹) با روش زرد و دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و جذب فسفر توسط بخش هوایی و ریشه‌ها محاسبه گردید (جدول ۵). همبستگی پارامترهای گیاهی با فسفر قابل جذب و شکل‌های فسفر معدنی و آلی نیز توسط نرم‌افزار SPSS محاسبه شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه: خاک‌های مورد مطالعه از نظر درصد شن، سیلت و رس، میزان کربنات کلسیم معادل، فسفر کل و فسفر قابل جذب (Olsen-P) از دامنه به نسبت خوبی برخوردار بودند (جدول ۱). بیش‌ترین ضریب تغییرات متعلق به فسفر قابل جذب بود. در خاک‌های مورد مطالعه ۷۹ درصد فسفر کل به شکل معدنی و ۲۱ درصد آن به شکل آلی بود. هم‌چنین فسفات‌های کلسیم شکل غالب فسفر معدنی بودند. مقدار شکل‌های معدنی فسفر به ترتیب آپاتیت (Ca_{۱۰}-P) < اکتا کلسیم فسفات (Ca_۸-P) < فسفات آلومینیوم (Al-P) < فسفات آهن (Fe-P) < دی کلسیم فسفات (Ca_۲-P) بود. مقدار شکل‌های آلی فسفر نیز به ترتیب فسفر آلی به نسبت ناپایدار (MLOP) < فسفر آلی ناپایدار (LOP) < فسفر آلی پایدار (NLOP) بود (جدول ۴).

همبستگی شکل‌های معدنی و آلی فسفر خاک با پاسخ‌های گیاهی: فسفر قابل جذب، شکل‌های دی کلسیم فسفات، فسفات آهن و شکل پایدار فسفر آلی با ماده خشک، غلظت فسفر و مقدار (جذب) فسفر بخش هوایی ذرت رابطه مثبت و معنی‌دار و شکل آپاتیت نیز رابطه منفی معنی‌دار داشتند و در بخش ریشه نیز تنها شکل آپاتیت رابطه منفی معنی‌داری با ماده خشک و جذب فسفر ریشه نشان داد (جدول ۶).

جدول ۱- توصیف آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

شماره	رس (درصد)	کربن آلی	CCE	pH	Olsen-P	فسفر آلی	فسفر کل
					(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)
حداقل	۱۲/۵	۰/۱	۷/۰	۷/۳	۳/۲	۹۴/۴	۵۳۴/۱
حداکثر	۵۷/۲	۱/۶	۳۵/۰	۸/۰	۶۹/۰	۲۴۳/۰	۱۰۶۱/۴
میانگین	۳۲/۰	۰/۹	۲۱/۵	۷/۵	۱۳/۰	۱۶۲/۰	۷۷۱/۳
انحراف معیار	۱۲/۴	۰/۴	۹/۷	۰/۱۸	۱۸/۲	۴۳/۱	۱۳۲/۶۷
ضریب تغییرات	۳۸/۷	۴۴/۴	۴۵/۱	۲/۴	۱۳۹/۵	۲۶/۶	۱۷/۲

جدول ۲- خلاصه عصاره‌گیری متوالی شکل‌های معدنی فسفر.

شکل معدنی فسفر	علامت	مدت تکان دادن (ساعت)	عصاره‌گیر	غلظت عصاره‌گیر (M)
دی‌کلسیم فسفات	Ca _۲ -P	۱	NaHCO _۳ و pH= ۷/۵	۰/۲۵
اکتاکلسیم فسفات	Ca _۸ -P	۱	NH _۴ AC و pH= ۴/۲	۰/۵
فسفات آلومینیوم	Al-P	۱	NH _۴ F و pH= ۸/۲	۰/۵
فسفات آهن	Fe-P	۲-۲	Na _۲ CO _۳ - NaOH	۰/۱-۰/۱
فسفر محبوس	OC-P	۱۶	Na _۲ Cit - Na _۲ S _۲ O _۴ - NaHCO _۳	۰/۳-۱
آپاتیت	Ca _{۱۰} -P	۱	H _۲ SO _۴	۰/۲۵

جدول ۳- خلاصه عصاره‌گیری متوالی شکل‌های آلی فسفر.

شکل آلی فسفر	علامت	مدت تکان دادن (ساعت)	عصاره‌گیر	غلظت عصاره‌گیر (M)
ناپایدار	LOP	۱۶	NaHCO _۳ و pH= ۸/۵	۰/۵
به نسبت ناپایدار	MLOP	۳-۳	NaOH-HCl	۱-۰/۵
پایدار	NLOP	۲۴	H _۲ SO _۴	۱

جدول ۴- توصیف آماری توزیع مقادیر شکل‌های معدنی و آلی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه (میلی‌گرم بر کیلوگرم).

	شکل‌های فسفر آلی			شکل‌های فسفر معدنی				
	NLOP	MLOP	LOP	Ca _{۱۰} -P	Fe-P	Al-P	Ca _۸ -P	Ca _۲ -P
حداقل	۲۰/۱	۵۲/۴	۲۹/۱	۳۶/۸	۵/۸	۲۲/۷	۲۷/۳	۵/۱
حداکثر	۱۲۸/۹	۱۱۳/۲	۸۵/۴	۵۳۷/۵	۶۹/۳	۱۴۵/۸	۵۸۲/۶	۸۲
میانگین	۵۳/۲	۶۴/۷	۵۲/۲	۲۴۴/۹	۲۴/۵	۶۱/۰	۲۳۴/۱	۱۶/۵
انحراف معیار	۳۶	۱۴/۸	۱۳/۱	۱۵۲/۳	۲۰	۳۲/۶	۱۵۴/۸	۱۷/۸

رگرسیون چندمتغیره گام به گام (ماده خشک بخش هوایی و ریشه به‌عنوان متغیر وابسته و مقدار فسفر به شکل‌های معدنی و آلی به‌عنوان متغیر مستقل) نشان داد که شکل‌های Ca_۲-P برای ماده خشک بخش هوایی و شکل Ca_{۱۰}-P برای ماده خشک ریشه وارد مدل می‌شوند و معادله‌های خط رگرسیون به‌صورت زیر است:

$$\text{Dry matter (g/pot)} = 0.167 \text{ Ca}_2\text{-P} + 3.606 \quad r=0.67^{**} \quad (1) \quad \text{برای بخش هوایی:}$$

$$\text{Dry matter (g/pot)} = 1.34 - 0.001 \text{ Ca}_1\text{-P} \quad r=-0.59^* \quad (2) \quad \text{برای ریشه:}$$

بر اساس نتایج معادله‌های رگرسیونی می‌توان چنین نتیجه گرفت که احتمالاً غلظت دی‌کلسیم فسفات و آپاتیت در خاک به ترتیب تغییرات ماده خشک بخش هوایی و ریشه را به صورت تأثیر مثبت و منفی کنترل می‌کنند (رابطه‌های ۱ و ۲). این یافته مطابق با گزارش نجفی و توفیقی (۲۰۰۶) و نجفی و توفیقی (۲۰۰۹) است که گزارش کردند در خاک‌های آهنی ضریب همبستگی ساده ماده خشک بخش هوایی گیاه برنج با شکل‌های دی‌کلسیم فسفات و فسفات آهن معنی‌دار بود ولی با فسفر قابل جذب و شکل‌های دیگر رابطه معنی‌داری نداشتند. هم‌چنین آنان گزارش کردند غلظت دی‌کلسیم فسفات و اکتاکلسیم فسفات در خاک ریشه سپهر (ریزوسفر) بهتر از غلظت آن‌ها در توده خاک تغییرات ماده خشک بخش هوایی را کنترل می‌کند. هم‌چنین نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج کامپراس و واتسون (۱۹۸۰) مطابقت داشت. آنان گزارش کرده‌اند که در خاک‌های آهنی شکل‌هایی از فسفر که با رشد گیاه همبستگی دارند، غالباً فسفات‌های کلسیم جذب شده بر سطح کربنات‌های کلسیم می‌باشند. هم‌چنین آنان گزارش کردند که در خاک‌های اسیدی تا خنثی، Al-P به عنوان منبع اصلی فسفر جذب شده گیاه است که همراه آن CaHPO_4 نیز در صورت وجود، جذب خواهد شد. بنابراین هر عصاره‌گیری که Al-P و CaHPO_4 را استخراج کند، شاخص خوبی از فسفر قابل جذب گیاه در این خاک‌ها خواهد بود. سالک و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که بین عملکرد برنج و فسفات‌های آهن و آلومینیوم رابطه خطی وجود داشت، اما هنریکوئز و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که بین عملکرد نیشکر و فسفات‌های آهن و آلومینیوم رابطه درجه دوم وجود داشت. معادله‌های رگرسیونی ساده و چندمتغیره برای غلظت فسفر بخش هوایی ذرت نیز به صورت زیر بود:

$$P_{\text{Plant}} \text{ (mg P/kg Dry matter)} = 0.013 \text{ Fe-P} + 4.176 \quad r=0.57^{**} \quad (3)$$

$$P_{\text{Plant}} \text{ (mg P/kg Dry matter)} = 0.013 \text{ Fe-P} - 0.016 \text{ LOP} + 5.008 \quad r=0.74^{**} \quad (4)$$

$$P_{\text{Plant}} \text{ (mg P/kg Dry matter)} = 0.003 \text{ Fe-P} - 0.023 \text{ LOP} + 0.68 \text{ Ca}_2\text{-P} + 4.867 \quad r=0.83^{**} \quad (5)$$

$$P_{\text{Plant}} \text{ (mg P/kg Dry matter)} = 0.079 \text{ Ca}_2\text{-P} - 0.024 \text{ LOP} + 4.869 \quad r=0.82^{**} \quad (6)$$

جدول ۵- ویژگی های گیاهی اندازه گیری شده.

شماره نمونه	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک بخش هوایی (گرم)	غلظت فسفر ریشه (میلی گرم بر گرم)	غلظت فسفر بخش هوایی (میلی گرم بر گرم)	مقدار فسفر ریشه (میلی گرم بر گلدان)	مقدار فسفر بخش هوایی (میلی گرم بر گلدان)
۱	۱/۴۵	۶/۴۸	۰/۵۴	۵/۳۴	۰/۷۸	۳۴/۶
۲	۱/۲۵	۶/۲۰	۰/۵۲	۴/۵۶	۰/۶۵	۲۸/۲۷
۳	۱/۱۴	۵/۳۱	۰/۵۱	۴/۹۴	۰/۵۹	۲۶/۲۳
۴	۰/۷۲	۳/۳۶	۰/۶۶	۵/۱۵	۰/۴۷	۱۷/۳۰
۵	۰/۵۵	۴/۰۵	۰/۵۱	۴/۰۵	۰/۲۸	۱۶/۴۰
۶	۰/۴۶	۳/۸۱	۰/۵۷	۴/۲۳	۰/۲۶	۱۶/۱۱
۷	۰/۳۲	۲/۱۵	۰/۴۴	۴/۸۴	۰/۱۵	۱۰/۴۰
۸	۱/۰۶	۵/۴۲	۰/۵۵	۴/۴	۰/۵۸	۲۶/۲۳
۹	۱/۱۴	۵/۷۹	۰/۵۴	۴/۲۵	۰/۶۱	۲۵/۴۷
۱۰	۱/۳	۵/۸	۰/۵۱	۵/۱۱	۰/۸۱	۲۴/۶۵
۱۱	۰/۷۶	۵/۱۸	۰/۵۱	۴/۲۱	۰/۳۹	۲۱/۸۰
۱۲	۱/۲۵	۶/۵۵	۰/۵۹	۵/۰۱	۰/۷۵	۳۲/۸۱
۱۳	۰/۹۵	۶/۱۸	۰/۵۷	۴/۸۹	۰/۵۴	۳۰/۲۲
۱۴	۱/۳۲	۵/۲۲	۰/۵۱	۴/۲۵	۰/۶۷	۲۲/۱۸
۱۵	۱/۱۹	۵/۱۴	۰/۴۹	۳/۸۳	۰/۵۸	۱۹/۶۸
۱۶	۱/۱۲	۶/۲۶	۰/۵۵	۴/۶۸	۰/۶۱	۲۹/۳۰
۱۷	۰/۸۷	۵/۰۸	۰/۵۰	۴/۶۵	۰/۴۳	۲۳/۶۲
۱۸	۱/۱۲	۴/۶۸	۰/۵۰	۴/۱۹	۰/۵۶	۱۹/۶۱
۱۹	۱/۳۰	۵/۲۰	۰/۵۱	۴/۲۳	۰/۶۷	۲۲/۰۰
۲۰	۱/۱۲	۴/۳۶	۰/۵۱	۴/۲۱	۰/۵۷	۱۸/۳۵

در مورد بخش ریشه، همبستگی غلظت فسفر ریشه ذرت با شکل های دی کلسیم فسفات ($\text{Ca}_2\text{-P}$)، فسفات های آهن (Fe-P) و فسفر قابل جذب (Olsen-P) معنی دار شد ($P < 0.01$) ولی با بقیه شکل های فسفر رابطه معنی داری مشاهده نشد. در ضمن بیشترین ضریب همبستگی مربوط به فسفر قابل جذب بود. زمانی که همه شکل های فسفر و فسفر قابل جذب یکجا به عنوان متغیر مستقل وارد مدل شدند در نهایت معادله خط رگرسیونی به شکل زیر به دست آمد:

$$P_{\text{Plant}} \text{ (mg P/kg Dry matter)} = 0/012 \text{ Olsen-P} + 0/455 \quad r=0/79^{**} \quad (7)$$

اما زمانی که فسفر قابل جذب از بین متغیرهای مستقل حذف گردید معادله‌های خط رگرسیون به صورت زیر به دست آمدند شدند:

$$P_{\text{Plant}} \text{ (mg P/kg Dry matter)} = 0/007 \text{ Ca}_2\text{-P} + 0/454 \quad r=0/77^{**} \quad (8) \text{ گام اول}$$

$$P_{\text{Plant}} \text{ (mg P/kg Dry matter)} = 0/009 \text{ Ca}_2\text{-P} - 0/001 \text{ LOP} + 0/499 \quad r=0/84^{**} \quad (9) \text{ گام دوم}$$

$$P_{\text{Plant}} \text{ (mg P/kg Dry matter)} = 0/01 \text{ Ca}_2\text{-P} - 0/001 \text{ LOP} + 0/0001 \text{ AL-P} + 0/512 \quad r=0/91^{**} \quad (10) \text{ گام سوم}$$

در این رابطه‌ها شکل‌های مختلف فسفر به ترتیب اهمیت خود در تأمین غلظت فسفر ریشه وارد مدل شده‌اند. از آنجایی $\text{Ca}_2\text{-P}$ به دلیل حلالیت بالا از اهمیت زیادی برخوردار است در ابتدا وارد مدل شده و بقیه شکل‌ها بعداً وارد مدل می‌شوند. البته مقادیر شیب این صفات بیانگر همین قضیه می‌باشد. مثلاً شیب مربوط به $\text{Ca}_2\text{-P}$ یعنی ۰/۰۱ در گام سوم ده برابر LOP بوده و اهمیت صفت نام برده را می‌رساند.

همچنین اگر فقط شکل‌های معدنی فسفر به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شوند معادله‌های رگرسیونی به صورت زیر در می‌آید:

$$P_{\text{Plant}} \text{ (mg P/kg Dry matter)} = 0/007 \text{ Ca}_2\text{-P} + 0/454 \quad r=0/77^{**} \quad (11) \text{ گام اول}$$

$$P_{\text{Plant}} \text{ (mg P/kg Dry matter)} = 0/009 \text{ Ca}_2\text{-P} + 0/0001 \text{ Al-P} + 0/469 \quad r=0/84^{**} \quad (12) \text{ گام دوم}$$

سماواتی و حسین‌پور (۲۰۱۱) در برخی خاک‌های استان همدان گزارش کردند که دی‌کلسیم فسفات و اکتاکلسیم فسفات همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های گیاهی در سیر داشت. مقدار فسفر بخش هوایی ذرت با شکل‌های دی‌کلسیم فسفات ($\text{Ca}_2\text{-P}$) و فسفات آهن (Fe-P) در سطح احتمال ۱ درصد و با فسفر قابل جذب (Olsen-P)، فسفر آلی پایدار (NLOP) در سطح احتمال ۵ درصد همبستگی ساده معنی‌داری نشان داد (جدول ۶). با توجه به معادله خط رگرسیون و رابطه نزدیک دی‌کلسیم فسفات و فسفات آهن با فسفر جذب شده بخش هوایی ذرت می‌توان چنین نتیجه گرفت

که احتمالاً Olsen-P به تنهایی نتواند فسفر قابل جذب ذرت را در خاک‌های آهکی به خوبی پیش‌بینی کند. معادله‌های رگرسیونی به صورت زیر بود (شکل‌های معدنی و آلی و فسفر قابل جذب به عنوان متغیر مستقل):

$$P \text{ Uptake (mg P/pot)} = 1/0.62 \text{ Ca}_2\text{-P} + 12/9.03 \quad r=0.781^{**} \quad (13)$$

$$P \text{ Uptake (mg P/pot)} = -0/0.001 \text{ Ca}_{10}\text{-P} + 0/722 \quad r=-0/662^{**} \quad (14)$$

ضریب همبستگی مقدار فسفر بخش ریشه ذرت نیز تنها با آپاتیت ($\text{Ca}_{10}\text{-P}$) منفی و معنی‌دار شد ($P < 0/01$) و با بقیه شکل‌ها رابطه معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به حل‌پذیری بسیار کم این شکل فسفر در خاک‌های آهکی این رابطه منفی قابل انتظار بود. اگرچه در محیط ریشه به دلیل اثر ریشه سپهر ریشه و تولید اسیدهای آلی در اطراف آن مقداری از آپاتیت به صورت محلول در می‌آید و توسط ریشه‌ها جذب و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (نجفی و توفیقی، ۲۰۰۶). هانلی (۱۹۶۲) گزارش کرد که بین فسفات‌های آلومینیوم و جذب فسفر توسط گیاهان چاودار، شبدر و چغندقند همبستگی وجود داشت ولی فسفات‌های آهن به مقدار کم‌تری در جذب فسفر نقش داشتند. در مقابل مارتنز و همکاران (۱۹۶۹) گزارش دادند که جذب فسفر در خاک آهکی به وسیله فسفات‌های کلسیم توجیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که ماده خشک بخش هوایی ذرت با شکل‌های Fe-P ، $\text{Ca}_2\text{-P}$ ، $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ و NLOP و فسفر قابل جذب خاک رابطه معنی‌داری داشت اما بیش‌ترین ضریب همبستگی مربوط به شکل $\text{Ca}_2\text{-P}$ بود. ضریب همبستگی ماده خشک ریشه نیز با $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ منفی و معنی‌دار بود. همبستگی غلظت فسفر بخش هوایی ذرت در سطح احتمال ۵ درصد و غلظت فسفر ریشه در سطح احتمال ۱ درصد با شکل‌های Fe-P ، $\text{Ca}_2\text{-P}$ و Olsen-P معنی‌دار بود. بین مقدار فسفر بخش هوایی ذرت و شکل‌های Fe-P ، $\text{Ca}_2\text{-P}$ و فسفر قابل جذب خاک همبستگی معنی‌داری مشاهده گردید. مقدار فسفر ریشه همبستگی منفی معنی‌داری با $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ داشت. به نظر می‌رسد شکل دی‌کلسیم فسفات منبع فسفر قابل جذب ذرت در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد و بنابراین در پژوهش‌های بعدی انتخاب عصاره‌گیر برتر یا تغییر ویژگی‌های عصاره‌گیر برتر باید در راستای استخراج بیش‌تر فسفر از این شکل معدنی فسفر باشد.

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده پارامترهای گیاهی ذرت در بخش هوایی و ریشه با فسفر قابل جذب و شکل‌های فسفر.

آلی		معدنی							
NLOP	MLOP	LOP	Ca ₁ -P	Fe-P	Al-P	Ca _v -P	Ca _s -P	Olsen-P	
۰/۵۶ ^o	۰/۴۶ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	-۰/۶۴ ^o	۰/۵۹ ^o	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۰/۶۶ ^o	۰/۵۱ ^o	بخش هوایی
۰/۳۷ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۳۰ ^{ns}	-۰/۵۹ ^o	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۴۵ ^{ns}	-۰/۰۱ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	ریشه
۰/۲۵ ^{ns}	-۰/۰۰ ^{ns}	-۰/۴۷ ^{ns}	-۰/۰۳ ^{ns}	۰/۵۷ ^o	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۴۹ ^o	۰/۵۲ ^o	بخش هوایی
۰/۴۷ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	-۰/۰۸ ^{ns}	-۰/۲۷ ^{ns}	۰/۶۴ ^o	-۰/۰۴ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۷۷ ^o	۰/۸۹ ^o	ریشه
۰/۵۲ ^o	۰/۲۸ ^{ns}	-۰/۰۱ ^{ns}	-۰/۴۵ ^{ns}	۰/۶۶ ^o	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}	۰/۶۸ ^o	۰/۵۸ ^o	بخش هوایی
۰/۴۷ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	-۰/۶۶ ^o	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۴۸ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	ریشه

ماده خشک (گرم)

غلظت فسفر (میلی گرم بر گرم)

مقدار فسفر (میلی گرم بر گلدان)

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول می‌باشد که بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز سپاسگزاری می‌نمائیم.

منابع

1. Al-Abbas, A.H., and Barber, S.A. 1964. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus and correlation of soil phosphorus fractions with plant available phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 28: 218-221.
2. Allison, L.E., and Moodie, C.D. 1965. Carbonates. P1379-1396, In: Black, C.A (eds). *Method of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* ASA: Madison, WI.
3. Chang, S.C., and Jackson, M.L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84:133-144.
4. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 2002. Particle size analysis. P 201-214, In: Jacob, H.D., and Clarke Topp, G. (eds), *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods.* SSSA. Madison, WI.
5. Hanley, P.K. 1962. Soil phosphorus forms and their availability to plants. *Irish J. Agron. Res.* 1: 192-193.
6. Henriquez, C., Bertsch, F., and Killorn, R. 2004. Sugarcane production and changes in soil phosphorus forms after organic and inorganic fertilization. *Better Crops*, 88: 28-31.
7. Khodabandeh, N. 2000. *Cereal*, 6th edition. Tehran University Press, 537p. (In Persian)
8. Jiang, B., and Gu, Y. 1989. A suggested fractionation scheme for inorganic phosphorus in calcareous soil. *Fert. Research.* 20: 150-165.
9. Kamprath, E.J., and Watson, M.E. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status soils. P 433-469, In: Khasawneh et al. (eds), *The Role of Phosphorus in Agriculture.* ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
10. Martens, D.C., Lutz, J.A., and Jones, G.D. 1969. Forms and availability of phosphorus in selected Virginia soils as related to available phosphorus tests. *Agron. J.* 61: 616-621.
11. Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Waters. Anal. Chem. Acta J.* 27: 31-36.
12. Najafi, N., and Towfigi, H. 2006. Effects of rhizosphere of rice plant on the inorganic phosphorous fractions in the paddy soils of north of Iran: 1-Native soil phosphorus fractions. *Iran. J. Agric. Sci.* 5: 5. 919-935. (In Persian)
13. Najafi, N., and Towfighi, H. 2009. Determination of inorganic phosphorus fractions and their relations with each other and available phosphorus in paddy soils of north of Iran. In: *Proceedings of the 11th Iranian Soil Science Congress*, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)

14. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 961-1010, In: Sparks, D.L. (Eds), *Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods*. SSSA. Madison, WI.
15. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. P 403-430, In: Klute, A. (Eds), *Methods of soil Analysis: Chemical and microbiological Properties, part 2*. 2nd Edition. Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison WI.
16. Patrick, W.H.J., and Mahapatra, I.C. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Agron. J.* 20: 323-359.
17. Saleque, M.A., Naher, U.A., Islam A., Pathan, A.B.M, Hossain, A.T.M.S., and Meisner, C.A. 2004. Inorganic and organic phosphorus fertilizers effects on the phosphorus fractionation in wetland rice soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1635-1644.
18. Samadi, A. 2006. Contribution of inorganic phosphorus fractions to plant nutrition in alkaline-calcareous soils. *J. Agric. Sci. Technol.* 8: 77-89.
19. Samavati, M., and Hosseinpour, A. 2011. Phosphorus fractions and availability in some calcareous soils in Hamedan province. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 15: 55. 127-138. (In Persian)
20. Schmidt, J.P., Buol, S.W., and Kamprath, J. 1996. Soil phosphorus dynamics during seventeen years of continuous cultivation: Fractionation analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1168-1172.
21. Shariatmadari, H., Shirvani, M., and Dehghan, R.A. 2007. Availability of organic and inorganic phosphorus fractions to wheat in toposequences of calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38: 2601-2617.
22. Smith, A.N. 1965. The supply of soluble phosphorus to wheat plant from inorganic soil phosphorus. *Plant Soil.* 22: 314-316.
23. Thomas, G.W. 1996, Soil pH and soil acidity. P 475-49, In: Sparks, D.L. (eds), *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*. Soil Sci. Soc. Am. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA.
24. Waling, I., VanVark, W., Houba, V.J.G., and Vanderlee, J.J. 1989. *Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures*. Wageningen Agriculture University. Netherland.
25. Walker, T.W., and Adams, A.F.R. 1958. Studies on soil organic matter: I. Influence of phosphorus content of parent material on accumulation of carbon, nitrogen, sulfur and organic phosphorus in grassland soils. *Soil Sci.* 85: 307-318.
26. Zhang, H., and Kovar, J.L. 2000. Phosphorus fractionation. P 50-59, In: Pierzynski, G.E (eds), *Methods of Phosphorus Analysis for Soil, Sediments, Residues and Waters*; Southern Cooperative Series Bulletin No. 369, NCSU: Raleigh, NC.
27. Zhang, T.Q., and Mackenzie, A.F. 1997. Changes of soil phosphorus fractions under long-term corn monoculture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 485-493.



Relationships between inorganic and organic phosphorus fractions with corn growth and phosphorus uptake in some soils of East Azerbaijan Province

N. Heydari¹, *A. Reyhanitabar², N. Najafi³ and Sh. Oustan³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Tabriz, ²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Tabriz, ³Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Tabriz

Received: 02/26/2013; Accepted: 05/15/2013

Abstract

Phosphorus (P) is the second limiting nutrient in soils for crop production after nitrogen. Information about the chemical forms of P in the soil and their relationships with corn growth and P uptake is important for the evaluation of P status and soil fertility and plant nutrition. To obtain such information 20 composite soil samples from depth of 0-30 cm were collected and P fractions were determined by sequential fractionation method. Results showed that shoot dry matter of corn had a significant relationships with chemical forms of phosphorus including dicalcium phosphate (Ca₂-P), iron phosphate (Fe-P), apatite (Ca₁₀-P), non labile organic P (NLOP) and available-P (Olsen-P). Ca₂-P had a strong significant relationship with all growth parameters of corn (including dry matter, P concentration and shoot P uptake) and was presented in all regression equations. Root dry matter had a negative and significant correlation with Ca₁₀-P. Ca₂-P, Fe-P and Olsen-P had positive and significant relationship with shoot and root P concentration. Ca₁₀-P had a negative and significant relationship with root P uptake. Finally, it was concluded that Ca₂-P is probably the major source of available P for corn plant in studied soils.

Keywords: Corn, East Azerbaijan, Sequential fractionation, Phosphorus

* Corresponding Authors; Email: areyhani@tabrizu.ac.ir