

آثار ریزوسفری سه پایه مرکبات بر برخی ویژگی‌های زیستی و اجزاء فسفر در یک خاک آهکی

طاهره رئیسی^{۱*} و بیژن مرادی

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۷)

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی آثار ریزوسفری سه پایه مرکبات بر تعدادی از ویژگی‌های زیستی و اجزاء فسفر در یک خاک آهکی تیمار نشده و تیمار شده با فسفر اجرا شد. بدین منظور یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به صورت گلدانی اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل پرتقال پیوند شده تامسون (*Citrus sinensis* L. Osbeck) روی سه پایه مختلف مرکبات (سیتروملو، سیترنج و نارنج) و دو سطح کاربرد کود فسفر (۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بودند. هجده ماه پس از کاشت نهال‌ها در گلدان‌ها، گیاهان برداشت شده و برخی ویژگی‌های زیستی شامل کربن آلی محلول، جمعیت باکتری و قارچ، فسفر زیست‌توده میکروبی، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی و نیز فسفر قابل استفاده و شکل‌های مختلف فسفر (شامل فسفر محلول و تبادل، فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم، فسفر مرتبط با کلسیم، فسفر باقی‌مانده) در نمونه خاک‌های ریزوسفری اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد صرف نظر از سطح کاربرد فسفر، مقدار کربن آلی محلول و نیز جمعیت قارچ و باکتری در خاک ریزوسفری پایه نارنج در مقایسه با دو پایه دیگر بیش‌تر بود، اما در بین پایه‌های مورد بررسی کم‌ترین pH، و نیز فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و فسفر زیست‌توده میکروبی در ریزوسفر نارنج به دست آمد ($p < 0/05$). همچنین مقدار فسفر قابل استفاده در ریزوسفر نارنج به‌طور معنی‌داری کم‌تر از دو پایه دیگر بود ($p < 0/05$). همچنین تنها شکل فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم و فسفر محلول متأثر از فعالیت ریشه و سطح فسفر کاربردی بودند اما فعالیت ریشه مرکبات اثر معنی‌داری بر فسفر مرتبط با کلسیم و فسفر باقی‌مانده نداشت و این دو شکل فسفر تنها متأثر از سطح کاربرد فسفر بودند ($p < 0/05$). به‌طور خلاصه به‌نظر می‌رسد، با توجه به نتایج در میان پایه‌های مورد بررسی، پایه نارنج می‌تواند از طریق اصلاح شرایط زیستی و شیمیایی محیط پیرامون ریشه خود و نیز تغییر اجزاء فسفر در خاک ریزوسفری، کارایی جذب فسفر از خاک مورد بررسی را بهبود ببخشد.

واژه‌های کلیدی: جمعیت میکروبی، خاک آهکی، شکل‌های فسفر، عصاره‌گیری متوالی.

مقدمه

گیاه شامل فسفر (۱۸، ۲۸) و از سوی دیگر نیازمند توجه به خطرات زیست‌محیطی ناشی از افزایش بی‌رویه مصرف این عناصر غذایی است. فراهمی فسفر برای گیاه به نوع خاک، شکل‌ها و مقدار فسفر در خاک بستگی دارد (۲۶). سرنوشت کود فسفره در خاک‌های آهکی شامل واکنش‌های پیچیده‌ای

فراهمی فسفر برای گیاهان به دلیل حلالیت کم منابع آلی و معدنی فسفر در خاک و تثبیت کودهای فسفر در بسیاری از خاک‌ها کم است (۴). مدیریت سیستم کشاورزی پایدار از یک‌طرف نیازمند تأمین مقادیر کافی از عناصر غذایی مورد نیاز

۱- پژوهشگر مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: taraiesi@gmail.com

کاربرد مقدار زیادی از کود فسفر، مقدار فسفر خاک مازاد بر نیاز گیاه است (۳۲). از سوی دیگر، معمولاً حدود ۲۱-۵٪ کل تولیدات فتوسنتزی گیاهان به صورت ترکیبات آلی از طریق ترشحات ریشه وارد محیط ریزوسفر می شود (۲۳) که می تواند منبع مهمی از انرژی برای ریزجانداران ریزوسفری باشد (۳۸). ریزجانداران می توانند سهم مهمی در فراهمی عناصر غذایی و نگهداشت آنها داشته باشند (۲۷). بنابراین پویایی و فراهمی فسفر در خاک های ریزوسفری به وسیله ترکیبی از فرایندهای زیستی (معدنی شدن و آلی شدن) و فرایندهای شیمیایی (جذب- واجذبی و انحلال-رسوب) کنترل می شود. تاکنون درک کاملی از برهم کنش میان ریشه گیاهان چوبی، کودهای شیمیایی فسفر و حلالیت فسفر به دلیل وجود روابط پیچیده بین این ترکیبات حاصل نشده است. ریشه گیاه به طور مستقیم از طریق فعالیت خود یا به طور غیرمستقیم از طریق تحریک جمعیت و فعالیت ریزجانداران می تواند، شرایط میکروبیولوژیک و شیمیایی متفاوتی در پیرامون خود ایجاد کند، که این موارد به نوبه خود می توانند بر جزءبندی و فراهمی عناصر غذایی اثر گذاشته و به دنبال آن وضعیت تغذیه ای متفاوت این منطقه نسبت به سایر بخش های خاک (توده خاک) را باعث شود (۲۹).

در تولید بسیاری از انواع میوه ها مانند مرکبات استفاده از پایه به عنوان سیستم ریشه درخت با هدف افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل بیماری زا و نیز افزایش تحمل به تنش های غیرزیستی شامل شوری، فلزهای سنگین و قلیائیت متداول است (۳۰). از آنجا که پایه ها سیستم ریشه درخت را تشکیل می دهند، بنابراین بر جذب آب، عناصر غذایی و انتقال آنها به قسمت های مختلف گیاه و نیز بر حاصلخیزی خاک و نیاز کودی اثرگذار هستند. نارنج پایه رایج مورد استفاده برای انواع مرکبات در مناطق شمالی کشور است. سیترنج و سیتروملو نیز عمدتاً به دلیل رشد رویشی قوی و تحمل نسبت به بیماری تریتزا از مهم ترین پایه های مرکبات در جهان هستند که در استان مازندران با وسعت کمتری در مقایسه با پایه نارنج به عنوان پایه برای مرکبات استفاده می شوند. پتانسیل ژنتیکی

است که فرایندهای جذب و رسوب را دربر می گیرند. اطلاع از شکل های غالب فسفر ناشی از جذب و رسوب می تواند شاخص خوبی از اثر شیوه های مدیریتی، منابع کود و روش های کاربرد کود بر فراهمی فسفر در خاک ارائه کند (۲۱). علاوه بر این، فسفر باقی مانده در خاک ناشی از کوددهی در گذشته می تواند با یک تأخیر زمانی نیاز گیاهان به کود فسفر در آینده را تأمین کند (۳۲). بنابراین، افزایش توان گیاهان برای استفاده از فسفر تجمع یافته در خاک در تولید محصول مؤثر است. کاهش سنگ فسفات و افزایش نگرانی های زیست محیطی ناشی از افزایش کاربرد کود فسفر تمایل به سوی استفاده از ارقام کارا در جذب و استفاده فسفر را افزایش داده است (۲۹). بسیاری از ژنوتیپ های گیاهی که از کارایی زیادی در جذب فسفر از خاک های دارای کمبود این عنصر برخوردارند، قادر به حفظ این ویژگی در شرایط تأمین مقادیر زیاد فسفر در خاک نیستند (۳۳). بنابراین ژنوتیپی در میان ژنوتیپ های یک گونه برتر است که قادر باشد در هر دو شرایط کفایت و یا کمبود یک عنصر غذایی مشخص، بیشترین کارایی جذب و مصرف را داشته باشد.

گیاهان مکانیسم های سازگاری زیادی برای افزایش جذب فسفر به ویژه در خاک های با قدرت آزادسازی فسفر محدود به کار می گیرند (۲۹). برخی از این سازوکارها شامل (۱) ترشح پروتون در ریزوسفر با هدف افزایش حلالیت شکل های کم تر محلول فسفر از طریق کاهش pH ریزوسفر (۱۳)، (۲) ترشح مقادیر زیاد اسیدهای کربوکسیلیک با هدف متحرک سازی شکل های غیرقابل دسترس فسفر شامل فسفات های آهن، آلومینیوم و کلسیم (۲۴)، (۳) ترشح آنزیم های فسفاتاز با هدف افزایش معدنی شدن فسفر آلی (۲۶) و (۴) تغییر ویژگی های ریشه تحت شرایط کمبود فسفر (برای نمونه افزایش سرعت رشد ریشه، طول ریشه و طول تارهای کشنده) (۲۵) هستند. بنابراین، فراهمی فسفر برای گیاه به مکانیسم های مختلف جذب فسفر از ریزوسفر و راه کارهای به کار گرفته توسط گیاه برای برداشت فسفر بستگی دارد. در برخی سیستم های کشت به علت

پایه‌های مرکبات برای جذب عناصر غذایی نقش مهمی در کارایی جذب گیاهان پیوند شده بر این پایه‌ها ایفا می‌کند. با وجود پژوهش‌های فراوان صورت گرفته پیرامون فسفر قابل استفاده و ویژگی‌های زیستی، تاکنون پژوهشی در زمینه تأثیر ریشه گیاهان چوبی مانند پایه‌های مرکبات، که یکی از مهم‌ترین محصولات باغی جهان است، بر پویایی و فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر انجام نشده است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر شرایط ریزوسفری پایه‌های مرکبات و نیز کاربرد کود فسفر بر کربن آلی محلول، فسفر زیست‌توده، فعالیت فسفاتاز قلیایی، فسفاتاز اسیدی، فسفر آلی، جزءبندی فسفر و فسفر استخراجی با روش اولسن در خاک آهکی از شرق استان مازندران در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه-گرمسیری انجام شد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در پژوهش حاضر از یکی از باغ‌های مرکبات واقع در شرق مازندران از منطقه بایع کلا (۱۴'E ۵۳° N ۴۴' ۳۶°) نمونه‌برداری شد. تقریباً ۶۰۰ کیلوگرم از خاک مورد نظر به پژوهشکده مرکبات واقع در رامسر (۳۹'E ۵۰° N ۵۴' ۳۶°) انتقال یافت. pH نمونه‌های خاک در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب به خاک (۳۵)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم (۱۶)، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (۲۲)، بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۱) و مقدار فسفر قابل استفاده به روش اولسن (۱۵) تعیین شد.

در ادامه یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از سه پایه مرکبات و دو سطح فسفر (با و بدون کاربرد کود فسفر) در سه تکرار در پژوهشکده مرکبات و میوه-های نیمه‌گرمسیری واقع در شهر رامسر اجرا شد. در این آزمایش، نهال‌های جوان پرتقال تامسون پیوند شده بر سه پایه مرکبات شامل ترویر سیترنج (*Citrus sinensis* (L.) Osb) و *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. × سوینگل سیتروملو

پس از گذشت ۱۸ ماه از انتقال نهال‌ها به گلدان‌های حاوی خاک مورد نظر، نهال‌ها برداشت شده و خاک اطراف چسبیده به ریشه توسط برس از سطح ریشه سه پایه مورد بررسی جدا شده و به‌عنوان خاک‌های ریزوسفری سه پایه در نظر گرفته شد. مقداری از خاک‌های پیرامون ریشه هر یک از سه پایه مورد بررسی در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس به‌منظور اندازه‌گیری کربن آلی محلول، جمعیت باکتری و قارچ، فسفر زیست‌توده میکروبی، فسفاتاز اسیدی و قلیایی ذخیره شد. باقی‌مانده خاک‌ها هوا-خشک شده و برای اندازه‌گیری سایر ویژگی‌ها مانند pH، فراهمی فسفر و جزءبندی فسفر استفاده شد. برای اندازه‌گیری کربن آلی محلول (DOC) از عصاره ۱ به ۲ خاک مرطوب به آب مقطر استفاده شد (۸). سپس سوسپانسیون در دمای اتاق به مدت ۲ ساعت تکان داده شد و

بی‌کربنات سدیم با pH برابر ۸/۵) استفاده شد (۱۵). غلظت فسفر در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی (۲۰) تعیین شد. در نهایت، آثار ریزوسفری پایه‌های مرکبات و نیز اثر کاربرد فسفر بر شاخص‌های مورد اندازه‌گیری توسط تجزیه واریانس دوطرفه بررسی شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی شد. کلیه تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ اجرا شد.

نتایج

خاک مورد بررسی حاکی آهکی با بافت لوم رسی شنی و با مقدار فسفر قابل استفاده کم بود (جدول ۱).

نتایج تجزیه واریانس آثار کاربرد فسفر و نیز آثار ریزوسفری سه پایه مرکبات بر ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک مورد بررسی در جدول (۲) آورده شده است. مشاهده می‌شود کاربرد فسفر به‌طور معنی‌داری همه ویژگی‌های شیمیایی و زیستی مورد بررسی (به استثنای pH و فعالیت فسفاتاز اسیدی) را تحت‌تأثیر قرار داده است ($p < 0/05$). علاوه بر این، آثار ریزوسفری سه پایه بر همه شاخص‌های زیستی (به استثنای فعالیت فسفاتاز اسیدی) معنی‌دار بود ($p < 0/05$). هم‌چنین، اثر برهم‌کنش دو عامل مورد بررسی (ریزوسفر سه پایه و کود فسفر) بر pH، کربن آلی محلول، جمعیت باکتری و فعالیت فسفاتاز قلیایی معنی‌دار بود ($p < 0/05$).

ویژگی‌های زیستی: دامنه تغییرات pH در خاک ریزوسفری سه پایه سیتروملو، سیترنج و نارنج در شرایط عدم کاربرد فسفر از ۷/۳۶ تا ۷/۵۰ و در شرایط کاربرد فسفر از ۷/۳۴ تا ۷/۵۲ متغیر بود (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار pH در خاک ریزوسفری سیترنج و کم‌ترین مقدار آن در خاک ریزوسفری نارنج مشاهده شد (جدول ۳). هم‌چنین نتایج نشان داد کاربرد فسفر اثر معنی‌داری بر pH خاک‌های ریزوسفری مورد بررسی نداشت (جدول ۲). نجفی و توفیقی (۲۱) نیز گزارش کردند که با

پس از اتمام این زمان، سوسپانسیون‌ها به مدت ۵ دقیقه سانتیفریوژ شده و محلول صاف رویی با استفاده از فیلتر پلاستیکی دارای قطر منافذ ۰/۴۵ میکرون جدا شد. سرانجام مقدار کربن آلی محلول به روش اکسیداسیون تر اصلاح شده (۲، ۲۲) اندازه‌گیری شد. هم‌چنین برای اندازه‌گیری فسفر زیست‌توده میکروبی از روش بروکس و همکاران (۶) و برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی از روش طباطبایی و برمر (۳۴) با تنظیم pH بافر در مقدار ۶/۵ استفاده شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی نیز از روش طباطبایی و برمر (۳۴) استفاده شد به استثناء این‌که pH بافر در مقدار ۱۱/۵ تنظیم شد (۱۰). هم‌چنین، تعداد جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها در پایان دوره رشد با استفاده از کشت پلیت و شمارش مستقیم ریزجانداران تعیین شد (۱۹).

برای تعیین شکل‌های فسفر در نمونه خاک‌های ریزوسفری هوا-خشک شده، از روش عصاره‌گیری مرحله‌ای هدلی (۱۲) با یک تصحیح برای اندازه‌گیری فسفر محلول و تبدلی (۱ و ۳) استفاده شد. در روش اصلاح‌شده هدلی، فسفر به چهار شکل معدنی شامل: فسفر محلول و تبدلی (فسفر قابل استخراج با کلرید پتاسیم، EXCH-P)، ۲- فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم (فسفر قابل استخراج با هیدروکسید سدیم، Fe-Al-P)، ۳- فسفر مرتبط با کلسیم (فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک، CARB-P) و ۴- فسفر باقی‌مانده (فسفر قابل استخراج با اسید نیتریک و اسید پرکلریک، RES-P) تفکیک می‌شود. هم‌چنین، فسفر آلی (OP) در همه نمونه‌های خاک به روش سوزاندن (۱۵) تعیین شد. بدین منظور از هر نمونه خاک دو زیرنمونه دو گرمی توزین شد. یکی از زیرنمونه‌های خاک به مدت یک ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس سوزانده شد. سپس فسفر معدنی هر یک از زیرنمونه‌های خاک (سوزانده شده و سوزانده نشده) توسط اسید سولفوریک نیم مولار پس از ۱۶ ساعت تکان دادن، استخراج شده و مقدار فسفر در عصاره‌های استخراجی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فراهمی فسفر در خاک‌های ریزوسفری نیز از روش اولسن (عصاره‌گیر

جدول ۱. برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی.

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil used in the experiment.

منگنز قابل استفاده (Available-Mn)	آهن قابل استفاده (Available-Fe)	روی قابل استفاده (Available-Zn)	پتاسیم قابل استفاده (Available-K)	فسفر اولسن (Olsen-P)	کربن آلی (Organic carbon)	معادل کربنات کلسیم (Calcium carbonate equivalent)	سیلت (Silt)	رس (Clay)	پ-اچ (pH)
میلی گرم بر کیلوگرم (mg kg ⁻¹)					گرم بر کیلوگرم (g kg ⁻¹)		%		-
3.0	4.40	0.91	110	11.6	8.2	460	18	25	7.73

جدول ۲. تجزیه واریانس آثار سه پایه مرکبات و کود فسفر بر ویژگی های زیستی و شیمیایی خاک های ریزوسفری.

Table 2. Analysis of variance of the effect of three citrus rootstocks and phosphorus (P) fertilizer on the biological and chemical properties in the rhizosphere soils.

	فسفر (Phosphorus)	پایه (Rootstock)	پایه در فسفر (Rootstock × Phosphorus)	خطا (Error)
درجه آزادی (d.f.)	1	2	2	12
فسفر اولسن (Olsen-P)	752*	47*	18*	11
فسفر باقیمانده (RES-P)	22*	1.3 ns	0.99 ns	259
فسفر آلی (Organic-P)	0.39 ns	14*	1.6 ns	50
فسفر مرتبط با کلسیم (CARB-P)	48*	1.5 ns	0.38 ns	271
فسفر مرتبط با اکسیدها (Fe-Al-P)	222*	20*	16*	40
فسفر محلول (EXCH-P)	244*	4.89*	3.3*	0.82
فسفاتاز اسیدی (AcP)	0.96 ns	1.4 ns	0.96 ns	75
فسفاتاز قلیایی (AIP)	19*	30*	5.5*	257
فسفر زیست توده (MBP)	31*	333*	2.3 ns	0.12
جمعیت قارچ (Fungi)	8.2*	71*	2.1 ns	0.31
جمعیت باکتری (Bacteria)	1450*	445*	57*	2.1
کربن آلی محلول (DOC)	99*	31*	3.2*	1.1
پ-اچ (pH)	<0.01 ns	0.01*	0.02*	<0.01

ns و * به ترتیب بیانگر نبود اثر معنی دار و اثر معنی دار در سطح اطمینان ۵ درصد است.

ns and * show non-significant effect and significant effect at $p < 0.05$ level, respectively.

AcP: Acid phosphatase; AIP: Alkaline phosphatase; MBP: Microbial biomass P; DOC: Dissolved organic carbon; RES-P: Residual P; CARB-P: P associated with Ca compounds; Fe-Al-P: P associated with Fe and Al compounds; EXCH-P: Exchangeable P.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر برهمکنش پایه و سطح فسفر بر ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک ریزوسفری پرتقال تامسون پیوندشده بر سه پایه.

Table 3. Mean comparisons of the interaction effect of the rootstocks and phosphorus (P) levels on the biological properties in the rhizosphere soils of Thomson Navel orange plants grafted on three rootstocks.

پایه (Rootstock)	فسفاتاز قلیایی (AIP)		$\times 10^3$ جمعیت باکتری (Bacteria $\times 10^3$)		$\times 10^2$ جمعیت قارچ (Fungi $\times 10^2$)		فسفر زیست توده (MPB)		کربن آلی محلول (DOC)		پ-اچ (pH)	
	P0	P1	P0	P1	P0	P1	P0	P1	P0	P1	P0	P1
نارنج (SO)	336 ^b	271 ^c	21 ^c	58 ^a	5	4	0.3	0.7	24 ^b	28 ^a	7.36 ^b	7.37 ^b
سیتروملو (SC)	383 ^a	346 ^{ab}	8 ^d	28 ^b	1	1	1.0	2.2	20 ^c	25 ^b	7.36 ^b	7.52 ^a
سیترنج (TC)	372 ^a	369 ^a	7 ^d	28 ^b	2	1	4.8	6.0	18 ^d	25 ^b	7.50 ^a	7.42 ^{ab}

میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means with the same letter are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

SO: Sour orange; SC: Swingle citrumelo; TC: Troyer citrange

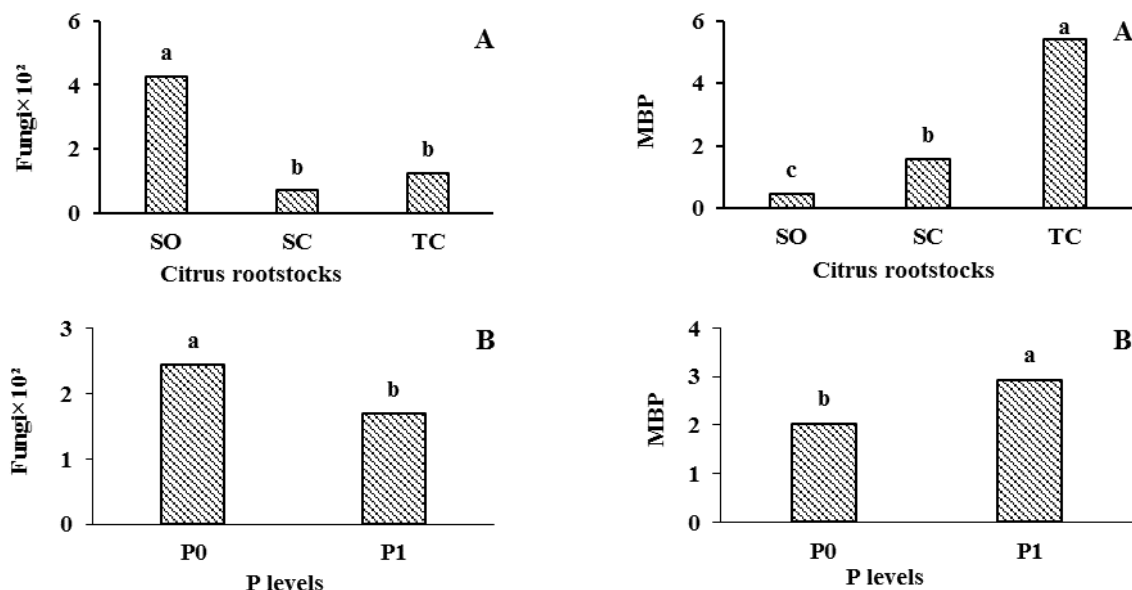
AIP: Alkaline phosphatase; AcP: acid phosphatase; MBP: microbial biomass P; DOC: Dissolved organic C

این شاخص در خاک ریزوسفری نارنج به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر پایه‌های مورد بررسی بود ($p < 0.05$). به‌طور کلی، تغییرات کربن آلی محللول در خاک به نوع پایه و کود فسفر بستگی داشت (جدول ۳).

دامنه جمعیت باکتری‌ها در شرایط عدم کاربرد فسفر از $7/0 \times 10^3$ تا 21×10^3 (با میانگین 12×10^3) و در شرایط کاربرد فسفر از 28×10^3 تا 58×10^3 (با میانگین 38×10^3) واحد کلنی در هر گرم خاک متغیر بود (جدول ۳). بررسی اثر برهم‌کنش شرایط ریزوسفری سه پایه مرکبات و سطح فسفر بر جمعیت باکتری نشان داد که بیش‌ترین جمعیت باکتری در خاک ریزوسفری نارنج در شرایط کاربرد کود فسفر و کم‌ترین آن در پایه‌های سیترنج و سیتروملو در شرایط عدم کاربرد کود فسفر

کاربرد کود فسفر مقدار pH خاک ریزوسفری برنج تغییر معنی‌داری نکرد اما pH در خاک توده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

دامنه تغییرات کربن آلی محللول در شرایط عدم کاربرد کود فسفر از ۱۸ تا ۲۴ و در شرایط کاربرد کود فسفر از ۲۵ تا ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک متغیر بود (جدول ۳). بررسی اثر برهم‌کنش‌های شرایط ریزوسفری سه پایه مرکبات و سطح فسفر بر مقدار کربن آلی محللول نشان داد که بیش‌ترین مقدار کربن آلی محللول در خاک ریزوسفری نارنج در شرایط کاربرد کود فسفر مشاهده شد. علاوه بر این در مورد همه پایه‌های مورد بررسی، مقدار کربن آلی محللول در خاک با کاربرد کود فسفر افزایش یافت و صرف نظر از سطح فسفر کاربردی، مقدار



شکل ۱. مقایسه میانگین آثار اصلی پایه (A) و سطح فسفر (B) بر جمعیت قارچ (Fungi × 10²، واحد کلنی در هر گرم خاک) و فسفر زیست‌توده میکروبی (MBP، میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک ریزوسفری پرتقال تامسون پیوند شده بر سه پایه (SO: نارنج، SC: سیتروملو، TC: سیترنج)؛ میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 1. Mean comparisons of the main effects of the rootstocks (A) and phosphorus (P) levels (B) on fungi count (Fungi × 10², CFU g⁻¹ soil) and microbial biomass P (MBP, mg kg⁻¹) in the rhizosphere soils of Thomson Navel orange plants grafted on three rootstocks (SO: Sour orange; SC: Swingle citrumelo; TC: Troyer citrange); Bars with the same letter are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

نارنج مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از جمعیت مشاهده شده در خاک ریزوسفری دو پایه دیگر بود (شکل ۱). همچنین، صرف‌نظر از نوع پایه مورد بررسی، با کاربرد کود فسفر جمعیت قارچ‌ها در خاک ریزوسفری به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش یافت (شکل ۱).

دامنه تغییرات فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در شرایط عدم کاربرد کود فسفر از ۳۳۶ تا ۳۸۳ (با میانگین ۳۶۴) و در شرایط کاربرد کود فسفر از ۲۷۱ تا ۳۶۹ (با میانگین ۳۲۹) میکروگرم پی-نیتر و فنل فسفات بر گرم خاک در ساعت بود (جدول ۳). بررسی اثر برهمکنش شرایط ریزوسفری سه پایه مرکبات و سطح فسفر بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی نشان داد که بیش‌ترین فعالیت این آنزیم در خاک ریزوسفری پایه‌های سیتروملو و سیترنج در شرایط عدم کاربرد فسفر و کم‌ترین فعالیت این آنزیم در ریزوسفر نارنج در شرایط کاربرد کود فسفر مشاهده شد. علاوه بر این نتایج نشان داد که به دنبال

مشاهده شد. علاوه بر این با کاربرد کود فسفر، جمعیت باکتری در خاک ریزوسفری سه پایه نارنج، سیتروملو و سیترنج به‌ترتیب ۱۷۴، ۲۷۳ و ۳۳۱ درصد افزایش یافت. در هر دو سطح فسفر مورد بررسی، بیش‌ترین جمعیت باکتری در خاک ریزوسفری نارنج مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) بیش‌تر از جمعیت باکتری در خاک ریزوسفری دو پایه دیگر بود. بنابراین تغییرات جمعیت باکتری در خاک ریزوسفری مورد بررسی به نوع پایه و کود فسفر بستگی داشت (جدول ۳).

دامنه جمعیت قارچ‌ها در شرایط عدم کاربرد فسفر از $1/0 \times 10^2$ تا $5/0 \times 10^2$ (با میانگین $2/5 \times 10^2$) و در شرایط کاربرد فسفر از $0/5 \times 10^2$ تا $3/5 \times 10^2$ (با میانگین $1/7 \times 10^2$) واحد کلنی در هر گرم خاک متغیر بود. همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، تنها آثار اصلی پایه و کود فسفر بر جمعیت قارچ معنی‌دار بود ($p < 0.05$). صرف‌نظر از سطح کاربرد کود فسفر، بیش‌ترین جمعیت قارچ در خاک ریزوسفری

عدم کاربرد فسفر مشاهده شد. در مورد هر سه پایه مورد بررسی با کاربرد فسفر، مقدار فسفر استخراجی از خاک ریزوسفری این سه پایه افزایش یافت. هم‌چنین در هر دو سطح فسفر، کم‌ترین مقدار فسفر اولسن در خاک ریزوسفری نارنج مشاهده شد (جدول ۴).

فسفر قابل‌استخراج با نمک کلرید پتاسیم (EXCH-P)، عمدتاً شامل فسفر محلول است و کوچک‌ترین جزء فسفر بود. دامنه فسفر محلول در شرایط عدم کاربرد فسفر از ۵/۶ تا ۵/۹ (با میانگین ۵/۸) و در شرایط کاربرد فسفر از ۱۱ تا ۱۴ (با میانگین ۱۲) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول ۴). بررسی اثر برهمکنش شرایط ریزوسفری سه پایه مرکبات و سطح فسفر بر مقدار این جزء فسفر نشان داد که بیش‌ترین مقدار فسفر قابل‌استخراج با نمک کلرید پتاسیم در خاک ریزوسفری پایه سیترنج در شرایط کاربرد فسفر مشاهده شد. در شرایط عدم کاربرد فسفر، بین مقدار فسفر محلول در خاک ریزوسفری سه پایه مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0/05$) اما در شرایط کاربرد فسفر، فسفر محلول در خاک ریزوسفری پایه‌های نارنج و سیتروملو در مقایسه با پایه سیترنج به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود ($p < 0/05$). صرف‌نظر از پایه مورد بررسی، مقدار فسفر محلول به دنبال کاربرد کود فسفر حدود ۱۱۴ درصد افزایش یافت که بیش‌ترین درصد افزایش در خاک ریزوسفری سیترنج بود. هم‌چنین صرف‌نظر از سطح فسفر، بیش‌ترین مقدار این جزء در ریزوسفر سیترنج یافت شد (جدول ۴).

مجموع فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم (Fe-Al-P)، عمدتاً شامل فسفر پیوند شده به اکسیدهای آهن و آلومینیوم است که قابل‌تبادل با هیدروکسیل و آنیون‌های حاصل از تجزیه لیگاندهای آلی و ترکیبات فسفر محلول در قلیا است (۴۰). دامنه فسفر پیوند شده به اکسیدهای آهن و آلومینیوم در شرایط عدم کاربرد فسفر از ۲۷ تا ۳۸ (با میانگین ۳۱) و در شرایط کاربرد فسفر از ۵۵ تا ۹۸ (با میانگین ۷۶) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول ۴). بررسی اثر برهمکنش شرایط ریزوسفری سه پایه مرکبات و سطح فسفر بر مجموع فسفر مرتبط با

کاربرد کود فسفر، فعالیت فسفاتاز قلیایی در خاک ریزوسفری دو پایه نارنج (۱۹ درصد) و سیتروملو (۱۰ درصد) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در هر دو سطح کود فسفر، بیش‌ترین فعالیت فسفاتاز قلیایی در خاک ریزوسفری دو پایه سیترنج و سیتروملو مشاهده شد ($p < 0/05$).

دامنه مقدار فسفر زیست‌توده میکروبی در شرایط عدم کاربرد کود فسفر از ۰/۳ تا ۴/۸ (با میانگین ۲/۰۲) و در شرایط کاربرد کود فسفر از ۰/۷ تا ۶/۰ (با میانگین ۲/۹۴) میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک متغیر بود. بر اساس جدول (۲)، تنها آثار اصلی پایه و کود فسفر بر فسفر زیست‌توده میکروبی معنی‌دار بود ($p < 0/05$). صرف‌نظر از سطح کاربرد کود فسفر، مقدار فسفر زیست‌توده میکروبی در خاک ریزوسفری سه پایه به‌ترتیب سیترنج < سیتروملو < نارنج بود. هم‌چنین نتایج اثر اصلی کاربرد کود فسفر نشان داد با کاربرد کود فسفر مقدار فسفر زیست‌توده میکروبی در خاک ریزوسفری افزایش یافت (شکل ۱).

فسفر قابل‌استفاده و جزءبندی فسفر: تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر مقدار شکل‌های مختلف فسفر در خاک نشان داد که کاربرد فسفر به‌طور معنی‌داری همه شکل‌های فسفر (به استثنای مقدار فسفر آلی) را تحت تأثیر قرار داده است ($p < 0/05$). علاوه بر این، آثار ریزوسفری سه پایه نارنج بر همه شکل‌های فسفر (به استثنای فسفر باقی‌مانده) معنی‌دار بود ($p < 0/05$). هم‌چنین اثر برهمکنش دو عامل مورد بررسی (ریزوسفر و فسفر) بر شکل‌های فسفر محلول و فسفر مرتبط با آهن و آلومینیوم معنی‌دار ($p < 0/05$) بود (جدول ۲).

دامنه مقادیر فسفر استخراجی با روش اولسن در شرایط عدم کاربرد فسفر از ۱۲ تا ۱۷ (با میانگین ۱۴) و در شرایط کاربرد فسفر از ۲۲ تا ۲۹ (با میانگین ۲۷) میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۴). بررسی اثر برهمکنش شرایط ریزوسفری سه پایه مرکبات و سطح فسفر بر مقدار فسفر استخراجی به روش اولسن نشان داد که بیش‌ترین مقدار فسفر اولسن در خاک ریزوسفری پایه‌های سیترنج و سیتروملو در شرایط کاربرد فسفر و کم‌ترین مقدار آن در خاک ریزوسفری پایه نارنج در شرایط

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر برهمکنش پایه و سطح فسفر بر فسفر قابل استفاده و جزءهای مختلف فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک ریزوسفری پرتقال تامسون.

Table 4. Mean comparisons of the interaction effect of the rootstocks and phosphorus (P) levels on available phosphorus (P) and different fractions of P (mg kg^{-1}) in the rhizosphere soils of Thomson Navel Orange plants.

پایه (Rootstock)	فسفر محلول (EXCH-P)		فسفر اولسن (Olsen-P)		فسفر مرتبط با اکسیدها (Fe-Al-P)		فسفر مرتبط با کلسیم (CARB-P)		فسفر آلی (Organic-P)		فسفر باقیمانده (RES-P)	
	سطوح فسفر (P levels)		سطوح فسفر (P levels)		سطوح فسفر (P levels)		سطوح فسفر (P levels)		سطوح فسفر (P levels)		سطوح فسفر (P levels)	
	P0	P1	P0	P1	P0	P1	P0	P1	P0	P1	P0	P1
نارنج (SO)	5.9 ^c	11 ^b	12 ^d	22 ^b	27 ^f	98 ^a	321	380	70	63	135	185
سیتروملو (SC)	5.6 ^c	12 ^b	13 ^d	29 ^a	30 ^e	55 ^c	328	373	43	50	139	163
سیترنج (TC)	5.9 ^c	14 ^a	17 ^c	29 ^a	38 ^d	75 ^b	336	393	60	66	129	162

میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند؛

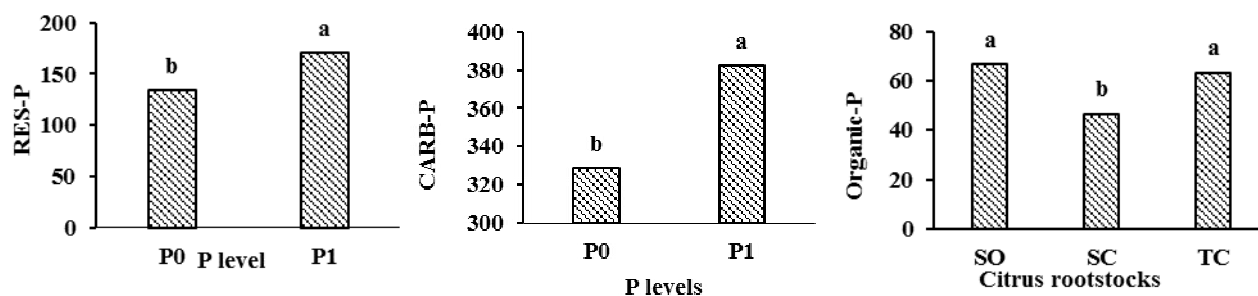
Means with the same letter are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$). SO: Sour orange; SC: Swingle citrumelo; TC: Troyer citrange; Fe-Al-P: P associated with Fe and Al compounds; EXCH-P: Exchangable P; CARB-P: P associated with Ca compounds; RES-P: residual P.

کلسیم در شرایط کاربرد فسفر از ۳۷۳ تا ۳۹۳ (با میانگین ۳۸۲) و در شرایط عدم کاربرد فسفر از ۳۲۱ تا ۳۳۶ (با میانگین ۳۲۹) میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک متغیر بود. بر اساس جدول (۲)، تنها آثار اصلی کود فسفر بر فسفر پیوند شده به کلسیم معنی‌دار بود. صرف‌نظر از پایه مورد بررسی، مقدار این شکل از فسفر به دنبال کاربرد کود فسفر حدود ۱۶ درصد افزایش یافت (شکل ۲).

دامنه جزء فسفر باقی‌مانده (RES-P) در شرایط کاربرد فسفر از ۱۶۳ تا ۱۸۵ (با میانگین ۱۷۰) و در شرایط کاربرد فسفر از ۱۲۹ تا ۱۳۹ (با میانگین ۱۳۴) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بوده ولی اثر ریزوسفر سه پایه بر این جزء معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). همان‌طور که در جدول (۲) آورده شد، تنها اثر اصلی کود فسفر بر فسفر باقی‌مانده معنی‌دار بود. صرف‌نظر از پایه، به دنبال کاربرد فسفر مقدار این شکل در خاک ریزوسفری افزایش یافت (شکل ۲).

اکسیدهای آهن و آلومینیوم نشان داد که بیش‌ترین مقدار این شکل از فسفر در خاک ریزوسفری پایه نارنج در شرایط کاربرد فسفر و کم‌ترین مقدار آن در خاک ریزوسفری پایه نارنج در شرایط عدم کاربرد کود فسفر مشاهده شد. در شرایط عدم کاربرد فسفر، بیش‌ترین مقدار این شکل فسفر در خاک پیرامون ریشه سه پایه مورد بررسی در خاک ریزوسفری سیترنج یافت شد. در شرایط کاربرد فسفر، ترتیب پایه‌ها به لحاظ مقدار فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاک ریزوسفری‌اشان به‌صورت نارنج < سیترنج < سیتروملو بود. صرف‌نظر از پایه مورد بررسی مقدار این شکل از فسفر به دنبال کاربرد کود فسفر حدود ۱۴۲ درصد افزایش یافت که بیش‌ترین درصد افزایش این فسفر در خاک ریزوسفری نارنج و کم‌ترین در خاک ریزوسفری سیترنج مشاهده شد (جدول ۴).

فسفر پیوند شده به کلسیم (CARB-P)، جزء نسبتاً پایدار فسفر در خاک‌های بررسی شده بود. دامنه مقدار فسفر مرتبط با



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر اصلی کود فسفر بر شکل‌های فسفر باقی‌مانده (RES-P) و فسفر پیوند شده به کلسیم (CARB-P) (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، و نیز اثر اصلی پایه مرکبات بر فسفر آلی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک ریزوسفری پرتقال تامسون پیوند شده بر سه پایه SO: نارنج SC: سیتروملو، TC: سیترنج؛ میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 2. Mean comparisons of the main effect of phosphorus (P) levels on the residual P (RES-P), P associated with Ca compounds (CARB-P) (mg kg⁻¹) and the main effect of rootstocks on the Organic-P (mg kg⁻¹) in the rhizosphere soils of Thomson Navel orange plants grafted on three rootstocks (SO: Sour orange; SC: Swingle citrumelo; TC: Troyer citrange); Bars with the same letter are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

و ساختار ریشه آن مربوط است. برای مثال پژوهشگران گزارش کردند که نارنج در مقایسه با پایه‌های سیتروملو و سیترنج دارای طول ریشه بیش‌تر و نیز سطح ویژه ریشه و تارهای کشنده بیش‌تری است (۷). بیش‌تر بودن جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها در خاک‌های ریزوسفری نارنج ($p < 0.05$) در مقایسه با دیگر پایه‌های مورد بررسی با افزایش کربن آلی محلول، که می‌تواند شاخصی از فراهمی کربن برای ریزجانداران باشد (۵)، هم-خوانی دارد. به عبارت دیگر، رها شدن مقدار زیادی اسیدهای آلی به ناحیه ریزوسفر نه تنها رشد باکتری‌های موجود در ریزوسفر را افزایش می‌دهد بلکه یک ماده شیمیایی جذاب بوده که سبب حرکت ریزجانداران پویا مانند باکتری‌های تازوکار و هیف قارچ‌ها به سمت ریشه نارنج می‌شود. بررسی نتایج نشان داد علی‌رغم بیش‌تر بودن جمعیت قارچ و باکتری در ریزوسفر نارنج در مقایسه با ریزوسفر دو پایه دیگر اما فسفر زیست‌توده و نیز فعالیت فسفاتاز قلیایی در ریزوسفر این پایه در مقایسه با دو پایه دیگر کم‌تر بود. با توجه به اینکه محدودیتی به لحاظ کربن در ریزوسفر نارنج وجود ندارد، به نظر می‌رسد در ریزوسفر نارنج ریزجانداران و پایه نارنج برای جذب فسفر محلول رقابت دارند که در این رقابت برتری با گیاه نارنج است. بررسی اثر کاربرد کود فسفر نیز نشان داد که با کاربرد این

دامنه مقدار فسفر آلی (OP) در شرایط عدم کاربرد فسفر از ۴۳ تا ۷۰ (با میانگین ۵۸) و در شرایط کاربرد فسفر از ۵۰ تا ۶۶ (با میانگین ۶۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. همان‌طور که در جدول (۲) آورده شده است، تنها اثر اصلی پایه بر فسفر آلی معنی‌دار بود. بررسی نتایج اثر اصلی پایه نشان داد که بیش‌ترین مقدار فسفر آلی در ریزوسفر نارنج و سیترنج مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از مقدار فسفر آلی در خاک ریزوسفری سیتروملو بود (شکل ۲).

بحث

مقدار و کیفیت کربن اولین عامل کنترل‌کننده رشد و فعالیت ریزجانداران است. در محیط ریزوسفری پایه نارنج، کربن آلی محلول در دو هر سطح کاربرد فسفر بیش‌تر از خاک ریزوسفری دو پایه دیگر بود و از این رو محدودیتی از لحاظ عرضه کربن برای تأمین نیاز ریزجانداران وجود ندارد. نوع و مقدار ترکیبات سنتز و آزاد شده از ریشه گیاهان عمدتاً به ویژگی‌های ژنتیکی گیاه (۳۷)، سیستم ریشه‌ای و پاسخ ریشه گیاه به فاکتورهای زیستی و غیرزیستی (۳۶) بستگی دارد. در پژوهش حاضر، افزایش مقدار کربن آلی محلول در ریزوسفر نارنج در مقایسه با دو پایه دیگر احتمالاً به ویژگی‌های ژنتیکی این پایه و سیستم

و نیز فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم در شرایط عدم کاربرد فسفر کم‌ترین بود (جدول ۴). بنابراین، در شرایط عدم کاربرد فسفر، در پایه نارنج متحرک‌سازی فسفر از مخازن با حلالیت نسبتاً کم (مانند فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم) سازوکار اصلی به‌کارگرفته توسط این پایه برای بهبود کارایی جذب فسفر در خاک مورد بررسی است. پس از نارنج، پایه سیتروملو به‌ویژه در شرایط کاربرد فسفر بیش‌ترین اثر را بر جزءهای مختلف فسفر داشت به‌طوری‌که، در خاک ریزوسفری سیتروملو بیش‌ترین مقدار فسفر استخراجی به روش اولسن، کم‌ترین مقدار فسفر آلی و بیش‌ترین فعالیت فسفاتاز قلیایی و نیز کم‌ترین مقدار فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم یافت شد. بنابراین، در محیط پیرامون ریشه سیتروملو تبدیل‌های درونی بین جزءهای مختلف فسفر رخ داده ولی با توجه به تجمع فسفر اولسن در محیط پیرامون ریشه این پایه (در مقایسه با نارنج) به‌نظر می‌رسد سرعت تبدیل فسفر از جزءهای نسبتاً محلول و نامحلول به فسفر اولسن بیش‌تر از سرعت جذب فسفر از فاز محلول توسط ریشه سیتروملو به‌ویژه در شرایط کاربرد فسفر بوده است. بنابراین، تنها پایه پیشنهادی به لحاظ کارایی جذب فسفر در خاک مورد بررسی، پایه نارنج است. رئیسی و مرادی (۲۹) گزارش کردند که متحرک‌سازی فسفر از مخازن با فراهمی کم، سازوکار اصلی افزایش کارایی جذب فسفر در پرتقال تامسون پیوند شده بر پایه نارنج در خاکی آهکی با محدودیت فسفر قابل استفاده است.

به‌طور کلی در هر دو سطح فسفر مورد بررسی، نارنج به‌طور مشخص در مقایسه با دو پایه دیگر بیش‌ترین اثر را بر ویژگی‌های زیستی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک ریزوسفری داشته است. در واقع ریشه نارنج از طریق کاهش pH، ترشح ترکیبات آلی و افزایش جمعیت میکروبی (جمعیت باکتری و قارچ‌ها)، اثر مثبتی بر شرایط زیستی پیرامون خود داشته و به دنبال آن با تخلیه فسفر از فاز محلول و افزایش حلالیت ترکیبات نسبتاً نامحلول باعث افزایش کارایی جذب فسفر از محیط پیرامون ریشه خود شده است.

عنصر جمعیت باکتری و فسفر زیست‌توده به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ۳ و شکل ۱). این در حالی بود که کاربرد فسفر اثر منفی بر جمعیت قارچ و فعالیت فسفاتاز قلیایی داشت (جدول ۳ و شکل ۱) و با کاربرد فسفر این دو ویژگی به‌ترتیب ۴۴ و ۱۷ درصد کاهش یافتند. بنابراین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزودن فسفر منجر به افزایش معنی‌دار زیست‌توده میکروبی و تغییر ترکیب جمعیت میکروبی برای افزایش جمعیت باکتری و کاهش جمعیت قارچ شد. نیاز فسفره جامعه میکروبی برای مثال در سلول‌های قارچی از ۰/۰۵ تا ۰/۵ و گاهی تا یک درصد و در باکتری‌ها از ۱/۵ تا ۲/۵ درصد گزارش شده است (۳۱). علاوه بر این، بررسی منابع نشان می‌دهد فعالیت آنزیم فسفاتاز به سطح کمبود فسفر در تغذیه گیاه مربوط است (۲۴). از طرف دیگر بر اساس پژوهش‌های گذشته، یون فسفات بسته به غلظت آن و نوع خاک با درجه متفاوتی از فعالیت فسفاتازهای اسیدی و قلیایی می‌تواند ممانعت کند (۱۴). بنابراین محیط ریزوسفری پایه نارنج در مقایسه با دو پایه دیگر بیش‌ترین اثر بر صفات زیستی و بیوشیمیایی خاک را داشته است.

تأثیر مثبت ریزوسفر بر ویژگی‌های میکروزیستی خاک توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۱۷، ۲۷، ۲۹ و ۴۰). زو و همکاران (۴۰) مقدار کربن زیست‌توده میکروبی و کربن آلی محلول بیش‌تری در خاک‌های ریزوسفری سه درخت بومی چین نسبت به خاک‌های غیرریزوسفری مشاهده کردند. در پژوهش دیگری مشاهده شد که شرایط ریزوسفری نارنج در مقایسه با دو پایه سیتروملو و سیترنج، باعث بهبود اغلب ویژگی‌های زیستی شده است (۲۹). همچنین گزارش شده است که جمعیت باکتری‌های و قارچ‌های اندوفیت ریشه پایه‌های هلو متأثر از کارایی استفاده فسفر توسط این پایه‌ها بود و پایه‌های مختلف هلو در مقایسه با کاربرد فسفر اثر بیش‌تری بر جمعیت قارچ‌های اندوفیت ریشه داشتند (۳۹).

علاوه بر این نتایج نشان داد که مقدار فسفر استخراجی به روش اولسن در خاک ریزوسفری نارنج (در هر دو سطح فسفر)

نتیجه گیری

مقایسه با دو پایه دیگر کم تر بود. بنابراین نارنج شرایط زیستی مناسب تری در محیط پیرامون ریشه خود ایجاد کرده است. به طور کلی با توجه به نتایج مرتبط با شرایط زیستی و شیمیایی محیط پیرامون سه پایه مورد بررسی، بهترین پایه به لحاظ کارایی فسفر در خاک مورد بررسی پایه نارنج بود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پروژه پژوهشی با شماره مصوب ۲-۳۳-۳۳-۰۱۴-۰۱۴-۰۷۶-۹۵ پژوهشکده مرکبات و میوه های نیمه گرمسیری (رامسر) است که از حمایت مالی آن واحد سپاسگزاری می شود.

به طور خلاصه، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که فراهمی فسفر در محیط پیرامون ریشه پایه نارنج در مقایسه با دو پایه دیگر کم تر بود. بنابراین پایه نارنج به ویژه در شرایط کمبود فسفر با به کارگیری سازوکار کاهش غلظت فسفر در فاز محلول از طریق جذب توسط ریشه، شیب لازم برای پخشیدگی فسفر از فازهای با حلالیت کم تر مانند فسفر مرتبط با اکسیدهای آهن و آلومینیوم به سمت ریشه را فراهم کرد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که کربن آلی محلول و جمعیت باکتری و قارچ در محیط پیرامون ریشه نارنج در مقایسه با دو پایه دیگر بیش تر بوده و فسفر زیست توده میکروبی در محیط پیرامون ریشه نارنج در

منابع مورد استفاده

1. Alvarez-Rogel, J., Jimenez-Carceles, F.J., Egea-Nicolas, C., 2007. Phosphorus retention in a coastal salt marsh in SE Spain. *Science of The Total Environment* 378: 71-74.
2. Anderson, J.M., Ingram, J.S.I., 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. Second ed., CAB International, Wallingford.
3. Ann, Y., Reddy, K.R., Delfino, J.J., 2000. Influence of chemical amendments on phosphorus immobilization in soils from a constructed wetland. *Ecological Engineering* 14: 157-167.
4. Balemi, T., Negisho, K., 2012. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12: 547-561.
5. Boyer, J.N., Groffmann, P.M., 1996. Bioavailability of water-extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 783-90.
6. Brookes, P.C., Powlson, D.S., Jenkinson, D.S., 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 14: 319-329.
7. Castle, W.S., Youtsey, C.O., 1977. Root system characteristics of citrus nursery trees. *Proceedings of The Florida State Horticultural Society* 90: 39-44.
8. Corre, M.D., Schnabel, R.R., Shaffer, J.A., 1999. Evaluation of soil organic carbon under forests, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. *Soil Biology and Biochemistry* 31:1531-1539.
9. Dou, H., Alva, A.K., 1998. Nitrogen availability to citrus seedlings from urea and from mineralization of citrus leaf or compost. *Journal of Plant Nutrition* 21: 13-24.
10. Eivazi, F., Tahatahai, M.A., 1977. Phosphatase in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 9: 167-172.
11. Gee, G.H., Bauder, J.W., 1986. Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Physical Properties*. Agronomy Monograph ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 383-409.
12. Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., Chauhan, B.S., 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions by cultivation practice and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal* 46: 970-976.
13. Hinsinger, P., Herrmann, L., Lesueur, D., Robin, A., Trap, J., Waithaisong, K., Plassard, C., 2015. Impact of roots, microorganisms and microfauna on the fate of soil phosphorus in the rhizosphere. *Annual Plant Reviews* 48: 377-407.
14. Juma, N.G., Tabatabai, M.A., 1977. Effects of trace elements on phosphatase activity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 41: 343-346.
15. Kuo, S., 1996. Phosphorus. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods*. Agronomy Monograph ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 869-920.
16. Loepfert, R.H., Suarez, D.L., 1996. Carbonate and gypsum. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods*. Agronomy Monograph ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 437-474.
17. Marasco, R., Rolli, E., Fusi, M., Michoud, G., Daffonchio, D., 2018. Grapevine rootstocks shape underground bacterial microbiome and networking but not potential functionality. *Microbiome* 6: 1-17.

18. Mattos, D.Jr., Quaggio, J.A., Cantarella, H., Alva, A.K., Graetz, D.A., 2006. Response of young citrus trees on selected rootstocks to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1371–1385.
19. Molaei, A., Aliasgharzad, N., Oustan, S., 2012. Effect of different Pb levels on bacterial and fungal populations during soil incubation. *Water and Soil Science* 22: 173–182. (in Persian with English Abstract)
20. Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27: 31–36.
21. Nunes, R.S., de Sousa, D.M.G., Goedert, W.J., de Oliveira, L.E.Z., Pavinato, P.S., Pinheiro, T.D., 2020. Distribution of soil phosphorus fractions as a function of long-term soil tillage and phosphate fertilization management. *Frontiers in Earth Science* 8(350): 1–12.
22. Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon organic carbon and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical Methods. Agronomy Monograph ASA/SSSA, Madison, WI*, pp. 539–579.
23. Neumann, G., Römheld, V., 2007. The release of root exudates as affected by the plant physiological status. In: Pinton, R., Varanini, Z., Nannipieri, P. (Eds.), *The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface*. CRC Press, London, pp. 141–157.
24. Nuruzzaman, M., Lambers, H., Bolland, M.D.A., Veneklaas, E.J., 2006. Distribution of carboxylates and acid phosphatase and depletion of different phosphorus fractions in the rhizosphere of a cereal and three grain legumes. *Plant and Soil* 281: 109–12.
25. Péret, B., Clément, M., Nussaume, L., Desnos, T., 2011. Root developmental adaptation to phosphate starvation: better safe than sorry. *Trends in Plant Science* 16: 442–450.
26. Raiesi, T., Hosseinpour, A.R., Raiesi, H., 2015. The influence of bean rhizosphere on the biological properties and phosphorus fractionation in the calcareous soils amended with municipal sewage sludge. *Journal of Arid Land* 7: 644–652.
27. Raiesi, T., Hosseinpour, A.R., 2017. Phosphorus availability and some biological properties in the bean (*Phaseolus vulgaris*) rhizosphere. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48: 501–510.
28. Raiesi, T., Moradi, B., 2020. Phosphorus acquisition and utilization Efficiency in Thomson Navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck.) plants grafted on three rootstocks in two different soils from Mazandaran Province. *Iranian Journal of Soil Research* 34: 277–289. (in Persian with English Abstract)
29. Raiesi, T., Moradi, B., 2021. Young navel orange rootstock improves phosphorus absorption from poorly soluble pools through rhizosphere processes. *Rhizosphere* 17: 100316.
30. Roupahel, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Colla, G., 2012. Improving melon and cucumber photosynthetic activity, mineral composition, and growth performance under salinity stress by grafting onto Cucurbita hybrid rootstocks. *Photosynthetica* 50: 180–188.
31. Safari Senjani, A.A., 2003. *Biology and Biochemistry of soil*. Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran, 383 pp. (in Persian)
32. Sattari, S.Z., Bouwman, A.F., Giller, K.E., van Ittersum, M.K., 2012. Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109: 6348–6353.
33. Shen H., Yan X., Zhao M., Zheng S., Wang X. 2002. Exudation of organic acids in common bean as related to mobilization of aluminum- and iron-bound phosphates. *Journal of Experimental Botany* 48: 1–9.
34. Tabatabai, M.A., Bremner, J.M., 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry* 1: 301–307.
35. Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. Agronomy Monograph ASA/SSSA, Madison, WI*, pp. 475–491.
36. Vives-Peris, V., Molina, L., Segura, A., Gomez-Cadenas, A., Perez-Clemente, R.M., 2018. Root exudates from citrus plants subjected to abiotic stress conditions have a positive effect on rhizobacteria. *Journal of Plant Physiology* 228: 208–217.
37. Vives-Peris, V., de Ollas, C., Gomez-Cadenas, A., Perez-Clemente, R.M., 2020. Root exudates: from plant to rhizosphere and beyond. *Plant Cell Reports* 39: 3–17.
38. Walker, T.S., Bais, H.P., Grotewold, E., Vivanco, J.M., 2003. Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiology* 132: 44–51.
39. Zhang, Y., Liu, X., Guo, J., Zhao, J., Wang, S., Zheng, Z., Jiang, Q., Ren, F., 2021. Responses of root endophytes to phosphorus availability in peach rootstocks with contrasting phosphorus-use efficiencies. *Frontiers in Plant Science* 12: 719436.
40. Zhao, Q., Zeng, D., Fan, Z., 2010. Nitrogen and phosphorus transformations in the rhizospheres of three tree species in a nutrient-poor sandy soil. *Applied Soil Ecology* 46: 341–346.



Rhizospheric Effects of Three Citrus Rootstocks on Some Biological Properties and Phosphorus Fractions in a Calcareous Soil

T. Raiesi^{1*} and B. Moradi

(Received: 22 June 2022; Accepted: 8 September 2022)

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effects of three citrus rootstocks on some rhizospheric features including biological and chemical properties in a calcareous soil without and with phosphorus (P) addition. For this purpose, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. Experimental factors included Thomson Navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck.) grafted on Sour orange (SO), Swingle citrumelo (SC), or Troyer citrange (TC) rootstocks and two levels of P fertilizer application [with (100 mg-P kg⁻¹ soil) and without P addition]. Eighteen months after planting seedlings in pots, plants were harvested and rhizosphere soils were separated and some biological properties including dissolved organic carbon (DOC), the population of fungi and bacteria, microbial biomass P (MBP), alkaline phosphatase (AIP) and acid phosphatase (AcP) activities and available P (Olsen-P), and P fractions (including the exchangeable; associated with Fe and Al oxides; associated with Ca compounds; and residual) were determined in the rhizosphere soils. In both P levels, DOC and population of fungi and bacteria were higher in Sour orange rhizosphere soil than other rootstocks ($p < 0.05$). However, the lowest values of pH, AIP and MBP were found in Sour orange rhizosphere soil compared with other rootstocks ($p < 0.05$). Olsen-P was lower in Sour orange rhizosphere soil than other rootstocks. Additionally, the results showed that the depletion or accumulation pattern of various fractions was under the rootstock and P-level control. The amounts of exchangeable P and P associated with Fe and Al oxides in the rhizosphere soils had been only influenced by the root activity of citrus rootstocks and P addition ($p < 0.05$). However, citrus rootstocks did not have significant effect on P associated with Ca compounds and residual P and these two forms of P had been solely influenced by P addition. Based on the results, among the rootstock SO could improve P acquisition efficiency mainly by modifying biological conditions and chemical reactions in its root surroundings soil and altering P fractions in its rhizosphere soil.

Keywords: Calcareous soil, Microbial population, Phosphorus forms, Sequential extraction.

Background and Objective: Phosphorus (P) is one of the most important macronutrients for plants. Although the total amount of P in most soils is relatively high, its uptake by plants is often limited (1). Plant roots affect rhizospheric features and, in turn, the fractionation and bioavailability of nutrients in the rhizosphere (2). Citrus rootstocks have vital roles in nutrients and water uptake and translocations because they develop the root systems of these trees. The most important rootstock resources in the world and

1- Citrus and Subtropical Fruit Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research and Education Organization (AREO), Ramsar.

*: Corresponding author, Email: taraiesi@gmail.com

especially in the north of Iran include Sour orange, Swingle citrumelo, and Troyer citrange. However, studies on the adaptive mechanism of the perennial woody plants to soils with and without P addition are still limited. Therefore, this work aimed to gain better insight into how various citrus rootstocks affect biological properties, and fractionation and bioavailability of P in the rhizosphere soils without and with P addition.

Methods: The soil used in the experiment was collected from a citrus orchard located in the east of Mazandaran province, northern Iran. Then, 15-kg soil was poured in each pot. Experimental factors included Thomson Navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck.) grafted on Sour orange (SO) or Swingle citrumelo (SC), and or Troyer citrange (TC) rootstocks and two levels of P fertilizer application [with (100 mg-P kg⁻¹ soil) and without P addition]. Eighteen months after planting seedlings in pots, plants were harvested and rhizosphere soils were separated. Dissolved organic carbon (DOC), the population of fungi and bacteria, microbial biomass P (MBP), alkaline phosphatase (AIP) and acid phosphatase (AcP) activities, available P (Olsen-P), and P fractions according to the sequential extraction procedure were determined in the rhizosphere soils. Effects of the rootstocks (SO, SC, TC) and P levels on soil P forms (i.e., P fractions) and biological properties were tested by the two-way analysis of variance using the SAS software. Duncan's test was used for the mean comparisons (at $p < 0.05$).

Results: Soil texture was sandy clay loam and the content of its available P was 11.6 mg kg⁻¹. The calcium carbonate equivalent in the soil was 46%. In both P levels, DOC and population of fungi and bacteria were higher in Sour orange rhizosphere soil than other rootstocks ($p < 0.05$). However, the lowest values of pH, AIP and MBP were found in the rhizosphere soil of Sour orange when compared with other rootstocks ($p < 0.05$). Olsen-P was lower in the Sour orange rhizosphere soil than other rootstocks. Additionally, the results showed that the depletion or accumulation pattern of various fractions was under rootstock and P-level control. The amounts of exchangeable P and P associated with Fe and Al oxides in the rhizosphere soils had been only influenced by the root activity of citrus rootstocks and P addition ($p < 0.05$). However, citrus rootstocks did not have significant effect on P associated with Ca compounds and residual P and these two forms of P had been solely influenced by P addition.

Conclusions: In summary, the results of the present research showed that the Sour orange rootstock had the greatest impact on the biological and chemical traits measured in the rhizosphere soil compared to the other rootstocks. Therefore, it seems that the Sour orange rootstock has the highest phosphorus uptake efficiency in the studied soil.

References:

1. Balemi, T., Negisho, K., 2012. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12: 547–561.
2. Raiesi, T., Moradi, B., 2021. Young navel orange rootstock improves phosphorus absorption from poorly soluble pools through rhizosphere processes. *Rhizosphere* 17: 100316.