کارایی جذب و مصرف فسفر در نهال‌های گلدانی پرتقال تامسون با سه پایه در دو خاک متفاوت از استان مازندران

طاهره رئیسی[1] و بیژن مرادی

استادیار مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده مرکبات و میوه¬های نیمه¬گرمسیری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر؛ taraiesi@gmail.com

مربی مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده مرکبات و میوه¬های نیمه¬گرمسیری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر؛ bmoradi2003@yahoo.com

دریافت: 99/4/31 و پذیرش: 99/7/15

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی جذب و مصرف داخلی فسفر توسط پرتقال تامسون (*Citrus sinensis* L. Osbeck) پیوند شده بر سه پایه مرکبات در دو خاک اجرا شد. بدین‌منظور یک آزمایش گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه پایه مرکبات (سیترومیلو، سیترنج و نارنج)، دو سطح فسفر (صفر و 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و دو خاک با درصد آهک مختلف (درصد آهک در خاک‌های "یک" و "دو" به‌ترتیب 16% و 2/3 %) بودند. 18 ماه پس از کاشت نهال‌ها، گیاهان برداشت شدند و وزن خشک و نیز تجمع فسفر در بخش‌های مختلف نهال اندازه‌گیری شد. سپس، شاخص جذب و انتقال فسفر و نیز شاخص کارایی مصرف داخلی فسفر محاسبه شد. بررسی نتایج نشان داد که با کاربرد فسفر وزن خشک شاخسار سه پایه سیترومیلو، سیترنج و نارنج در هر دو خاک مطالعه شده افزایش معنادار (P<0/05) یافت. بیشترین افزایش وزن خشک شاخساره به دنبال کاربرد کود فسفر در خاک "یک" برای پایه نارنج (74%) و در خاک "دو" برای پایه سیترومیلو (49 %) به دست آمد. در شرایط عدم کاربرد فسفر، کارایی جذب و انتقال فسفر درپایه نارنج در خاک "یک" و در پایه‌های نارنج و سیترنج در خاک "دو " نسبت به سایر پایه‌ها برتری داشت. در شرایط کاربرد فسفر نیز، شاخص کارایی مصرف داخلی فسفر در پایه نارنج در خاک یک و در خاک دو درپایه‌های سیترنج و نارنج بر سایر پایه‌های مورد مطالعه برتری داشت. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که انتخاب پایه کارا در جذب فسفر برای پرتقال به شرایط خاک وابسته بوده و مکان ویژه می‌باشد. بنابراین، به‌منظور بهبود رشد نهال¬های گلدانی مرکبات در مناطق مطالعه شده از استان مازندران توصیه می‌شود یا از پایه کارای مناسب در جذب فسفر در این مناطق استفاده گردد و یا اگر به دلیل محدودیت‌های خاکی و اقلیمی امکان استفاده از پایه کارا وجود ندارد، کود فسفر بر اساس فسفر قابل استفاده موجود در خاک مصرف شود.

واژه‌های کلیدی: سیترومیلو، سیترنج، نارنج، جذب فسفر

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری، رامسر، ایران.

مقدمه

فسفر یکی از مهمترین عناصر غذایی است که نقش کلیدی در تولید عملکرد محصولات زراعی و باغی دارد. سالانه بیش از 16 میلیون تن کود فسفر در دنیا (باتن، 1992) و 800 هزار تن کود فسفر در ایران مصرف می‌شود (ملکوتی، 1384). اما متأسفانه به دلیل شیمی پیچیده فسفر در خاک، تقریباً 10-30 % کود مصرف‌شده در آن سال مورد استفاده گیاه قرار گرفته و مانده‌ی آن به‌مرور زمان در خاک تثبیت‌شده و به شکل غیرقابل‌دسترس گیاه تجمع می‌یابد (سایرس و همکاران، 2008). فسفر مانده در خاک ناشی از کوددهی در گذشته می‌تواند با یک تاخیر زمانی نیاز گیاهان به کود فسفر در آینده را تأمین کند (ستاری و همکاران، 2012). بنابراین، افزایش ظرفیت گیاهان برای استفاده از فسفر تجمع‌یافته در خاک در تولید محصول بسیار مؤثر است. هم‌چنین، تجمع بیش ازحد فسفر منجر به کاهش عملکرد ناشی از نسبت بالای فسفر به روی و یا فسفر به آهن گشته و مخاطرات زیست‌محیطی نیز به همراه خواهد داشت (لی و همکاران، 2011). از طرف دیگر، بررسی تعدادی از مطالعات نشان دادکه با کاربرد کود فسفر می‌توان عملکرد و کیفیت میوه گیاهان چوبی را بهبود بخشید (آنتونس و همکاران، 1991؛ کوواجیو و همکاران، 1998؛ ماتوس و همکاران، 2006). کاهش سنگ فسفات به عنوان یک منبع برای کود فسفر و افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از افزایش کاربرد کود فسفر تمایل به سمت استفاده از ارقام کارا در جذب و استفاده فسفر را افزایش داده است (لی و همکاران، 2011؛ تیان و همکاران، 2012؛ ریچاردسون و همکاران، 2012؛ کلمنس و همکاران، 2016).

به طور کلی، رشد گیاه در خاک‌ها با قابلیت دسترسی پائین فسفر در میان گونه‌های گیاهی و حتی در میان ژنوتیپ‌های یک گونه تغییر می‌کند. سازوکارهای اصلی دخیل در چنین تغییراتی هنوز به طور کامل درک نشده اند اما مطابق با مطالعات قبلی ممکن است دلایل زیر دخیل باشند: 1- توانایی برتر یک ژنوتیپ در جذب عنصر از خاک، 2- انتقال ترجیحی فسفر از ریشه به شاخسار (شنگ و همکاران، 2009) و 3- استفاده کاراتر فسفر در گیاه (زامبوسی و همکاران، 2012) است. به هر حال، در برخی سیستم‌های کشت به علت کاربرد مقدار زیادی از کود فسفر، مقدار فسفر خاک مازاد بر نیاز گیاه می‌باشد (ستاری و همکاران، 2012). بسیاری از ژنوتیپ-های کارا قادر به حفظ ویژگی‌های مفید ذکر شده غالباً در شرایط تأمین مقادیر زیاد فسفر نمی‌باشند (کوواسویچ و همکاران، 2007؛ ما و همکاران، 2001؛ ناجی و همکاران، 2006؛ شن و همکاران، 2002؛ تنگ و همکاران، 2013). بنابراین ژنوتیپی در میان ژنوتیپ‌های یک‌گونه 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.

در تولید بسیاری از انواع میوه‌ها از قبیل مرکبات استفاده از پایه به عنوان سیستم ریشه درخت با هدف افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل بیماری‌گر و نیز افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی شامل شوری، عناصر سنگین و پ-اچ بالا متداول است (رافائل و همکاران، 2012). از آنجا که پایه‌ها سیستم ریشه یک درخت را تشکیل می‌دهند، بنابراین بر جذب آب، عناصر غذایی و انتقال آنها به قسمت‌های مختلف گیاه و نیز بر حاصلخیزی خاک از طریق تأثیر ترشحات ریشه پایه بر ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک پیرامون خود و به دنبال آن تأثیر بر تحرک و فراهمی فسفر برای گیاه و نیز بر نیاز کودی اثرگذار می‌باشند. طبق گزارش ماتوس و همکاران (2006) توانایی پرتقال هاملین پیوند شده بر روی پایه رانگپورلایم در مقایسه با پرتقال هاملین پیوند شده بر روی پایه‌های کلئوپاترامانداریں و سیترومله در سازگاری با خاک‌هایی که کمبود فسفر دارند و نیز استفاده مؤثر از فسفر بومی خاک، بیشتر می‌باشد.

زامبوسی و همکاران (زامبوسی و همکاران، 2013) نیز گزارش کردند که کارایی جذب و انتقال فسفر به بخش‌های هوایی پرتقال در پایه رانگپورلایم بیشتر از پایه کلئوپاترامانداریں بود. در مطالعه‌ای دیگر اثر سه پایه نارنج، کاریزو و تریور سیترنج بر مقدار عناصر غذایی موجود در برگ ماندارین پیوند شده بر این سه پایه در شرایط آب و هوایی ترکیه بررسی شده است (تاپلو و همکاران، 2012). نتایج این محققین حاکی از این امر بود که کاریزو سیترنج در جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، منگنز و مس؛ تریور سیترنج در جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن؛ و نارنج در جذب کلسیم، روی و سدیم نسبت به دیگر پایه‌های بررسی‌شده ارجحیت داشتند. بنابراین، تریور و سیترنج در مجموع نسبت به نارنج در جذب عناصر غذایی برتری دارند. در واقع توانایی متفاوت پایه‌ها در جذب عناصر غذایی ناشی از توانایی متفاوت این پایه‌ها در اصلاح فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک پیرامون ریشه‌ی آنها (خاک ریزوسفری) (ان‌گولی و همکاران، 2015)، توانایی متفاوت آنها در انتقال عناصر غذایی از ریشه به بخش هوایی و نیز کارایی

متفاوت پایه‌ها در استفاده از عناصر غذایی جذب شده (ماتوس و همکاران، 2006) می‌باشد.

نارنج پایه رایج مورد استفاده در مناطق شمالی کشور است. سیترنج و سیترومله نیز عمدتاً به دلیل رشد رویشی قوی آنها و تحمل نسبت به بیماری تریستزا از مهمترین پایه‌های مرکبات در جهان می‌باشند که در استان مازندران با وسعت کمتری در مقایسه با پایه نارنج به عنوان پایه برای مرکبات استفاده می‌شوند. به هر حال اطلاعات اندکی در زمینه سازگاری این پایه‌ها نسبت به شرایط تأمین ناکافی و کافی فسفر وجود دارد. بنابراین غربالگری پایه‌های کارآمد به لحاظ جذب و استفاده فسفر با هدف بهبود کارایی استفاده فسفر می‌تواند موضوع مهمی در مدیریت بهینه تغذیه درختان مرکبات باشد. از آنجایی که تاکنون هیچ گزارش در مورد مقایسه پایه‌های مرکبات به لحاظ کارایی جذب و مصرف داخلی فسفر در شرایط کشت در خاک منتشر نشده است، در پژوهش حاضر سعی شده است شاخص‌های تجمع نسبی، کارایی جذب و کارایی مصرف داخلی فسفر نهال‌های جوان تامسون بر سه پایه نارنج، سیترومله وسیترنج تحت شرایط کشت گلدانی در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه-گرمسیری مورد مقایسه قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

جهت اجرای این پژوهش در سال 1395 نتایج آزمایش‌های خاک شرق و غرب مازندران بررسی شد. سپس دو نمونه خاک بر اساس مقادیر درصد رس، کربنات کلسیم معادل و مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن انتخاب شدند. نمونه خاک‌های انتخابی شامل یک خاک از شرق مازندران از منطقه دشت‌ناز ساری و یک خاک از خرم‌آباد واقع در غرب مازندران بودند. در ادامه تقریباً 600 کیلوگرم از هریک از خاک‌های مورد نظر به پژوهشکده مرکبات واقع در رامسر انتقال یافت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منتخب (جدول 1) به روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین شدند. پ-اچ نمونه‌های خاک در سوسپانسیون 2 به 1 محلول به خاک (توماس، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های صاف شده با نسبت 2 به 1 محلول به خاک (روادز، 1996)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم (لوپرت و اسپاارکس، 1996)، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سامرز، 1996)، پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم (هلمک و اسپارکس، 1996) و بافت خاک به روش هیدرومتر (جی و بودر، 1986) تعیین شدند (جدول 1).

بر اساس جدول 1، دامنه مقدار رس در خاک‌های مورد مطالعه از 19 تا 24 درصد، دامنه کربنات کلسیم معادل از 23 تا 160 گرم بر کیلوگرم خاک و دامنه تغییر مقدار فسفر استخراجی توسط روش اولسن از 10/2 تا 12/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. مقدار کربن آلی از 8/2 تا 16/2 گرم بر کیلوگرم خاک متغیر بود (جدول 1). خاک منطقه دشت ناز ساری یک خاک با درصد آهک بالا و خاک منطقه خرم‌آباد یک خاک با درصد آهک پائین بودند.

در ابتدا بذر سه پایه مرکبات شامل ترویر سیترنج (*Citrus sinensis* (L.) Osb ×*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.)، سوینگل سیترومله (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.× *Citrus paradisi* Macf.) و نارنج (*Citrus aurantium* L.)پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم در گلدان‌های پلاستیکی با بستر پریلایت و کوکوپیت کشت شدند. سپس به صورت روزانه تا زمان جوانه زدن با آب مقطر آبیاری شدند. پس از اطمینان از استقرار نهال‌های بذری، هر دو هفته یک‌بار محلول هوگلند اصلاح شده (زامبوسی و همکاران، 2012؛ زو و همکاران، 2014) به صورت کودآبیاری به گلدان‌ها اضافه شد. در مهرماه سال 1395، 50 نهال یک‌ساله با قطر یک سانتی‌متر از هر یک از سه پایه‌ی مورد مطالعه (نارنج، سیترومله و سیترنج) انتخاب و با پیوندک پرتقال تامسون در ارتفاع 20 سانتی‌متری پایه پیوند جوانه (تی) زده شدند. در اردیبهشت سال 1396 نهال‌های پرتقال تامسون با رشد یکنواخت مشابه (ارتفاع پیوندک حدود 5 سانتی‌متر) از هر یک از سه پایه مورد مطالعه شامل: ترویر سیترنج، سوینگل سیترومله و نارنج انتخاب و در گلدان‌های 20 لیتری با قطر دهانه 34 سانتی‌متر و ارتفاع 37 سانتی‌متر در دو سطح فسفر صفر و سطح 100 میلی‌گرم فسفر (اضافه شده) بر کیلوگرم خاک در سه تکرار کشت شدند.

در ابتدا داخل گلدان با 15 کیلوگرم از هر یک از دو خاک عبور داده شده از الک 4 میلیمتری پر شد. فسفر در دو سطح صفر و 100 میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک از منبع مونو پتاسیم فسفات در ابتدای کشت با خاک گلدان‌ها مخلوط شد. نظر به اینکه خاک گلدان‌ها نباید از لحاظ سایر عناصر غذایی کمبودی داشته باشند، در ابتدای کشت به جز فسفر، سایر عناصر غذایی ضروری بر اساس توصیه‌های مبتنی بر آزمایش خاک و طبق نظر محققین پژوهشکده مرکبات و نیز بر اساس منابع علمی (دو و آلوا، 1998) مصرف شد. بدین‌منظور به هر گلدان 500 میلی‌گرم پتاسیم از منابع سولفات پتاسیم (374 میلی‌گرم) و مونوپتاسیم فسفات (126 میلی‌گرم)، پنج

میلی‌گرم روی از منبع سولفات روی، 10 میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین آهن اضافه شد. علاوه براین 500 میلی‌گرم نیتروژن درکیلوگرم خاک از منبع اوره در ده مرحله تقسیط و طی فصل رشد همراه آب آبیاری به کار برده شد. تمامی مراقبت‌های لازم باغی مانند آبیاری و تنظیم نور و رطوبت و غیره برای تمامی تیمارها به طور یکسان اعمال شد. نهال‌های تامسون بر سه پایه ذکر شده به مدت دو فصل رشد در گلدان‌های پر شده با خاک انتقال یافته از شرق مازندران و خاک انتقال یافته از خرم‌آباد در غرب مازندران نگهداری شدند.

در پائیز 97 نهال‌ها برداشت شدند. ریشه‌ها و بخش ساقه پایه‌ها و نیز بخش‌های هوایی نهال‌های جوان شامل ساقه پیوندک و برگ‌ها با آب مقطر شسته شده و به مدت 72 ساعت در دمای 70 درجه سلسیوس خشک و وزن خشک آنها تعیین شدند. درصد افزایش وزن خشک ناشی از کاربرد کود فسفر مطابق رابطه‌ی زیر محاسبه شد.

=درصد افزایش وزن خشک ناشی از کاربرد کود فسفر

وزن خشک در شرایط عدم مصرف فسفر //(وزن خشک در شرایط عدم مصرف فسفر - وزن خشک در شرایط تأمین فسفر)

نمونه‌های خشک شده در آون با استفاده از آسیاب برقی پودر شدند. سپس، نمونه‌های پودر شده به روش خاکستر خشک هضم (کالرا، 1998) و مقدار فسفر به روش رنگ‌سنجی در نمونه‌های هضم شده تعیین شد (مورفی و رایلی، 1962). غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی بر حسب درصد (گرم در 100 گرم ماده خشک) محاسبه شد. برای محاسبه جذب کل فسفر، غلظت فسفر در مقدار ماده خشک مربوطه ضرب گردید. در ادامه شاخص‌های تجمع نسبی فسفر، کارایی فسفر، کارایی جذب فسفر و کارایی مصرف داخلی فسفر مطابق روابط زیر محاسبه شدند (گایدانگ و همکاران، 2011؛ زامبوسی و همکاران، 2012؛ کانگ و همکاران، 2014؛ نواز و همکاران، 2017؛ دنگ و همکاران، 2018).

=درصد تجمع نسبی فسفر

مقدار فسفر جذب شده توسط کل گیاه در شرایط کاربرد فسفر/ مقدار فسفر جذب شده توسط کل گیاه در شرایط عدم کاربرد فسفر

=درصد کارایی فسفر

مقدار ماده خشک پیوندک در شرایط کاربرد فسفر / مقدار ماده خشک پیوندک (ساقه و برگ پیوندک) در شرایط عدم کاربرد فسفر

= کارایی جذب و انتقال فسفر (میلی‌گرم فسفر بر گرم ماده خشک)

وزن خشک پایه (ساقه و ریشه) در سطح فسفر مربوطه / مقدار فسفر جذب شده توسط پیوندک در هر یک از سطوح کاربرد فسفر

= کارایی مصرف فسفر (گرم ماده خشک بر میلی‌گرم فسفر)

مقدار کل فسفر جذب شده در سطح فسفر مربوطه / مقدار ماده خشک پیوندک (ساقه و برگ پیوندک) در هر یک از سطوح کاربرد فسفر

در نهایت در هر یک از خاک‌های مورد مطالعه در هر سطح فسفر به طور جداگانه اثرات پایه بر شاخص‌های مورد اندازه‌گیری توسط تجزیه واریانس یک طرفه بررسی و مقایسه میانگین در هر سطح فسفر با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال 95 درصد انجام شد. هم‌چنین، برای بررسی اثر کاربرد فسفر بر هریک از شاخص‌های اندازه‌گیری شده در مورد هریک از پایه‌های مورد مطالعه از آزمون تی تست استفاده شد. کلیه آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9/2 انجام شد.

جدول 1- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌های مطالعه شده

خاک	طول و عرض جغرافیایی		پ-اچ	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	فسفر اولسن	پتاسیم
			-	%		g/kg		mg/kg	
1 (دشت‌ناز)	53° 09′E	36° 38′N	7/45	19	22	160	16/2	12/5	131
2 (خرم‌آباد)	50° 52′E	36° 46′N	7/20	24	18	23	12/8	10/2	114

نتایج و بحث

شاخص‌های رشد و کارایی جذب و مصرف فسفر در نهال‌های جوان پرتقال بر سه پایه مختلف در خاک یک

شاخص‌های رشد: در جدول 2 اثر پایه و سطح فسفر بر وزن خشک و تجمع فسفر در بخش‌های مختلف نهال پرتقال بر سه پایه نارنج، سیترومِلو و سیترنج آورده شده است. بررسی نتایج نشان داد در خاک "یک" با کاربرد فسفر وزن خشک پیوندک (برگ و ساقه پیوندک) سه پایه سیترومِلو، سیترنج و نارنج به‌ترتیب 22، 52 و 74 درصد افزایش نشان داد. علاوه‌براین در این خاک مقدار وزن خشک بخش پایه نهال‌های پیوند شده بر هر سه پایه سیترومِلو (25 درصد)، سیترنج (50 درصد) و نارنج (30 درصد) با کاربرد فسفر به طور معناداری افزایش یافت بود ($P\leq0/05$). با توجه به پاسخ مثبت نهال‌های پیوند شده بر سه پایه مورد مطالعه به نظر می‌رسد نیاز به کوددهی فسفر در این خاک وجود دارد.

بررسی نتایج در این خاک نشان داد (جدول 2) در سطح صفر فسفر بین مقدار وزن خشک کل پیوندک بر سه پایه به ترتیب سیترومِلو> نارنج > سیترنج کاهش یافت هرچند اختلاف معناداری بین وزن خشک پیوندک سیترومِلو و نارنج مشاهده نشد. هم‌چنین، در شرایط عدم کاربرد فسفر وزن خشک پایه سیترومِلو به طور معناداری بیشتر از دو پایه دیگر مورد بررسی بود. علاوه‌براین در شرایط عدم کاربرد فسفر وزن خشک کل نهال بر پایه سیترومِلو بیشتر از دو پایه دیگر بود ($P\leq0/05$).

در شرایط کاربرد فسفر، مقدار وزن خشک کل پیوندک در نارنج به طور معنادار بیشتر از مقدار وزن خشک کل پیوندک در دو پایه سیترومِلو و سیترنج بود. در این شرایط وزن خشک سه پایه مورد مطالعه به‌ترتیب سیترومِلو>سیترنج> نارنج کاهش یافت. در شرایط کاربرد فسفر بین وزن خشک کل نهال بر سه پایه مورد مطالعه تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P>0/05$). بنابراین در خاک یک مطالعه شده در شرایطی که کود فسفری استفاده نگردد دو پایه سیترومِلو و نارنج در مقایسه با پایه سیترنج بخش بیشتری از ماده خشک خود را به شاخسار که نقش مهمی در ایجاد قابلیت لازم برای تولید عملکرد اقتصادی دارد، اختصاص داده‌اند. هم‌چین با بررسی نتایج مشاهده شد که در شرایط عدم کاربرد کود فسفر، مقدار وزن خشک کل گیاه برای پایه نارنج و نیز وزن خشک پایه نارنج کمتر از پایه سیترومِلو بود، اما تفاوت معناداری بین وزن خشک پیوندک در پایه نارنج و سیترومِلو مشاهده نشد. بنابراین، به نظر می‌رسد در پایه نارنج در مقایسه با پایه سیترومِلو نیز در شرایط عدم کاربرد فسفر بخش بیشتری از فسفر صرف تولید ماده خشک در بخش هوایی شده است.

تجمع و توزیع فسفر

در شرایط عدم کاربرد فسفر، تفاوت معناداری بین مقدار فسفر تجمع یافته در کل قسمت‌های نهال‌های پیوند شده بر سه پایه نارنج، سیترومِلو و سیترنج و نیز بین مقدار فسفر تجمع یافته در بخش پایه این نهال‌ها مشاهده نشد ($P>0/05$). اما مقدار فسفر تجمع یافته در بخش پیوندک نارنج به‌طور معناداری بیشتر از مقدار فسفر تجمع یافته در پیوندک دو پایه دیگر بود ($P\leq0/05$).بنابراین در شرایط عدم کاربرد فسفر، سازوکار پایه نارنج افزایش انتقال فسفر به بخش هوایی می‌باشد.

در شرایط کاربرد فسفر، نیز بین مقدار کل فسفر تجمع یافته در نهال‌های پیوند شده بر سه پایه تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P>0/05$). در این شرایط بیشترین مقدار فسفر در پیوندک نارنج (343 میلی گرم) در مقایسه با پیوندک‌های دو پایه دیگر تجمع یافت، هرچند که مقدار فسفر تجمع یافته در بخش پایه نارنج (201 میلی گرم) در مقایسه با دو پایه سیترومِلو (315 میلی گرم) و سیترنج (275 میلی گرم) به طور معناداری کمتر بود. بنابراین پایه نارنج در مقایسه با دو پایه سیترومِلو و سیترنج چه در شرایط کاربرد فسفر و چه در شرایط عدم کاربرد فسفر مقدار فسفر بیشتری از کل فسفر جذب شده را به پیوندک خود منتقل کرده است.

کارایی جذب و استفاده فسفر

شاخص تجمع نسبی فسفر از تقسیم مقدار جذب فسفر در تیمار صفر به مقدار جذب فسفر در سطح کفایت فسفر بدست می‌آید. با این مفهوم هر رقمی که در شرایط فسفر پایین با هر سازوکاری که استفاده کند بتواند به‌طور نسبی فسفر بیشتری در کل جذب کند کارا در جذب می‌باشد. به عبارت دیگر رقم با شاخص تجمع نسبی بالاتر در واقع از ظرفیت بالاتری برای نگهداری و یا ذخیره فسفر تحت شرایط کمبود فسفر برخوردار است. شاخص تجمع نسبی فسفر از طریق اصلاح و دامنه تغییرات اعمال‌شده توسط ریشه ارقام مختلف در شرایط زیستی، شیمیایی و فیزیکی خاک احاطه‌کننده ریشه امکان‌پذیر می‌باشد. در خاک یک شاخص تجمع نسبی فسفر در نهال‌های پیوند شده بر پایه نارنج به طور معنی‌داری بیشتر از دو پایه دیگر بود (شکل 1). این بدین معنا است که نهال تامسون بر پایه نارنج از ظرفیت بالاتری برای نگهداری و یا ذخیره فسفر تحت شرایط کمبود فسفر برخوردار است.

جدول 2- اثرات پایه و سطح فسفر بر وزن خشک (گرم) و تجمع فسفر (میلی‌گرم) در بخش‌های مختلف پرتقال تامسون پیوند شده بر سه پایه در خاک یک

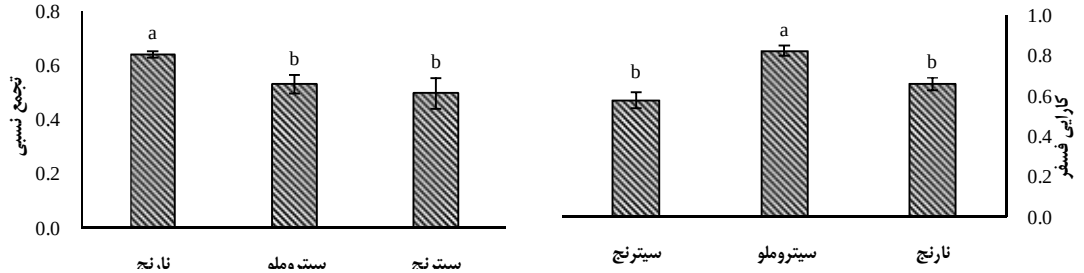
شاخص		پیوندک		پایه		کل	
		P_{100}	P_0	P_{100}	P_0	P_{100}	P_0
وزن خشک	نارنج	231*a	133ab	133*c	103b	364*a	236b
	سیترومیلو	184ab	151aA	195*a	156a	379*a	307a
	سیترنج	168*b	110b	172*b	115b	340*a	225b
تجمع فسفر	نارنج	343*a	214a	201*b	135a	544*a	349a
	سیترومیلو	274*b	143b	315*a	169a	589*a	312a
	سیترنج	277*b	121b	275*a	154a	552*a	275a

در هر ستون مشخص (هر یک از سطوح فسفر مورد مطالعه) میانگین‌ها با حروف کوچک متفاوت، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد دارند؛

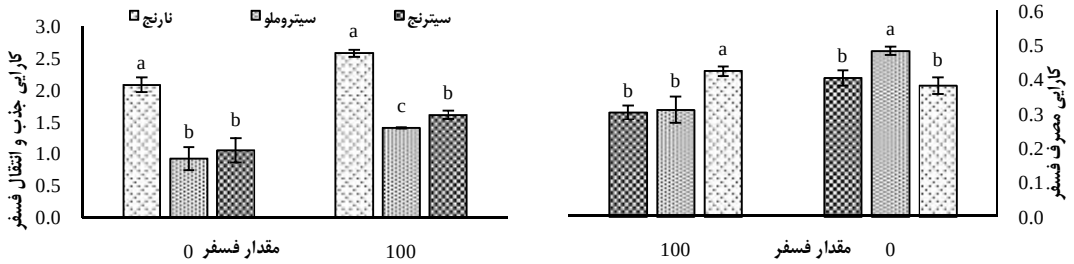
علامت * در هر سطر مشخص (هریک از پایه‌های مورد مطالعه) نشان می‌دهد که کاربرد فسفر بر اساس آزمون تی تست تاثیر معنی‌داری بر شاخص مورد مطالعه در سطح اطمینان 95 درصد داشته است.

شاخص کارایی فسفر از تقسیم مقدار ماده خشک در تیمار صفر به مقدار ماده خشک در سطح کفایت فسفر بدست می‌آید. این شاخص خود از دو زیر شاخص تحت عناوین کارایی کسب فسفر و کارایی مصرف فسفر تشکیل‌شده است. دامنه شاخص کارایی فسفر از 0/82 در پایه سیترومیلو تا 0/58 در پایه سیترنج متغییر بود (شکل 1). بررسی نتایج نشان داد در خاک یک پایه سیترومیلو از شاخص کارایی بیشتری برای فسفر برخوردار است. شاخص کارایی فسفر با مفهوم فوق با کودپذیری گیاه رابطه معکوس دارد. در واقع این شاخص یک نسبت است و هر چه صورت این نسبت بزرگتر و مخرج آن کوچکتر باشد این نسبت بیشتر می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد بررسی شاخص جذب و مصرف فسفر نماینگر بهتری از تحمل نسبی گیاه به شرایط کمبود فسفر و کارایی جذب و مصرف فسفر می‌باشد. در خاک یک همان‌طور که قبلاً در جدول 2 آورده شده بود، مقدار پاسخ و یا افزایش وزن خشک بخش پایه و بخش پیوندک در پایه سیترومیلو و نیز در پایه سیترنج مشابه است ولی در پایه نارنج مقدار افزایش وزن خشک بخش پیوندک در مقایسه با مقدار افزایش وزن خشک بخش پایه به دنبال کاربرد کود فسفر بیشتر می‌باشد. بنابراین پاسخ نهال‌های پیوند شده بر پایه نارنج به کاربرد کود فسفر در مقایسه با دو پایه دیگر بیشتر است. طبق گزارش ونگ و همکاران (2010) در شرایط کمبود فسفر کارایی جذب فسفر در مقایسه با کارایی مصرف فسفر و در شرایط تأمین فسفر کارایی مصرف فسفر در مقایسه با کارایی جذب فسفر از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. در ادامه این دو شاخص محاسبه و ارائه شده‌اند.

همان‌طور که در شکل 2 ملاحظه می‌شود چه در شرایط تأمین فسفر و چه در شرایط عدم کاربرد فسفر، کارایی جذب و انتقال فسفر به بخش هوایی (پیوندک) در مورد پایه نارنج به طور معناداری بیشتر از پایه‌های سیترومیلو و سیترنج بود. بنابراین به لحاظ جذب و انتقال فسفر پایه نارنج در خاک یک نسبت به دو پایه سیترومیلو و سیترنج کارایی بیشتری دارد. بررسی نتایج نشان داد کارایی مصرف فسفر در شرایط عدم کاربرد فسفر در پایه سیترومیلو (0/48 گرم بر میلی‌گرم) و در شرایط کاربرد فسفر در پایه نارنج (0/42 گرم بر میلی‌گرم) به طور معناداری بیشتر از دو پایه دیگر در هر سطح فسفر مورد بررسی بود. شاخص کارایی مصرف فسفر از تقسیم مقدار عملکرد (ماده خشک پیوند شامل ساقه و برگ پیوندک) به مقدار جذب فسفر در همان سطح کاربرد فسفر بدست می‌آید که نشان‌دهنده‌ی تولید ماده خشک گیاهی به ازای واحد فسفر جذب‌شده می‌باشد و رقمی که بتواند فعالیت‌های متابولیکی خود به گونه‌ای تنظیم نماید و ماده خشک زیادی نسبت به واحد فسفر جذب‌شده تولید نماید رقم کارا در مصرف فسفر شناخته می‌شود.



شکل 1- تجمع نسبی فسفر و کارایی فسفر در پرتقال پیوند شده بر سه پایه مورد مطالعه در خاک یک
میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5% ندارند



شکل 2- کارایی جذب و انتقال (میلی‌گرم) و مصرف (گرم ماده خشک به میلی‌گرم فسفر) فسفر توسط پرتقال پیوند شده بر سه پایه مورد مطالعه در دو سطح فسفر
میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5% ندارند؛
شاخص‌های رشد و کارایی جذب و مصرف فسفر در نهال‌های جوان پرتقال بر سه پایه مختلف در خاک دو

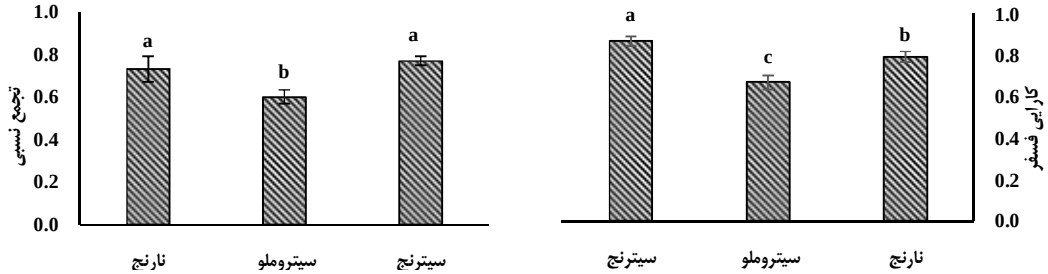
در این خاک مطالعه شده بیشترین شاخص تجمع نسبی در نهال پیوند شده بر پایه نارنج در مقایسه با دو پایه سیترومولو و سیترنج مشاهده شد (شکل 1). در این خاک بیشترین کارایی فسفر مربوط به نهال پیوند شده بر پایه سیترومولو بود. بیشترین تجمع فسفر در بخش پیوندک و کمترین تجمع فسفر در بخش پایه در نارنج در مقایسه با دو پایه دیگر یافت شد. پیوندک نارنج در هر دو شرایط کاربرد فسفر از وزن خشک بالایی برخورد دار بود. کارایی جذب و انتقال فسفر در دو شرایط کاربرد فسفر در پایه نارنج در مقایسه با دو پایه دیگر بیشترین بود (شکل 2). به هر حال کارایی مصرف داخلی فسفر در شرایط کاربرد فسفر در پایه نارنج بیشترین و در شرایط عدم کاربرد کود فسفر در پایه سیترومولو بیشترین بود (شکل 2). علاوه براین بررسی نتایج نشان داد کودپذیری پایه نارنج در مقایسه با دو پایه دیگر در خاک مورد مطالعه بیشتر بود. در این خاک بیشترین کارایی فسفر مربوط به نهال پیوند شده بر پایه سیترومولو بود. دلیل کمتر بود بودن کارایی فسفر در پایه نارنج را می‌توان به کودپذیری بیشتر این پایه در این خاک مرتبط دانست. زیرا کارایی فسفر یک نسبت است و با توجه به این موضوع که در شرایط عدم کاربرد فسفر وزن خشک نارنج و سیترومولو بیشتر از سیترنج بود و نیز با لحاظ کردن این امر که پاسخ پایه نارنج به کاربرد کود در مقایسه با دو پایه دیگر بیشتر بود بنابراین افزایش مخرج کسر کارایی فسفر پایه نارنج در مقایسه با پایه سیترومولو بیشتر بوده و این امر منجر به کاهش کل کسر شده است. بنابراین در صورت مناسب بودن سایر شرایط چه به لحاظ تغذیه‌ای و چه به لحاظ سایر تنش های زیستی و غیرزیستی، ترتیب پایه‌های مورد مطالعه به لحاظ کارایی جذب فسفر در خاک یک به صورت نارنج> سیترومولو> سیترنج می‌باشد.

جدول 3- اثرات پایه و سطح فسفر بر وزن خشک (گرم) و تجمع فسفر (میلی‌گرم) در بخش‌های مختلف پرتقال تامسون پیوند شده بر سه پایه در خاک دو

شاخص		پیوندک		پایه		کل	
		P_{100}	P_0	P_{100}	P_0	P_{100}	P_0
وزن خشک	نارنج	224*a	178b	140*b	119b	364*a	297b
	سیترومیلو	186*b	125c	203a	157a	389*a	281b
	سیترنج	224*a	195a	185*a	153a	409*a	348a
تجمع فسفر	نارنج	321*a	241a	224*c	157b	544*c	398a
	سیترومیلو	306*a	156b	435*a	289a	741*a	445a
	سیترنج	362*a	272a	259*b	205b	621*b	477a

در هر ستون مشخص (هر یک از سطوح فسفر مورد مطالعه) میانگین‌ها با حروف کوچک متفاوت، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد دارند

علامت * در هر سطر مشخص (هریک از پایه¬های مورد مطالعه) نشان می¬دهد که کاربرد فسفر بر اساس آزمون تی تست تأثیر معنی¬داری بر شاخص مورد مطالعه در سطح اطمینان 95 درصد داشته است.



شکل 3- تجمع نسبی فسفر و کارایی فسفر در پرتقال پیوند شده بر سه پایه مورد مطالعه در خاک دو
میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5% ندارند؛

شاخص‌های رشد

بررسی نتایج نشان داد در خاک دو مطالعه شده با کاربرد کود فسفر وزن خشک شاخسار نهال‌های تامسون پیوند شده بر هر سه پایه افزایش یافت ($P\leq0/05$) و بیشترین درصد افزایش وزن خشک شاخساره نهال‌های تامسون در پاسخ به کاربرد کود فسفر در پایه سیترومیلو (49 درصد) و کمترین در پایه‌های نارنج (26درصد) و سیترنج (15 درصد) مشاهده شد. هم‌چنین، با کاربرد کود فسفر در این خاک وزن خشک ریشه و ساقه پایه هر سه پایه به طور معناداری افزایش یافت. ترتیب افزایش وزن خشک بخش پایه برای نهال تامسون پیوند شده بر سه پایه نارنج، سیترومیلو و سیترنج به‌ترتیب 17، 30 و 21 درصد بود (جدول 3). بنابراین مقدار فسفر در این خاک کمتر از مقدار مورد نیاز نهال‌ها بود.

در شرایط کمبود فسفر، ترتیب نهال‌های پیوند شده بر پایه‌های مختلف به لحاظ وزن خشک شاخساره به‌ترتیب سیترنج>نارنج>سیترومیلو بود. علاوه‌براین، در این شرایط وزن خشک بخش پایه در سیترومیلو و سیترنج به طور معناداری بیشتر از نارنج بود. هم‌چنین در این خاک مقدار وزن خشک کل نهال پیوند شده بر سیترنج بیشتر از دو پایه دیگر بود ($P\leq0/05$). اما در شرایط تأمین فسفر وزن خشک شاخسار پیوندک‌های مربوط به پایه‌های سیترنج و نارنج به‌طور معناداری بیشتر از پایه سیترومیلو بود. در شرایط تأمین فسفر وزن خشک بخش پایه دو پایه سیترومیلو و سیترنج به طور معناداری بیشتر از پایه نارنج بود. هم‌چنین در این خاک مقدار وزن خشک کل نهال پیوند شده بر سیترنج بیشتر از دو پایه دیگر بود هرچند در شرایط کاربرد فسفر بین وزن کل خشک سه پایه تفاوت معناداری مشاهده نشد (جدول 3).

بنابراین در این خاک نهال‌های پیوند شده بر پایه سیترنج چه در هر دو شرایط کاربرد و یا عدم کاربرد فسفر مقدار وزن خشک شاخسار بیشتری تولید کرده‌اند.

تجمع و توزیع فسفر

در شرایط عدم کاربرد بین مقدار کل فسفر تجمع یافته در کل گیاه در سه پایه تفاوت معناداری مشاهده نشد (جدول 3). علاوه‌براین بیشترین مقدار فسفر در بخش پیوندک در پایه سیترنج (272 میلی‌گرم) و نارنج (میلی‌گرم 241) مشاهده شد که به طور معنی داری بیشتر از فسفر تجمع یافته در بخش پیوندک در پایه سیترواملو (میلی‌گرم 156) بود ($P\leq0/05$). به هر حال، مقدار فسفر تجمع در بخش پایه سیترواملو (289 میلی‌گرم) بیشتر از دو پایه نارنج (میلی‌گرم 157) و سیترنج (205 میلی‌گرم) بود (جدول 3).

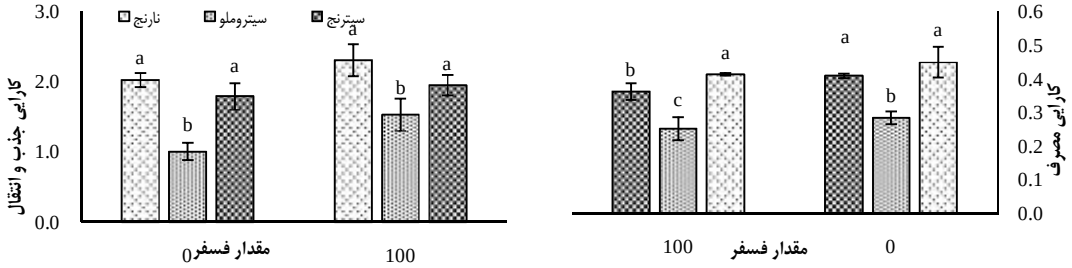
در شرایط کاربرد فسفر ترتیب پایه‌ها به لحاظ مقدار کل فسفر تجمع یافته در کل گیاه به صورت سیترواملو>سیترنج>نارنج بود. در این شرایط بین مقدار فسفر تجمع یافته در بخش پیوندک سه پایه تفاوت معناداری مشاهده نشد.علاوه‌براین ترتیب پایه‌ها به لحاظ مقدار فسفر تجمع یافته در بخش پایه گیاهان به صورت سیترواملو>سیترنج>نارنج بود (جدول 3).

کارایی جذب و استفاده فسفر

در خاک دو دامنه شاخص تجمع نسبی فسفر در نهال‌های تامسون از 0/77 در پایه سیترنج تا 0/60 در پایه سیترواملو متغیر بود (شکل 3). بررسی نتایج نشان داد شاخص تجمع نسبی در پایه‌های سیترنج و نارنج به‌طور معناداری بیشتر از پایه سیترواملو بود. این بدین معنا است که نهال تامسون بر پایه سیترنج و سپس نارنج از ظرفیت بالاتری برای نگهداری و یا ذخیره فسفر تحت شرایط کمبود فسفر برخوردار است. دامنه شاخص کارایی فسفر از 0/87 در پایه سیترنج تا 0/67 در پایه سیترواملو متغیر بود (شکل 3). بررسی نتایج نشان داد در خاک سه پایه سیترنج و بعد از آن پایه نارنج از شاخص کارایی بیشتری برای فسفر برخوردار می‌باشند

همان‌طور که در شکل 4 ملاحظه می‌شود صرف‌نظر از سطح فسفر، کارایی جذب و انتقال فسفر به بخش هوایی (پیوندک) در مورد دو پایه نارنج و سیترنج به طور معناداری بیشتر از پایه سیترواملو بود. علاوه براین، همان‌طور که در شکل 4 ملاحظه می‌شود شاخص کارایی مصرف داخلی فسفر گیاهان پرتقال جوان پیوند شده بر هر سه پایه با کاربرد کود فسفر کاهش یافته است. بررسی نتایج نشان داد در شرایط عدم کاربرد فسفر شاخص کارایی مصرف فسفر در پایه نارنج (0/45 گرم بر میلی‌گرم) و سیترنج (0/41 گرم بر میلی‌گرم) بیشتر از پایه سیترواملو (0/28 گرم بر میلی‌گرم) بود. هم‌چنین، در شرایط تأمین فسفر نیز شاخص کارایی مصرف در پایه‌های سیترنج (0/36 گرم بر میلی‌گرم) و نارنج (0/41 گرم بر میلی‌گرم) بیشتر از پایه سیترواملو (0/25 گرم بر میلی‌گرم) بود.

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که انتخاب پایه کارا در جذب فسفر کاملاً به نوع خاک وابسته است. در خاک یک با درصد آهک 16 درصد (خاک از منطقه دشت‌ناز ساری) پایه‌های نارنج و سیترواملو بر پایه سیترنج بر جذب و مصرف فسفر برتری دارند. در خاک دو با مقدار آهک 2/3 درصد (خاک از منطقه خرم‌آباد) پایه سیترنج و نارنج بر پایه سیترواملو به لحاظ کارایی جذب و مصرف فسفر برتری داشتند. بنابراین به نظر می‌رسد نیاز اولیه پایه‌های سیترواملو، سیترنج و نارنج در سال‌های اولیه کشت در باغ به کود فسفر بسته به نوع خاک و نوع پایه متفاوت می‌باشد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که انتخاب پایه روشی مهم در مدیریت تغذیه‌ی باغ مرکبات است زیرا سازگاری و نیز کارایی پایه‌های مختلف مرکبات در ارتباط با جذب عناصر غذایی متفاوت می‌باشد (زامبروسی و همکاران، 2012). پایه¬های مرکبات هم¬چنین تأثیر زیادی بر تحمل پیوندک نسبت به تنش عناصر غذایی چه کمبود و چه سمیت دارند (شنگ و همکاران، 2009؛ سیمن و همکاران، 2014 و نواز و همکاران، 2017). طبق گزارش ماتوس و همکاران (2006) مقدار عملکرد میوه پرتقال هاملین پیوند شده بر روی پایه رانگپورلایم در مقایسه با پرتقال هاملین پیوند شده بر روی پایه¬های کلئوپاتراماندارین و سیترواملو در خاک‌هایی که از لحاظ فسفر کمبود داشتند، بیشتر بود. نتیجه‌ی فوق حاکی از توانایی متفاوت پایه‌ها در سازگاری با خاک‌هایی که کمبود فسفر دارند و نیز استفاده مؤثر از فسفر بومی خاک، می‌باشد.



شکل 4- کارایی جذب و انتقال (میلی‌گرم) و مصرف (گرم ماده خشک به میلی‌گرم فسفر) فسفر توسط پرتقال پیوند شده بر سه پایه مورد مطالعه در دو سطح فسفر

میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5% ندارند

در پژوهشی دیگر مشاهده شد که پایه¬های مختلف شامل رانگپورلایم، پونسیروس، ترویر سیترنج و کلئوپاترا ماندارین اثر معنی‌داری بر شاخص تجمع نسبی عناصر غذائی در برگ پرتقال‌های 13 ساله پیوند شده بر پایه‌های ذکر شده داشتند (گراسی و همکاران، 2012). بنابراین در یک برنامه کوددهی مناسب باید کارایی جذب و مصرف فسفر توسط پایه‌ها مورد توجه قرار گیرد و از آنجا که طبق گزارش زامبوسی و همکاران (2012) متحرک‌سازی مجدد فسفر در تأمین فسفر مورد نیاز شاخه‌ها جدید در مقایسه با فسفر جدیداً جذب شده نقش پررنگتری دارد، بنابراین مدیریت تأمین فسفر باید به‌گونه-ای باشد که درختان مقادیر کافی از فسفر را تجمع دهند تا درخت قادر باشد نیاز فسفره جست‌های بهاره و تابستانه جدید طی فصل رشد بعدی را تأمین نماید. زامبوسی و همکاران (2013) گزارش کرد که کارایی جذب و انتقال فسفر در نهال‌های پرتقال پیوند شده بر پایه رانگپور لایم در مقایسه با نهال‌های پرتقال پیوند شده بر کلئوپاتراماندارین بیشتر بود.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که انتخاب پایه کارا در جذب فسفر کاملاً به نوع خاک وابسته است. در خاک یک با درصد آهک 16 درصد (خاک از منطقه دشت‌ناز ساری) پایه‌های نارنج و سیترومیلو بر پایه سیترنج بر جذب و مصرف فسفر برتری داشتند. اما در خاک دو پایه (خاک از منطقه خرم‌آباد) سیترنج و نارنج بر پایه سیترومیلو به لحاظ کارایی جذب و مصرف فسفر برتری داشتند. با توجه به مباحث فوق به نظر می‌رسد نیاز اولیه پایه‌های سیترومیلو، سیترنج و نارنج در سال‌های اولیه کشت در باغ به کود فسفر بسته به نوع خاک و نوع پایه متفاوت می‌باشد. بنابراین در یک برنامه کوددهی مناسب باید کارایی جذب و مصرف فسفر توسط پایه‌ها مورد توجه قرار گیرد. به‌طور کلی، انتخاب پایه مناسب برای پرتقال تامسون به لحاظ کارایی کسب فسفر به عوامل متعدد مانند اقلیم و شرایط خاک بستگی دارد و از این رو به نظر می‌رسد مکان محور (site-specific) باشد. علاوه براین در هر دو خاک بررسی شده و در مورد هر سه پایه با کاربرد کود فسفر وزن خشک شاخسار نهال بهبود یافت. بنابراین با توجه به اهتمام کم باغداران در استفاده از کود فسفر در نهالستان‌ها و باغ‌های مرکبات استان مازندران توصیه می‌شود یا از پایه کاراتر در جذب فسفر در این مناطق استفاده گردد و یا اگر به دلیل محدودیت‌های خاکی و اقلیمی امکان استفاده از پایه کارا وجود ندارد، کود فسفر جهت بهبود رشد نهال‌های مرکبات استفاده گردد.

فهرست منابع:

1. ملکوتی، م.ج . 1384 .کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران .(چاپ سوم با بازنگری کامل)، انتشارات سنا .تهران، ایران.

2. Antunes, V., and E.J.B.N. Cardoso. 1991. Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. Plant Soil. 131: 11-19.

3. Batten, G.D. 1992. A review of phosphorus efficiency in wheat. Plant Soil. 149: 163-168.
4. Cimen, B. T. Yesiloglu, M. Incesu and B. Yilmaz. 2014. Growth and photosynthetic response of young 'Navelina' trees budded on to eight citrus rootstocks in response to iron deficiency. New Zeal J Crop Hort. 42: 170-182.
5. Clemens, C., M. van de Wiel, C.G. van der Linden, and O.E. Scholten. 2016. Improving phosphorus use efficiency in agriculture: opportunities for breeding. Euphytica. 207: 1–22.
6. Cong, C., L. Chao, L. Cui-ying, K. Xiao-yu, Z. Yang-jun, and M. Feng-wang. 2014. Differences in the Efficiency of Potassium (K) Uptake and Use in Five Apple Rootstock Genotypes. J. Integr. Agric. 13: 1934-1942.
7. Covacevich, F., H.E. Echeverría, and L.A. Aguirrezabal. 2007. Soil available phosphorus status determines indigenous mycorrhizal colonization of field and glasshouse-grown spring wheat from Argentina. Appl Soil Ecol. 35: 1–9
8. Deng, Y., W. Teng, Y.P. Tong, X.P. Chen, and C.Q. Zou. 2018. Phosphorus Efficiency Mechanisms of Two Wheat Cultivars as Affected by a Range of Phosphorus Levels in the Field. Front Plant Sci. 9: 1614.
9. Dou, H. and A. K. Alva. 1998. Nitrogen availability to citrus seedlings from urea and from mineralization of citrus leaf or compost, J Plant Nutr. 21: 13-24
10. Gee, G.H., and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. p. 383-409. In: A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2, physical properties. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
11. Grace, J.K., K.L. Sharma, K.V. Seshadri, C. Ranganayakulu, K.V. Subramanyam, G. Bhupal Raj, S.H.K. Sharma, G. Ramesh, P.N. Gajbhiye and M. Madhavi. 2012. Evaluation of Sweet Orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) cv. Sathgudi Budded on Five Rootstocks for Differential Behavior in Relation to Nutrient Utilization in Alfisol. Commun Soil Sci Plant Anal. 43: 985-1014.
12. Guidong, L., J. Cuncang, and W. Yunhua. 2011. Distribution of boron and its forms in young ''Newhall'' navel orange (*Citrus sinensis* Osb.) plants grafted on two rootstocks in response to deficient and excessive boron. Soil Sci. Plant Nutr. 2011 57: 93—104
13. Kalra, Y.P. 1998. Handbook of reference methods for plant analysis. CRC, London, UK.
14. Li, H., G. Huang, Q. Meng, L. Ma, L. Yuan, F. Wang, et al. 2011. Integrated soil and plant phosphorus management for crop and environment in China. A review. Plant Soil. 349 157–167.
15. Loeppert, R.H., and D.L. Sparks. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437-474. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
16. Helmke, Ph.A., and D.L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
17. Ma, Z., D. Bielenberg, K. Brown, and J. Lynch. 2001. Regulation of root hair density by phosphorus availability in Arabidopsis thaliana. Plant Cell Environ. 24: 459–467.
18. Mattos D., J.A. Jr Quaggio, H. Cantarella, A.K. Alva, and D.A. Graetz. 2006. Response of young citrus trees on selected rootstocks to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. J Plant Nutr. 29: 1371–1385.
19. Murphy, J., and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal Chim Acta. 27:31–36.

20. Nagy, R., M. Vasconcelos, S. Zhao, J. McElver, W. Bruce, N. Amrhein, et al. 2006. Differential regulation of five Pht1 phosphate transporters from maize (*Zea mays* L.). Plant Biol. 8: 186–197.
21. Nawaz, M.A., L. Wang, Y. Jiao, C. Chen, L. Zhao, M. Mei, Y. Yu, Z. Bie, and Y. Huang. 2017. Pumpkin rootstock improves nitrogen use efficiency of watermelon scion by enhancing nutrient uptake, cytokinin content, and expression of nitrate reductase genes. Plant Growth Regul. 82: 233-246.
22. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. p. 961-1011. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
23. Ngullie, E., A.K. Singh, A. Sema, and A.K. Srivastava. 2015. Citrus Growth and Rhizosphere Properties. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 46: 1540-1550.
24. Quaggio, J., A.H. Cantarella, and B. van Raij. 1998. Phosphorus and potassium soil test and nitrogen leaf analysis as a base for citrus fertilizationNutr. Cycl. Agroecosystems. 52: 67–74.
25. Rhoades, J.D. 1996. Salinity Electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-437. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
26. Richardson, A.E., P.J. Hocking, R.J. Simpson, and T.S. George. 2009. Plant mechanisms to optimise access to soil phosphorus. Crop Pasture Sci. 60: 124–143
27. Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea, and G. Colla. 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.
28. Sattari, S.Z., A.F. Bouwman, K.E. Giller, and M.K. van Ittersum. 2012. Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle. Proc Natl Acad Sci USA. 109: 6348–6353.
29. Shen, H., X. Yan, M. Zhao, S. Zheng, and X. Wang. 2002. Exudation of organic acids in common bean as related to mobilization of aluminum-and ironbound phosphates. J Exp Bot. 48: 1–9.
30. Sheng, O., S.W. Song, Y.J. Chen, S.A. Peng, and X.X. Deng. 2009. Effects of exogenous B supply on growth, B accumulation and distribution of two navel orange cultivars. Trees. 23: 59–68.
31. Syers, J.K., A.E. Johnston, and D. Curtin. 2008. Efficiency of Soil and Fertilizer Phosphorus use. Rome: FAO fertilizer and plant nutrition bulletin. FAO, Rome.
32. Teng, W., Y. Deng, X.P. Chen, X.F. Xu, R.Y. Chen, Y. Lv, et al. 2013. Characterization of root response to phosphorus supply from morphology to gene analysis in field-grown wheat. J Exp Bot. 64: 1403–1411.
33. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-491. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
34. Tian, J., X. Wang, Y. Tong, X. Chen, and H. Liao. 2012. Bioengineering and management for efficient phosphorus utilization in crops and pastures. Curr Opin Biotechnol. 23: 866–871.
35. Toplu, C., V. Uygur, M. Kaplankıran, T.H. Demirkeser, and E. Yıldız. 2012. Effect of citrus rootstocks on leaf mineral composition of ‘okitsu’, ‘clausellina’, and ‘silverhill‘ mandarin cultivars. J Plant Nutr. 35: 1329–1340.
36. Wang, X., C. Tang, C.N. Guppy, and P.W.G. Sale. 2010. Cotton, wheat and white lupin differ in phosphorus acquisition from sparingly soluble sources. Environ Exp Bot. 69: 267–272.

37. Zambosi, F.B., D. Mattos, Jr. R.M. Boaretto, Quaggio J.A., T. Muraoka, and J.P. Syvertsen. 2012. Contribution of phosphorus (^{32}P) absorption and remobilization for citrus growth. Plant Soil 355: 353–362.
38. Zambosi, F.B., Jr. D. Mattos, J.A. Quaggio, H. Cantarella, and R.M. Boaretto. 2013. Phosphorus Uptake by Young Citrus Trees in Low- P Soil Depends on Rootstock Varieties and Nutrient Management. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 44: 2107-2117.
39. Zhou, G.F., S.A. Peng, Y.Z. Liu, Q.J. Wei, J. Han, and Md. Islam. Z. 2014. The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency. Trees. 28: 295–307.

Phosphorus Acquisition and Utilization Efficiency in Thomson Navel Orange Grafted on Three Rootstocks in Two Different Soils from Mazandaran Province

T. Raiesi[1] and B. Moradi

Assistant Professor in Citrus and Subtropical Fruit Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research and Education Organization (AREO), Ramsar;
E-mail: taraieis@gmail.com

Instructor in Citrus and Subtropical Fruit Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research and Education Organization (AREO), Ramsar;
E-mail: bmoradi2003@yahoo.com

Received: July, 2020 and Accepted: October, 2020

Abstract

The objectives of this study were to evaluate P acquisition efficiency (PAE) and internal phosphorus (P) utilization efficiency (PUE) in Thomson Navel Orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck.) grafted on three rootstocks in two soils. For this purpose, a pot experiment was conducted in a completely randomized design using factorial arrangement in three replications. Treatments consisted of two levels of P (0, 100 mg/kg) and three rootstocks of citrus (sour orange, Swingle citrumelo, and Troyer citrange) and two soil types with different percentage of $CaCO_3$. ($CaCO_3$% in soil "1" and "2" were 16% and 2.3 %, respectively). Eighteen months after planting seedlings in pots, plants were harvested and plant indices including dry weight and P uptake were measured. In addition, PAE and PUE were determined. The results of this study showed that shoot dry weight of Thomson Navel Orange on sour orange, citrumelo and citrange was significantly increased in the two studied soils following P application ($p<0.05$). After application of P fertilizer, the highest dry weight of shoots was found for Thomson Navel Orange on sour orange (74%) in soil "1"; and on citrumelo rootstock (49%) in soil "2". When P supply was deficient, Thomson Navel Orange on sour orange rootstock in the soil "1", and on citrange and sour orange rootstocks in the soil "2" were more efficient in P acquisition than other rootstocks. With an adequate P supply and based on PUE, Thomson Navel Orange on sour orange rootstock in the soil "1", and Thomson Navel Orange on citrange and on sour orange rootstocks in the soil "2" were more efficient in internal P utilization than other rootstocks. The results showed that the choice of an efficient rootstock in P uptake depends on the soil condition and is site-specific. In order to improve the performance of citrus seedlings in the studied areas, it is recommended either to use a P- efficient rootstock in these areas or, if it is not possible to use an efficient rootstock due to soil and climatic constraints, use P fertilizer based on the soil available phosphorus.

Keywords: Sour orange, Swingle citrumelo, Troyer citrange, P uptake

[1]. Corresponding author, Citrus and Subtropical Fruit Research Center, Ramsar, Iran.