اثرهای ریزوسفری گندم (*Triticum aestivum* L.) بر قابلیت استفاده فسفر و برخی از ویژگی‌های بیولوژیک در خاک‌های آهکی دشت شهرکرد

طاهره رئیسی[1*] و علیرضا حسین‌پور[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱/۱)

چکیده

ریشه گیاه به‌طور مستقیم از طریق فعالیت خود یا به‌طور غیرمستقیم از طریق تحریک جمعیت و فعالیت ریزجانداران می‌تواند شرایط شیمیایی و بیولوژیک متفاوتی در سطح خود نسبت به خاک توده ایجاد کند. گونه‌های گیاهی اغلب مکانیسم‌های سازگاری مختلفی را برای کسب عناصر غذایی، از جمله فسفر، از مخازن خاک به‌کار می‌گیرند. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرهای ریزوسفر گندم بر فسفر قابل استفاده و برخی از ویژگی‌های بیولوژیک در ۱۰ خاک آهکی در ریزوباکس اجرا شد. بدین منظور، در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار، گندم در ریزوباکس‌های تهیه شده کشت شد. در پایان دوره کشت، گندم‌ها برداشت و ریزوباکس‌ها باز و خاک‌های ریزوسفری و توده جدا و کربن آلی محلول (DOC)، کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)، فسفر زیست‌توده میکروبی (MBP) و کسر متابولیک (qCO_2) تعیین گردید. هم‌چنین، فسفر قابل استفاده با روش‌های عصاره‌گیری اولسن، کلرید کلسیم رقیق، مهلیچ I و بری II تعیین شد. نتایج نشان داد که در خاک‌های ریزوسفر نسبت به خاک‌های توده، DOC، MBC و MBP افزایش و qCO_2 کاهش یافتند. هم‌چنین، مقدار فسفر استخراجی با روش‌های مختلف عصاره‌گیری در خاک‌های ریزوسفر کمتر از خاک‌های توده بود. نتایج مطالعات همبستگی نشان داد که عملکرد و جذب فسفر گندم با فسفر عصاره‌گیری شده توسط روش‌های اولسن، کلرید کلسیم رقیق، مهلیچ I و بری II و هم‌چنین با فسفر زیست‌توده میکروبی در خاک‌های ریزوسفر و توده همبستگی معنی‌داری داشتند. بنابراین، روش‌های عصاره‌گیری اولسن، کلرید کلسیم رقیق، مهلیچ I و بری II می‌توانند برآوردی مناسب از فسفر قابل استفاده گندم در خاک‌های آهکی مورد مطالعه داشته باشند. هم‌چنین، فسفر زیست‌توده میکروبی نیز می‌تواند در برآورد فسفر قابل استفاده گندم در خاک‌های آهکی مطالعه شده مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: عصاره‌گیرهای شیمیایی، کربن آلی محلول، کسر متابولیک، کربن و فسفر زیست‌توده میکروبی

مقدمه

ریزوسفر عبارت است از حجمی از خاک که تحت تأثیر فعالیت ریشه‌ها و گیاهان در حال رشد قرار می‌گیرد (۵۰). تغییرات ایجاد شده در ریزوسفر عمدتاً بیولوژیک هستند (۱۵، ۱۶ و ۵۵). اما خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز تحت‌تأثیر محیط ریزوسفر قرار می‌گیرند (۱۳، ۲۹، ۳۱، ۳۳، ۳۹ و ۵۲). به همین دلیل، محیط ریزوسفر به‌عنوان مکان داغ (Hot spot) خاک معروف است. زیرا محل انجام واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی زیادی می‌باشد.

فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی است که در غلظت‌های

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

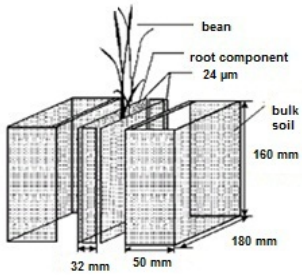
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: taraiesi@gmail.com

خیلی کم در محلول خاک وجود دارد و جذب آن توسط گیاه منجر به کاهش بیشتر این عنصر در ناحیه نزدیک به ریشه می‌شود (۹). در خاک‌های آهکی، دینامیک فسفر عمدتاً توسط اکسیدهای آهن و کربنات کلسیم کنترل می‌شود. علاوه بر این، فسفر آلی هم می‌تواند منبع مهمی برای گیاهان باشد. اما این ترکیب قبل از استفاده توسط گیاه باید توسط فرآیندهای آنزیمی به فسفر معدنی هیدرولیز گردد (۶). قابلیت دسترسی فسفر آلی برای گیاهان در چندین مطالعه نشان داده شده است (۱، ۲۹، ۳۹ و ۵۱). ریشه گیاه به‌طور مستقیم از طریق ترشح آنزیم فسفاتاز یا به‌طور غیرمستقیم از طریق تحریک جمعیت و فعالیت ریزجانداران می‌تواند منجر به معدنی شدن فسفر آلی شود (۱۳ و ۲۰). منبع مهم دیگر فسفر، زیست‌توده میکروبی می‌باشد که بین ۱ تا ۱۰ درصد از کل فسفر را شامل می‌شود (۴۲). در ریزوسفر، گیاهان و ریزجانداران برای جذب فسفر متحرک شده رقابت می‌کنند (۳۳). بنابراین، زیست‌توده میکروبی نقشی کلیدی در چرخه عناصر غذایی و تغذیه معدنی گیاهان ایفا می‌کند. علاوه بر این، پژوهشگران مختلف گزارش نموده‌اند که فسفر زیست‌توده میکروبی نیز می‌تواند در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه دخیل باشد (۴، ۵، ۱۲، ۳۲ و ۴۶). کونو و همکاران (۲۸) گزارش کردند که سرعت تجزیه فسفر زیست‌توده میکروبی از سرعت تجزیه کربن زیست‌توده میکروبی سریع‌تر است. بنابراین، فسفر زیست‌توده میکروبی می‌تواند منبع مهمی در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه باشد. در گذشته، رابطه قوی بین شاخص‌های گیاهی و زیست‌توده میکروبی یا بین فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف و زیست‌توده میکروبی گزارش شده است (۸، ۱۴، ۲۵، ۳۳، ۳۴، ۴۵ و ۴۷). به‌طورکلی، ریشه گیاه با جذب یا آزادسازی عنصر غذایی از محیط احاطه‌کننده ریشه منجر به تخلیه و یا تجمع و در نتیجه ایجاد تغییر در غلظت عنصر از جمله فسفر در اطراف خود می‌شود (۱۳، ۲۹، ۳۱، ۳۳، ۳۹ و ۵۲). بنابراین، قابلیت دسترسی فسفر برای گیاه به مکانیسم‌های مختلف جذب فسفر از ریزوسفر توسط گیاه بستگی دارد. تعداد زیادی از آزمون‌های شیمیایی شامل روش اولسن (۱۳، ۳۹، ۴۱، ۵۱ و ۵۶)، فسفر قابل استخراج با رزین (۲۹ و ۵۷)، محلول‌های نمک رقیق (۳۹ و ۴۴)، روش مهلیچ I و روش بری II (۳۸، ۴۱ و ۵۳) برای ارزیابی فسفر قابل دسترس گیاه در خاک‌های ریزوسفری استفاده شده‌اند. بنابراین، ترکیبی از فرآیندهای بیولوژیک (معدنی شدن- آلی شدن) و شیمیایی (جذب- واجذب و انحلال- رسوب) کنترل‌کننده چرخه و قابلیت دسترسی فسفر در خاک می‌باشد. با وجود تحقیقات فراوان صورت گرفته پیرامون فسفر قابل استفاده و ویژگی‌های بیولوژیک، تاکنون در زمینه تأثیر ریزوسفر گندم بر این ویژگی‌ها در خاک‌های آهکی مطالعه‌ای انجام نگرفته است. بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی اثر ریزوسفر گندم بر فسفر عصاره‌گیری شده توسط برخی از عصاره‌گیرهای شیمیایی، کربن آلی محلول، فسفر و کربن زیست‌توده میکروبی با استفاده از ریزوباکس انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، ۳۰ نمونه خاک از نقاط مختلف زمین‌های زراعی دشت شهرکرد از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شدند. پس از هواخشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، ۱۰ نمونه خاک براساس مقادیر درصد رس، کربنات کلسیم معادل و غلظت فسفر (۴۰) انتخاب شدند. سپس، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از جمله پ- هاش در سوسپانسیون ۲ به ۱ محلول به خاک (۴۹)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های صاف شده با نسبت ۲ به ۱ محلول به خاک (۴۳)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون خنثی‌سازی با اسید کلریدریک یک نرمال (۳۰)، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (۳۷)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم یک مولار در pH=۸/۲ (۴۸) و بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۹) تعیین شد.

به منظور تعیین شاخص‌های گیاه گندم، یک آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۱۰ نوع خاک و در سه تکرار انجام و پس از برداشت گیاه، خاک‌های ریزوسفری و



شکل ۱. ساختار شماتیک سیستم ریزوباکس

غیر ریزوسفری جدا شدند. برای مطالعه ریزوسفر گندم از ریزوباکس استفاده شد. ابعاد ریزوباکس ۱۶۰×۱۳۲×۱۸۰ میلی‌متر (ارتفاع× عرض × طول) در نظر گرفته شد (شکل ۱). ریزوباکس به سه بخش، شامل بخش مرکزی (ریزوسفر) [طول ۳۲ میلی‌متر (۵۴)] و بخش غیر ریزوسفری [به طول ۵۰ میلی‌متر در دو طرف خاک ریزوسفری (۵۴)] تقسیم شد. دو قسمت خاک غیر ریزوسفری (توده خاک) از بخش خاک ریزوسفری توسط یک پوشش نایلونی با قطر منافذ حدود ۲۴ میکرومتر جدا شدند. بخش ریزوسفری و بخش‌های غیر ریزوسفری به‌ترتیب با ۹۰۰ و ۳۱۰۰ گرم خاک هواخشک پر شدند. نظر به این‌که خاک ریزوباکس‌ها نباید از لحاظ سایر عناصر غذایی کمبودی داشته باشند، در ابتدای کشت به هر ریزوباکس ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم و ۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک به‌صورت سکوسترین ۱۳۸ و ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک روی از منبع سولفات روی اضافه شد (۱). هم‌چنین، به هر ریزوباکس مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک نیتروژن از منبع اوره به‌صورت تقسیط در سه نوبت (در زمان کاشت، در مرحله پنجه زدن و ۵ هفته پس از کاشت) اضافه شد.

برای کشت گیاه، بذرهای گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم بک‌کراس روشن پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم به تعداد شش بذر در قسمت مرکزی ریزوباکس‌ها کشت شدند. در پایان هفته اول، تعداد بذرها در هر ریزوباکس به چهار عدد کاهش یافت. در طول مدت رشد، مراقبت‌های زراعی لازم انجام گردید و سعی شد رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت زراعی ثابت بماند. بخش هوایی و ریشه گیاهان ۸ هفته بعد از کاشت برداشت شد. بخش‌های هوایی گیاهان با آب مقطر شسته شده و به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک و وزن خشک اندام هوایی و ریشه تعیین شد. نمونه‌های خشک شده در آون (بخش هوایی) به روش خاکستر خشک هضم و مقدار فسفر موجود در نمونه‌های هضم شده به روش رنگ‌سنجی (۳۶) تعیین شد. هم‌چنین، ریزوباکس‌ها در پایان هفته هشتم باز شدند و از هر ریزوباکس دو نمونه خاک، یکی از بخش ریزوسفر و دیگری از بخش توده خاک (خاک غیر ریزوسفری) برداشت شد. این دو نمونه خاک در هر ریزوباکس به‌ترتیب معرف خاک ریزوسفری و خاک‌توده بودند. مقداری از خاک‌های ریزوسفری و توده هر ریزوباکس در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس به منظور اندازه‌گیری کربن آلی محلول (DOC)، فسفر و کربن زیست‌توده میکروبی (MBP و MBC) نگه‌داری شدند. باقی‌مانده خاک ریزوباکس‌ها هواخشک شد و برای اندازه‌گیری قابلیت استفاده فسفر، به‌کار رفت. کربن آلی محلول در خاک‌های ریزوسفری و توده به روش اکسیداسیون تر (۳۷)، MBC به روش جنکینسون و پائولسون (۲۶) و MBP به روش بروکس و همکاران (۱۱) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه کسر متابولیک (qCO_2) از تقسیم میزان تنفس پایه نمونه‌های تدخین نشده طی ۱۰ روز انکوباسیون بر کربن زیست‌توده میکروبی استفاده شد (۱۷). هم‌چنین، برای بررسی قابلیت استفاده فسفر برای گندم، فسفر با روش‌های اولسن، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، مهلیچ I و بری II (۲۷) از خاک‌های ریزوسفری و توده عصاره‌گیری شد. غلظت فسفر نمونه‌ها به

روش رنگ‌سنجی (۳۶) تعیین شدند. در نهایت، اثر ریزوسفر و نوع خاک بر قابلیت استفاده فسفر، DOC، qCO_2، MBP و MBC توسط تجزیه واریانس دوطرفه و اثر نوع خاک بر شاخص‌های گیاه توسط آنالیز واریانس یک طرفه با استفاده از نرم‌افزار Statistica 10 بررسی شد. معنی‌دار بودن تفاوت‌ها توسط آزمون LSD و در سطح احتمال ۵٪ مورد سنجش قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده در جدول ۱ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دامنه مقدار رس و سیلت در خاک‌های مورد مطالعه به‌ترتیب از ۱۳/۳ تا ۵۵ و از ۲۵ تا ۵۶ درصد، دامنه کربنات کلسیم معادل از ۱۶۲ تا ۴۷۵ گرم بر کیلوگرم خاک و مقدار کربن آلی از ۳/۱ تا ۱۳/۹ گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد. خاک‌های مورد مطالعه قلیایی (دامنه پ- هاش از ۷/۹ تا ۸/۱) و غیر شور (دامنه هدایت الکتریکی از ۰/۲۶ تا ۰/۶۱ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. دامنه فسفر استخراجی با روش اولسن از ۱۵/۹ تا ۷۱/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. به‌طورکلی، پاسخ گیاهان مختلف به غلظت‌های گوناگون فسفر قابل استفاده در خاک براساس شرایط اقلیمی، رطوبت خاک، نوع محصول و سایر عوامل فرق می‌کند. ارقام به‌دست آمده از روش اولسن مؤید آن است که اگر مقدار فسفر خاک ۱۰ تا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، خاک مزبور از نظر فسفر غنی بوده و نیازی به کود فسفاتی ندارد (۳). لیکن، همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر فسفر در همه خاک‌های مطالعه شده بیشتر از حد بحرانی گزارش شده برای فسفر می‌باشد. بنابراین، می‌توان گفت خاک‌های بررسی شده دارای دامنه وسیعی از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مطالعه شده می‌باشند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع خاک، نوع محیط (ریزوسفر و یا توده) و اثر متقابل نوع خاک و محیط بر کلیه ویژگی‌های بیولوژیک مطالعه شده معنی‌دار بود. اثر فعالیت ریشه بر DOC، MBC، MBP و qCO_2 در جدول ۲ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دامنه تغییرات MBC در خاک‌های ریزوسفری از ۸۱ تا ۳۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و در خاک‌های توده از ۵۲ تا ۲۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. هم‌چنین، مقدار MBC در خاک‌های ریزوسفر بیشتر از خاک‌های توده بود. بیشترین مقدار MBP در خاک‌های ریزوسفر و توده به‌ترتیب ۳۳/۲ و ۳۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار ۵/۴ و ۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم تشخیص داده شد. به‌جز خاک ۸، مقدار MBP در خاک‌های ریزوسفری بیشتر از خاک‌های توده بود. مقدار کمتر MBP تشخیص داده شده در خاک ریزوسفری خاک ۸ نسبت به خاک توده این خاک می‌تواند به‌دلیل رقابت ریزجانداران، ریشه گیاه و حتی کلوئیدهای خاک برای جذب فسفر در خاک ریزوسفری ۸ و یا به‌دلیل بالا بودن کربن یا زیست‌فراهمی کربن برای ریزجانداران در خاک ریزوسفری ۸ باشد که این امر می‌تواند منجر به افزایش سرعت جذب کربن نسبت به سرعت جذب فسفر توسط ریزجانداران در خاک ریزوسفری ۸ و کاهش غلظت فسفر در بدن ریزجانداران در این محیط گردد. علاوه بر این، بررسی نتایج نشان داد که نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به فسفر زیست‌توده میکروبی در خاک ریزوسفری ۸ حدود ۱۰ و در توده خاک ۸ حدود ۷/۵ بود که تصدیق کننده مطلب ذکر شده می‌باشد.

دامنه تغییرات DOC در خاک‌های ریزوسفری از ۱۸ تا ۳۸۲ و در خاک‌های توده از ۱۴ تا ۱۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. به‌طورکلی، ورودی کربن آلی توسط ریشه گیاهان در حال رشد به خاک به دو بخش کربنی که توسط جمعیت ریز جانداران هتروتروف معدنی می‌شود و کربنی که در خاک به‌صورت بقایای ریشه و سلول‌های میکروبی و متابولیت‌های آنها باقی می‌ماند، تقسیم می‌شود (۲۱). لیکن، هوانگ و شونائو (۲۴) گزارش کردند که DOC در خاک‌های معدنی عمدتاً حاصل فعالیت ریشه می‌باشد. به‌علاوه، برخی پژوهشگران عنوان نموده‌اند که DOC شاخصی از قابلیت دسترسی کربن برای ریزجانداران می‌باشد (۱۰). در مطالعه حاضر، DOC در

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک	واکنش خاک	هدایت الکتریکی	گنجایش تبادل کاتیونی	سیلت	رس	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	فسفر اولسن
		(دسی‌زیمنس بر متر)	(سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک)	(٪)		(گرم بر کیلوگرم)		
۱	۸/۰	۰/۳۶	۱۴/۲	۳۵	۳۷	۴۲۱	۳/۱	۲۴/۷
۲	۸/۰	۰/۳۸	۲۳/۷	۴۰	۴۸	۱۶۲	۵/۰	۱۵/۹
۳	۸/۰	۰/۴۶	۱۰/۳	۳۳	۲۵	۴۱۰	۴/۳	۱۷/۵
۴	۸/۰	۰/۴۲	۱۲/۴	۵۶	۲۹	۴۷۵	۴/۱	۱۹/۱
۵	۸/۰	۰/۴۶	۲۹/۴	۴۳	۵۲	۳۸۸	۵/۴	۱۸/۱
۶	۷/۹	۰/۵۹	۳۳/۳	۳۰	۵۵	۲۶۷	۸/۴	۲۲/۴
۷	۸/۱	۰/۳۶	۱۶/۳	۴۴	۳۷	۳۲۵	۵/۱	۴۰/۱
۸	۸/۱	۰/۵۹	۲۵/۹	۳۹	۴۹	۲۶۶	۱۳/۹	۳۲/۰
۹	۸/۰	۰/۶۱	۱۸/۹	۴۷	۳۷	۲۱۰	۱۰/۴	۷۱/۹
۱۰	۸/۰	۰/۲۶	۱۰/۳	۲۵	۱۳	۱۹۰	۷/۰	۱۶/۸

جدول ۲. اثر ریزوسفر گندم بر کربن و فسفر زیست‌توده میکروبی، کربن آلی محلول و کسر متابولیک

خاک	qCO_2		DOC		MBC		MBP	
	μgCO_2-C (mg MBC day)$^{-1}$		(mg/kg)		(mg/kg)			
	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر
۱	۲۸۶	۲۳۶	۱۶۰	۱۸۵	۶۲	۸۱	۲/۶	۵/۴
۲	۳۰۹	۲۸۵	۱۵۴	۱۷۲	۵۸	۸۳	۸/۲	۹/۵
۳	۴۱۶	۲۹۴	۵۵	۷۰	۶۰	۸۷	۶/۷	۱۰/۳
۴	۳۴۴	۲۱۲	۱۹۰	۲۰۶	۵۲	۱۱۳	۶/۸	۷/۵
۵	۱۹۱	۱۸۲	۱۷۹	۳۸۲	۱۲۸	۱۸۰	۷/۷	۱۱/۷
۶	۱۹۲	۱۷۷	۵۳	۸۰	۱۵۴	۱۷۹	۷/۵	۹/۹
۷	۳۳۴	۲۵۷	۱۰۹	۱۸۶	۹۰	۱۱۳	۱۰/۱	۱۱/۸
۸	۲۱۸	۲۲۵	۵۰	۴۸	۱۵۸	۱۶۲	۲۱/۰	۱۶/۲
۹	۱۸۷	۱۸۶	۶۰	۶۸	۲۶۲	۲۶۴	۳۱/۸	۳۳/۲
۱۰	۱۸۳	۹۱	۱۴	۱۸	۱۴۱	۳۰۴	۷/۹	۹/۰
میانگین	۲۶۶^{A}	۲۱۴^{B}	۱۰۲^{B}	۱۴۱^{A}	۱۱۷^{B}	۱۵۷^{A}	۱۱/۰^{B}	۱۲/۴^{A}
LSD محیط		۱۷		۱۴/۲۲		۷/۴۵		۰/۵۳

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین خاک‌های ریزوسفر و توده در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد. هر کدام از داده‌های ارائه شده در جدول، میانگین سه تکرار هستند.

خاک‌های ریزوسفر گندم در مقایسه با توده خاک افزایش یافت. هم‌چنین، نتایج نشان داد که کسر متابولیک (qCO_2)، در خاک‌های ریزوسفر کمتر از خاک‌های توده بود. نسبت دی‌اکسید کربن متصاعد شده به زیست‌توده میکروبی، qCO_2، شاخصی از کارایی استفاده از سوبسترا توسط ریزجانداران می‌باشد (۷). با افزایش qCO_2، قسمت اعظم سوبسترا معدنی و از طریق فعالیت و تنفس ریزجانداران خارج می‌شود. به عبارت دیگر، هر چه qCO_2 بزرگ‌تر باشد بدین معناست که سهم اختصاص یافته منبع انرژی به آنابولیسم (ساخت) ریزجانداران از کاتابولیسم (سوخت) کمتر می‌باشد. هم‌چنین، هر چه qCO_2 بزرگ‌تر باشد، احتمالاً سرعت تجزیه میکرو فلور بزرگ‌تر و به دنبال آن متوسط سن میکروفلور کوچک‌تر خواهد بود (۳۵). بنابراین، نتایج نشان داد که فرآیندهای متابولیسم میکروبی خاک ممکن است کارایی متابولیک منابع انرژی، از جمله DOC را بعد از کاشت گندم تغییر دهد. دو فرضیه برای توجیه تفاوت در مقدار کسر متابولیک در خاک‌های ریزوسفر و توده پیشنهاد می‌شود: فرضیه اول، میزان کسر متابولیک کمتر نشان‌دهنده سطح پایین‌تر تنش در جامعه میکروبی در خاک‌های ریزوسفری است؛ و فرضیه دوم، کسر متابولیک کمتر نشان‌دهنده تغییر در جامعه میکروبی و افزایش جمعیت قارچ‌ها می‌باشد (۲).

تأثیر مثبت ریزوسفر بر ویژگی‌های بیولوژیک خاک توسط محققین گزارش شده است (۱۵، ۱۶، ۲۲، ۳۴ و ۵۵). مارشنر و همکاران (۳۴) گزارش کردند که ریزوسفر گندم منجر به افزایش معنی‌دار MBP در خاک‌های با دامنه نسبتاً وسیعی از پ- هاش (۴/۴ تا ۸/۷) گردید. چنگ و همکاران (۱۵) گزارش کردند که غلظت کربن محلول در آب در خاک‌های ریزوسفری ذرت نسبت به خاک‌های توده بیشتر بود. هم‌چنین، افزایش MBC تشخیص داده شده در خاک‌های ریزوسفری این تحقیق در توافق با نتایج گزارش شده توسط محققین دیگر در خاک‌های ریزوسفری ذرت (۲۲) و چاودار (۱۶) بود. علاوه بر این، زو و همکاران (۵۵) مقدار MBC و کربن آلی محلول بیشتری در خاک‌های ریزوسفر سه درخت بومی چین نسبت به خاک‌های توده مشاهده کردند. به‌طورکلی، در مطالعه حاضر مقادیر pH در خاک‌های ریزوسفری متفاوت از خاک‌های توده نبود (داده‌ها نشان داده نشده است). هم‌چنین، بررسی نتایج نشان داد که خصوصیات بیولوژیک مورد مطالعه (MBC، MBP و DOC) در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های توده متفاوت بود و ریزوسفر گندم سبب افزایش DOC، MBC، MBP در خاک‌های مطالعه شده گردید. لیکن، در واقع فسفر زیست‌توده میکروبی می‌تواند از طریق رقابت با گیاهان برای جذب فسفر مخزن مهمی برای فسفر محلول خاک و یا از طریق تأمین بخشی از فسفر مورد نیاز گیاه منبع مهمی از فسفر باشد. علاوه بر این، تولیدات حاصل از تخریب میکروبی و ترشحات آلی گیاه از قبیل DOC می‌توانند منجر به واجذبی فسفر جذب سطحی شده، گشته و هم‌چنین می‌توانند حلالیت فسفر غیرقابل دسترس گیاه را افزایش داده و از این طریق منجر به افزایش فسفر قابل استفاده گردند. بنابراین، همان‌طور که خصوصیات بیولوژیک تحت تأثیر ریزوسفر قرار گرفته، احتمالاً خصوصیات شیمیایی خاک نیز تحت‌تأثیر محیط ریزوسفر قرار می‌گیرند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع خاک، نوع محیط (ریزوسفر و یا توده) و اثر متقابل نوع خاک و محیط بر فسفر استخراجی با روش‌های اولسن، کلرید کلسیم رقیق و بری II معنی‌دار بود. هم‌چنین، فسفر استخراجی به روش مهلیچ I به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع خاک قرار گرفت. مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، فسفر استخراج شده با روش‌های شیمیایی ذکر شده عمدتاً در خاک‌های ریزوسفری نسبت به توده خاک کاهش یافته است. هم‌چنین، مقدار فسفر استخراج شده در هر روش در خاک‌های مختلف متفاوت بود. این نتیجه نشان‌دهنده تفاوت خاک‌ها در آزاد کردن فسفر به محلول‌های عصاره‌گیر می‌باشد. هم‌چنین، مقدار فسفر استخراج شده توسط روش‌های مختلف در یک خاک نیز متفاوت بود. این امر نشان‌دهنده به‌کارگیری مکانیسم‌های مختلف توسط این عصاره‌گیرها می‌باشد. دامنه

جدول ۳. اثر ریزوسفر گندم بر مقدار فسفر استخراجی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط روش‌های مختلف عصاره‌گیری

خاک	بری II			مهلیچ I			کلرید کلسیم رقیق			اولسن		
	ریزوسفر	توده	درصد تغییر	ریزوسفر	توده	درصد تغییر	ریزوسفر	توده	درصد تغییر	ریزوسفر	توده	درصد تغییر
۱	۲۷/۳	۳۸/۲	−۲۹	۱/۹	۲/۲	−۱۲	۰/۵۴	۰/۷۰	−۲۳	۸/۹	۱۱/۲	−۲۰
۲	۲۷/۸	۲۸/۹	−۴	۱/۲	۱/۶	−۲۸	۰/۶۹	۰/۷۲	−۵	۹/۶	۱۱/۵	−۱۷
۳	۰/۹	۱/۱	−۱۸	۲/۸	۳/۵	−۱۹	۰/۶۰	۰/۷۵	−۲۱	۱۰/۱	۱۲/۶	−۲۰
۴	۰/۳	۰/۶	−۴۹	۱/۰	۱/۲	−۱۲	۰/۵۵	۰/۷۲	−۲۳	۱۱/۵	۱۳/۰	−۱۱
۵	۳۱/۳	۳۹/۷	−۲۱	۱/۱	۱/۲	−۶	۰/۵۹	۰/۶۴	−۹	۱۱/۳	۱۴/۸	−۲۳
۶	۹۳/۵	۹۷/۳	−۴	۱/۶	۲/۳	−۳۱	۰/۵۸	۰/۶۵	−۱۱	۹/۰	۱۲/۹	−۳۰
۷	۱۲۷/۵	۱۴۴/۲	−۱۲	۱۷/۵	۱۷/۹	−۲	۰/۷۰	۱/۷۱	−۵۹	۱۹/۲	۲۱/۸	−۱۲
۸	۰/۳	۱/۷	−۸۲	۱/۶	۱/۲	−۲۴	۰/۵۹	۰/۶۹	−۱۴	۲۵/۳	۲۸/۸	−۱۲
۹	۱۰۲/۸	۱۲۶/۱	−۱۹	۷/۶	۹/۱	−۱۶	۲/۴۲	۳/۷۸	−۳۶	۴۸/۹	۵۴/۴	−۱۰
۱۰	۰/۶	۰/۶	−۱۱	۱/۱	۱/۰	+۱۲	۰/۵۵	۰/۵۷	−۵	۱۰/۶	۱۲/۱	−۱۲
میانگین	۴۱/۲b	۴۷/۸a	−۲۵	۳/۸a	۴/۱a	−۱۶	۰/۸b	۱/۱a	−۲۱	۱۶/۴b	۱۹/۳a	−۱۷
LSD محیط	۲/۲۱			۰/۳۹			۰/۱۰			۰/۴۲		

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین خاک‌های ریزوسفر و توده در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد. هر کدام از داده‌های ارائه شده در جدول، میانگین سه تکرار می‌باشند.

مقادیر فسفر استخراجی با روش اولسن از خاک‌های ریزوسفری مطالعه شده از ۸/۹ تا ۴۸/۹ و از خاک‌های توده ۱۱/۲ تا ۵۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین مقدار فسفر توسط این عصاره‌گیر از خاک ۹ و کمترین آن از خاک ۱ استخراج شد. بررسی نتایج نشان داد که مقدار فسفر قابل استفاده اولیه خاک ۹ نسبت به سایر خاک‌های مطالعه شده بیشتر و هم‌چنین این خاک از درصد سیلت بالایی (۴۵٪) نیز برخوردار بود. در واقع ممکن است در خاک ۹ کربنات کلسیم در اندازه سیلت وجود داشته و یا در بخش سیلت این خاک کانی‌هایی وجود داشته باشند که توانسته‌اند فسفر را به‌صورت جذب سطحی نگه داشته و این فسفر طی عصاره‌گیری آزاد شده است. دامنه کاهش فسفر استخراجی با روش اولسن از ۱۰ تا ۳۰ درصد بود. دامنه تغییر مقدار فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیر کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار از خاک‌های ریزوسفری و توده به‌ترتیب از ۰/۵ تا ۲/۴ و از ۰/۶ تا ۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. کاهش فسفر استخراجی با کلرید کلسیم رقیق از ۵ تا ۵۹ درصد متغیر بود. هم‌چنین، دامنه مقادیر فسفر استخراجی با عصاره‌گیر مهلیچ I از خاک‌های ریزوسفری و توده مطالعه شده به‌ترتیب از ۱/۱ تا ۱۷/۵ و از ۱/۰ تا ۱۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. دامنه تغییر فسفر استخراجی با روش مهلیچ I از ۶ تا ۳۱ درصد بود. دامنه مقدار فسفر استخراجی با روش بری II از خاک‌های ریزوسفری و توده به‌ترتیب از ۰/۳ تا ۱۲۸ و از ۰/۶ تا ۱۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. دامنه کاهش فسفر استخراجی با روش بری II از ۴ تا ۸۲ درصد متغیر بود. متوسط مقدار فسفر استخراجی با عصاره‌گیرهای مختلف به‌ترتیب، بری II > >اولسن> >مهلیچ I> کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار کاهش یافت (جدول ۳).

مقدار فسفر استخراج شده توسط روش‌های مختلف عصاره‌گیری در یک خاک متفاوت بود. به‌طورکلی، در عصاره‌گیری فسفر از خاک از روش‌های حل شدن در اسید، تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های در ارتباط با فسفر، رسوب و هیدرولیز کاتیون‌های در ارتباط با فسفر استفاده می‌شود (۱۸). روش‌های عصاره‌گیری مورد استفاده در این مطالعه را براساس

روش استخراج فسفر می‌توان در چهار گروه قرار داد. گروه اول شامل روش عصاره‌گیری اولسن است. گروه دوم شامل روش‌های عصاره‌گیری بری II می‌باشد. گروه سوم شامل روش مهلیچ I است و گروه چهارم عصاره‌گیر کلرید کلسیم رقیق را در بر می‌گیرد. استخراج فسفر در گروه اول براساس تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های در ارتباط با فسفر و هیدرولیز این کاتیون‌ها می‌باشد. عصاره‌گیرهای موجود در گروه دوم براساس تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های در ارتباط با فسفر و هم‌چنین حل شدن در اسید، فسفر را استخراج می‌کنند. استخراج فسفر در گروه سوم براساس حل شدن در اسید می‌باشد و فسفر عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم رقیق (گروه چهارم)، فسفر محلول می‌باشد. مقدار فسفر استخراجی با روش‌های عصاره‌گیری مختلف در خاک‌های ریزوسفر کمتر از خاک‌های توده بود. متوسط درصد کاهش فسفر استخراجی با عصاره‌گیرهای مختلف در ریزوسفر به‌ترتیب، بری II > کلرید کلسیم رقیق> اولسن> مهلیچ I کاهش یافت. تخلیه ریزوسفر از فسفر قابل استفاده به‌دلیل جذب این عنصر توسط ریشه و ریزجانداران می‌باشد. تخلیه فسفر قابل استخراج با رزین (۳۴) و فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم (۳۹، ۵۱ و ۵۶) در سطح ریشه گندم نسبت به نواحی دورتر از ریشه گزارش شده است. نوروزمان و همکاران (۳۹) به بررسی تخلیه فسفر قابل استفاده (فسفر معدنی محلول در بی‌کربنات سدیم و فسفر محلول در آب) در خاک‌ها با فاصله ۱ تا ۶ میلی‌متری از سطح ریشه سه نوع گیاه لگوم و یک نوع گندم پرداختند. بررسی نتایج نشان داد که حداقل فسفر قابل استفاده در فاصله چند میلی‌متر از سطح ریشه، صرف‌نظر از گونه گیاهی مشاهده شد. هم‌چنین، این محققین بین گونه‌های لگوم و غیر لگوم در تخلیه جزءهای مختلف فسفر، علی‌رغم جذب کل فسفر متفاوت این گیاهان، اختلافی مشاهده نکردند. رز و همکاران (۴۴) گزارش کردند که فسفر محلول در آب در ریزوسفر گندم، کلزا، خلر و باقلا نسبت به توده خاک کاهش یافت. نیسواتی و همکاران (۳۸) گزارش کردند که فسفر قابل استخراج با روش بری I تحت تأثیر سن و فاصله از سطح ریشه ذرت بود. هم‌چنین، این محققین گزارش کردند که فسفر قابل استفاده در خاک ریزوسفری ذرت نسبت به توده بیشتر بود.

نتایج مطالعه همبستگی بین فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری فسفر، MBP و MBC برای خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۴ آورده شده است. نتایج مطالعه همبستگی نشان داد که MBP، همبستگی معنی‌داری با فسفر استخراجی به روش اولسن در خاک‌های ریزوسفری و توده و با فسفر استخراجی به روش کلرید کلسیم رقیق و مهلیچ I در خاک‌های ریزوسفری داشت. این همبستگی احتمالاً این امکان را فراهم می‌کند که با اندازه‌گیری فسفر قابل استفاده، MBP را در خاک‌ها تخمین زد. مکلون و همکاران (۳۲) و آچات و همکاران (۴) گزارش کردند که بخشی از فسفر موجود در بدن ریزجانداران، منبعی از فسفر قابل دسترس برای گیاهان می‌باشد. هم‌چنین، آچات و همکاران (۵) گزارش کردند که ۸۰ تا ۹۰ درصد از فسفر قابل تبادل در یک خاک جنگلی با ظرفیت جذب فسفر کم شامل فسفر مجدداً معدنی شده، است. نتایج نشان داد که فسفر استخراجی به روش اولسن با فسفر استخراجی با روش کلرید کلسیم رقیق در خاک‌های ریزوسفری و توده همبستگی معنی‌داری داشت. علاوه بر این، روش کلرید کلسیم رقیق با فسفر استخراجی با روش مهلیچ I در خاک‌های ریزوسفری و توده و با فسفر استخراجی به روش بری II در خاک‌های ریزوسفری همبستگی معنی‌داری داشت. روش مهلیچ I نیز همبستگی معنی‌داری با روش بری II در خاک‌های ریزوسفری و توده داشت (جدول ۴). هالفورد (۲۳) به بررسی همبستگی بین چهار روش آزمون خاک فسفر (اولسن، کالول، بری I و بری II) پرداخت. وی گزارش کرد که همبستگی بالا بین دو آزمون خاک تنها زمانی قابل انتظار است که آزمون‌ها از درجه حساسیت مشابهی به ظرفیت بافری برخوردار باشند. به عبارت دیگر، احتمال وجود همبستگی بین مقادیر فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرها که از مکانیسم‌های مختلف استخراج برخوردار هستند، در دامنه وسیعی از خاک‌ها ضعیف است.

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین چهار روش عصاره‌گیری فسفر، MBP و MBC در خاک‌های مورد آزمایش (n= ۳۰)

		۲	۳	۴	۵	۶
۱- اولسن	ریزوسفر	۰/۴۲*	۰/۲۰	۰/۰۴	۰/۶۶**	۰/۴۸**
	توده	۰/۴۸**	۰/۴۲*	۰/۳۵	۰/۶۸**	۰/۵۶**
۲- کلرید کلسیم رقیق	ریزوسفر		۰/۴۹**	۰/۵۳**	۰/۵۴**	-۰/۰۳
	توده		۰/۵۹**	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۰۲
۳- مهلیچ I	ریزوسفر			۰/۶۱**	۰/۴۸**	-۰/۲۱
	توده			۰/۶۵**	۰/۳۲	۰/۱۹
۴- بری II	ریزوسفر				۰/۳۶	۰/۰۸
	توده				۰/۳۶	۰/۳۹*
۵- فسفر زیست‌توده میکروبی	ریزوسفر					۰/۴۳*
	توده					۰/۵۹**
۶- کربن زیست‌توده میکروبی	ریزوسفر					
	توده					

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان ۱٪ و ۵٪

نتایج عملکرد، غلظت فسفر و فسفر جذب شده توسط بخش هوایی گندم در ده خاک مورد مطالعه در جدول ۵ آورده شده است. کمترین و بیشترین جذب فسفر توسط گندم به‌ترتیب در خاک ۱۰ (۰/۲ میلی‌گرم در ریزوباکس) و خاک ۹ (۲۹/۷ میلی‌گرم در ریزوباکس) بود. هم‌چنین، کمترین عملکرد خشک و غلظت فسفر در بخش هوایی گندم در خاک ۱۰ مشاهده شد و بیشترین عملکرد خشک و غلظت فسفر در بخش هوایی گندم مربوط به خاک ۹ بود. بررسی نتایج نشان داد که مقدار فسفر قابل استفاده اولیه خاک ۹ نسبت به خاک ۱۰ تقریباً چهار برابر و هم‌چنین درصد سیلت خاک ۹ تقریباً دو برابر خاک ۱۰ بود. بنابراین، ممکن است در خاک ۹ کربنات کلسیم در اندازه سیلت وجود داشته و یا در بخش سیلت این خاک کانی‌هایی وجود داشته که توانسته‌اند فسفر را به‌صورت جذب سطحی نگه داشته و این فسفر طی فصل رشد گیاه آزاد شده است. نتایج نشان داد که تمامی شاخص‌های کمی و کیفی مورد مطالعه گیاه گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع خاک قرار گرفته است (جدول ۵). ضرایب همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری فسفر و با MBC و MBP در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۶ آورده شده است. غلظت فسفر در گندم با فسفر استخراجی به روش‌های کلرید کلسیم رقیق، مهلیچ I و بری II در خاک‌های ریزوسفر و توده، و با MBP در خاک ریزوسفری همبستگی معنی‌داری داشت. هم‌چنین، همبستگی معنی‌داری بین عملکرد خشک اندام هوایی و فسفر جذب شده در گندم با فسفر استخراجی به روش‌های اولسن، کلرید کلسیم، مهلیچ I، بری II و MBP در خاک‌های ریزوسفر و توده و با MBC در خاک‌های توده وجود داشت. نتایج همبستگی نشان داد که همبستگی عملکرد خشک و جذب فسفر در گندم با MBP و فسفر استخراجی با کلرید کلسیم رقیق در خاک‌های ریزوسفر قوی‌تر از خاک‌های توده بود. بنابراین، اثر متقابل خاک- ریشه در محیط ریزوسفر، شرایط بیولوژیک و شیمیایی متفاوتی را نسبت به خاک‌های توده ایجاد می‌کند که به دنبال آن قابلیت دسترسی فسفر برای گیاه متفاوت و همبستگی شاخص‌های گیاه با ویژگی‌های ریزوسفری متفاوت از غیر ریزوسفر خواهد بود. با

جدول ۵. اثر نوع خاک بر شاخص‌های گیاه گندم

خاک	غلظت فسفر ساقه (mg/kg)	عملکرد ساقه (g/rhizobox)	جذب ساقه (mg/rhizobox)	عملکرد ریشه (g/rhizobox)
۱	۲۶۵۰	۰/۷	۲/۰	۱/۳
۲	۲۶۵۵	۱/۰	۲/۷	۱/۷
۳	۲۰۰۰	۱/۵	۳/۱	۲/۲
۴	۱۷۷۱	۲/۷	۴/۷	۲/۹
۵	۲۲۶۱	۳/۶	۸/۳	۴/۲
۶	۲۷۰۰	۳/۱	۸/۱	۲/۸
۷	۲۷۶۱	۵/۳	۱۴/۵	۱۲/۰
۸	۲۳۱۹	۵/۸	۱۳/۵	۶/۳
۹	۵۲۰۶	۵/۸	۲۹/۷	۵/۲
۱۰	۵۰۰	۰/۴	۰/۲	۰/۵
LSD	۵۱۳	۱/۲۰	۳/۱۵	۰/۸۶
F	۴۳**	۲۶/۷**	۸۳/۶**	۶۳/۵**

**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۱٪

جدول ۶. ضرایب همبستگی شاخص‌های گیاه گندم با MBP و MBC (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و فسفر استخراجی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) توسط روش‌های مختلف عصاره‌گیری، در خاک‌های ریزوسفری و توده (n= ۳۰)

		غلظت فسفر ساقه	عملکرد ساقه	جذب ساقه
روش‌های مختلف عصاره‌گیری				
اولسن	ریزوسفر	۰/۰۶	۰/۷۳**	۰/۷۱**
	توده	۰/۲۰	۰/۸۴**	۰/۸۴**
کلرید کلسیم	ریزوسفر	۰/۵۵**	۰/۵۰**	۰/۵۸**
	توده	۰/۳۶*	۰/۴۲*	۰/۴۷**
مهلیچ I	ریزوسفر	۰/۶۱**	۰/۴۹**	۰/۵۳**
	توده	۰/۵۷**	۰/۴۸**	۰/۵۵**
بری II	ریزوسفر	۰/۶۹**	۰/۳۶*	۰/۴۴*
	توده	۰/۸۴**	۰/۵۳**	۰/۶۱**
خصوصیات بیولوژیک				
فسفر زیست‌توده میکروبی	ریزوسفر	۰/۳۷*	۰/۷۴**	۰/۷۸**
	توده	۰/۳۵	۰/۶۳**	۰/۶۷**
کربن زیست‌توده میکروبی	ریزوسفر	-۰/۰۹	۰/۲۸	۰/۳۱
	توده	۰/۳۰	۰/۴۸**	۰/۵۲**

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان ۱٪ و ۵٪

توجه به نتایج همبستگی می‌توان گفت که احتمالاً جمعیت میکروبی در خاک‌های مورد مطالعه سرعت تجزیه بالایی داشته و تأمین‌کننده بخشی از فسفر مورد نیاز گیاه بوده‌اند. بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که مقادیر همبستگی فسفر استخراجی توسط چهار روش عصاره‌گیری مورد استفاده در این تحقیق، MBC و MBP با فسفر جذب شده توسط گندم در خاک‌های ریزوسفری مطالعه شده به‌ترتیب MBP >روش اولسن > روش کلرید کلسیم رقیق > روش مهلیچ I > روش بری II >MBC کاهش یافت. بنابراین، با توجه به همبستگی معنی‌دار فسفر استخراجی به روش‌های عصاره‌گیری اولسن، کلرید کلسیم رقیق، مهلیچ I و بری II با شاخص‌های گیاه گندم (عملکرد و جذب فسفر)، به نظر می‌رسد این روش‌های عصاره‌گیری می‌توانند برآوردی مناسب از فسفر قابل استفاده گندم در خاک‌های ریزوسفری و توده داشته باشند. هم‌چنین، فسفر زیست‌توده میکروبی نیز می‌تواند در برآورد فسفر قابل استفاده گندم در خاک‌های مطالعه شده مفید باشد.

در تحقیقات گذشته نیز همبستگی قوی بین شاخص‌های گیاهی و MBP گزارش شده است (۸، ۱۴، ۳۳، ۳۴، ۴۵ و ۴۷). نتایج ساینی و همکاران (۴۵) حاکی از وجود همبستگی مثبت بین MBP و جذب فسفر توسط سورگوم و خلر بود. رابطه مثبت و معنی‌داری نیز بین عملکرد ذرت و MBP در خاک‌هایی از جنوب کنیا گزارش شده است (۸). بررسی نتایج این محققین نشان داد که فسفر قابل استفاده در خاک‌های ذکر شده کمتر از ۷/۵ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم بود. لیکن در خاک‌های با دامنه فسفر قابل استفاده ۳۰/۲ تا ۶۲/۰ نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین MBP و جذب فسفر لوبیا گزارش شده است (۴۷). هم‌چنین، چن و همکاران (۱۴) همبستگی معنی‌داری بین عملکرد، غلظت فسفر و جذب فسفر چاودار با MBP یافتند. مارشنر و همکاران (۳۴) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین جذب فسفر گندم و MBP در خاک‌های با دامنه فسفر قابل استفاده ۷ تا ۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. هم‌چنین، مارشنر و همکاران (۳۳) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین فسفر جذب شده توسط ژنوتیپ‌هایی از خانواده گرامینه با MBP یافتند. نتایج این محققین نشان داد که همبستگی ذکر شده در سطوح پایین فسفر ضعیف (r=۰/۳۴) و در سطوح بالای فسفر قوی (r=۰/۶۸) بود. در تحقیق حاضر نیز علی‌رغم این امر که مقادیر فسفر در همه خاک‌های مطالعه شده بیشتر از حد بحرانی گزارش شده برای فسفر بود، همبستگی معنی‌داری بین MBP با عملکرد و جذب فسفر در گندم مشاهده شد و احتمالاً در خاک‌های مطالعه شده MBP منبع مهمی از فسفر قابل استفاده برای گندم می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که DOC، MBC و MBP در خاک‌های ریزوسفر نسبت به خاک‌های توده افزایش یافتند. هم‌چنین، مقدار فسفر عصاره‌گیری شده به روش‌های شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری کمتر از خاک‌های توده بود. متوسط درصد فسفر استخراجی با عصاره‌گیرهای مختلف در ریزوسفر به‌ترتیب بری II> کلرید کلسیم رقیق> اولسن> مهلیچ I کاهش یافت. با توجه به نتایج همبستگی، به نظر می‌رسد که روش‌های عصاره‌گیری اولسن، کلرید کلسیم رقیق، مهلیچ I و بری II می‌توانند برآوردی مناسب از فسفر قابل استفاده گندم در خاک‌های مورد مطالعه داشته باشند. هم‌چنین، فسفر زیست‌توده میکروبی نیز می‌تواند در برآورد فسفر قابل استفاده گندم در خاک‌های مورد مطالعه مفید باشد.

منابع مورد استفاده

۱. زارع‌نیا، م. ۱۳۹۰. ارزیابی عصاره‌گیرهای شیمیایی مختلف برای تعیین پتاسیم قابل استفاده لوبیاچیتی در برخی از خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲. شکل‌آبادی، م.، ح. خادمی، م. کریمیان اقبال و ف. نوربخش. ۱۳۸۶. تأثیر اقلیم و قرق درازمدت بر برخی از شاخص‌های بیولوژیکی کیفیت خاک در بخشی از مراتع زاگرس مرکزی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱(۳۳): ۱۰۳-۱۱۵.

۳. ملکوتی، م. ج. و م. همایی. ۱۳۸۳. حاصل‌خیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک: مشکلات و راه‌حل‌ها. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

4. Achat, D.L., Ch. Morel, M.R. Bakker, L. Augusto, S. Pellerin, A. Gallet-Budynek and M. Gonzalez. 2010. Assessing turnover of microbial biomass phosphorus: Combination of an isotopic dilution method with a mass balance model. Soil Biol. Biochem. 42: 2231-2240.
5. Achat, D.L., M.R. Bakker and Ch. Morel. 2009. Process-based assessment of phosphorus availability in a low phosphorus sobbing forest soil using isotopic dilution methods. Soil Sci. Soc. Am. J. 73: 2131-2142.
6. Anderson, G. 1980. Assessing organic phosphorus in soils. PP. 411-432. *In:* Khasawneh, F.E., E.C. Sample and E.J. Kamprath (Eds.), The Role of Phosphatase in Agriculture, American Society of Agronomy, Madison, WI.
7. Anderson, T.H. and K.H. Domsch. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. Soil Biol. Biochem. 22: 251-255.
8. Ayaga, G., A. Todd and P.C. Brookes. 2006. Enhanced biological cycling of phosphorus increases its availability to crops in low-input sub-Saharan farming systems. Soil Biol. Biochem. 38: 81-90.
9. Bhattacharyya, P., S.C. Datta and P. Dureja. 2003. Interrelationship of pH, organic acids and phosphorus concentration in soil solution of rhizosphere and non-rhizosphere of wheat and rice crops. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 34: 231-245.
10. Boyer, J.N. and P.M. Groffmann. 1996. Bioavailability of water-extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles. Soil Biol. Biochem. 28: 783-790.
11. Brookes, P.C., D.S. Powlson and D.S. Jenkinson. 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. Soil Biol. Biochem. 14: 319-329.
12. Brookes, P.C., D.S. Powlson and D.S. Jenkinson. 1984. Phosphorus in the soil microbial biomass. Soil Biol. Biochem. l6: 169-175.
13. Chen, C.R., L.M. Condron, M.R. Davis and R.R. Sherlock. 2002. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don.). Soil Biol. Biochem. 34: 487-499.
14. Chen, G.C., Z.L. He and C.Y. Huang. 2000. Microbial biomass phosphorus and its significance in predicting phosphorus availability in red soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 31: 655-667.
15. Cheng, W., Q. Zhang and D.C. Coleman. 1996. Is available carbon limiting microbial respiration in the rhizosphere?. Soil Biol. Biochem. 28: 1283-1288.
16. De Neergaard, A. and J. Magid. 2001. Influence of the rhizosphere on microbial biomass and recently formed organic matter. Eur. J. Soil Sci. 52: 377-384.
17. Dilly, O. and J.C. Munch. 1996. Microbial biomass content, basal respiration and enzyme activities during the course of decomposition of leaf litter in a black alder (*Aluns Glutinosa* (L). Gaertn.) forest. Soil Biol. Biochem. 28: 1073-1081.
18. Fixen, P.E. and J.H. Grove. 1990. Testing soils for phosphorus. PP. 141-180. *In:* Westerman, R.L. (Ed.), Soil Testing and Plant Analysis, 3rd ed., SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
19. Gee, G.H. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 383-409. *In:* Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical Properties, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
20. George, T.S., P.J. Gregory, M. Wood, D. Read and R.J. Buresh. 2002. Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize. Soil Biol. Biochem. 34: 1487-1494.
21. Helal, H.M. and D. Sauerbeck. 1989. Carbon turnover in the rhizosphere. *Z.* Pflunzenerniihr. Nndenk. 152: 211-216.
22. Helal, H.M. and D. Sauerbeck. 1984. Influence of plant roots on C and P metabolism in soil. Plant Soil 76: 175-182.
23. Holford, C.R. 1980. Greenhouse evaluation of four phosphorus soil tests in relation to phosphate buffering and labile phosphate in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 555-559.
24. Huang, W.Z. and J.J. Schoenau. 1998. Fluxes of water-soluble nitrogen and phosphorus in the forest floor and surface mineral soil of a Boreal Aspen stand. Geoderma 81: 251-264.
25. Insam, H., C.C. Mitchell and J.F. Dormaar. 1991. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three Ultisols. Soil Biol. Biochem. 23: 459-464.
26. Jenkinson, D.S. and D.S. Powlson. 1976. The effects of biological treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. Soil Biol. Biochem. 8: 167-177.
27. Kuo, S. 1996. Phosphorus. PP. 869-920. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
28. Kouno, K., J. Wu and P.C. Brooks. 2002. Turnover of biomass C and P in soil following incorporation of glucose or

ryegrass. Soil Biol. Biochem. 34: 617-622.
29. Li, Y.F., A.C. Luo, X.H. Wei and X.G. Yao. 2008. Changes in phosphorus fractions pH and phosphatase activity in rhizosphere of two rice genotypes. Pedosphere 18: 785-794.
30. Loeppert, R.H. and D.L. Sparks. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
31. Ma, B., Z.Y. Zhou, C.P. Zhang, G. Zhang and Y.J. Hu. 2000. Inorganic phosphorus fractions in the rhizosphere of xerophytic shrubs in the Alxa Desert. J. Arid Environ. 73: 55-61.
32. Macklon, A.E.S., S.J. Grayston, C.A. Shand, A. Sim, S. Sellars and B.G. Ord. 1997. Uptake and transport of phosphorus by Agrostis capillaris seedlings from rapidly hydrolyzed organic sources extracted from 32P-labelled bacterial cultures. Plant Soil 190: 163-167.
33. Marschner, P., Z. Solaiman and Z. Rengel. 2007. *Brassica* genotypes differ in growth, phosphorus uptake and rhizosphere properties under P-limiting conditions. Soil Biol. Biochem. 39: 87-98.
34. Marschner, P., Z.M. Solaiman and Z. Rengel. 2005. Growth phosphorus uptake and rhizosphere microbial community composition of a phosphorus-efficient wheat cultivar in soils differing in pH. J. Plant Nutr. Soil Sc. 168: 343-351.
35. Meyer, K., R.G. Joergensen and B. Meyer. 1996. The effects of reduced tillage on microbial biomass C sandy loess soils. Appl. Soil Ecol. 5: 71-79.
36. Murphy, J. and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta. 27: 31-36.
37. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. PP. 961-1011. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
38. Niswati A., S. Yusnaini and M.A.S. Arif. 2008. Phosphate solubilizing microorganism and available P on the rhizosphere of some ages and distances from the center of maize roots. J. Tanah Tropika. 13: 123-130.
39. Nuruzzaman, M., H. Lambers, M.D.A. Bolland and E.J. Veneklaas. 2006. Distribution of carboxylates and acid phosphatase and depletion of different phosphorus fractions in the rhizosphere of a cereal and three grain legumes. Plant Soil 281: 109-120.
40. Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. PP. 4013-430. *In:* Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1, Chemical and Biological Properties, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
41. Rajapaksha, R.M.C.P. and S. Ranasinghe. 2007. Arbuscular mycorrhizae associations in exotic vegetables grown on Ultisols of Nuwara Eliya. J. Soil Sci. Soc. Sri Lanka 19: 1-9.
42. Richardson, A.E. 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. Aust. J. Plant Physiol. 28: 897-906.
43. Rhoades, J.D. 1996. Salinity, electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-437. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
44. Rose, T.J., B. Hardiputra and Z. Rengel. 2010. Wheat, canola and grain legume access to soil phosphorus fractions differs in soils with contrasting phosphorus dynamics. Plant Soil 326: 159-170.
45. Saini, V.K., S.C. Bhandari and J.C. Tarafdar. 2004. Comparison of crop yield, soil microbial biomass C, N, and P, N-fixation, nodulation and mycorrhizal infection in inoculated and non-inoculated sorghum and chickpea crops. Field Crops Res. 89: 39-47.
46. Srivastava, S.C. and J.S. Singh. 1988. Carbon and phosphorus in the soil biomass of some tropical soils of India. Soil Biol. Biochem. 20: 743-747.
47. Sugito, T., K. Yoshida, M. Takebe, T. Shinano and K. Toyota. 2002. Soil microbial biomass phosphorus as an indicator of phosphorus availability in a Gleyic Andosol. J. Soil Sci. Plant Nutr. 56: 390-398.
48. Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP. 1201-1229. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
49. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-491. *In*: Sparks, D.L. (Ed), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
50. Uren, N.C. 2007. Types, amounts, and possible functions of compounds released into the rhizosphere by soil-grown plants. PP. 1-22. *In:* Pinton, R., Z. Varanini and P. Nannipieri (Eds.), The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface, CRC Press.
51. Wang, X., C. Tang, C.N. Guppy and P.W.G. Sale. 2008. Phosphorus acquisition characteristics of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) wheat (*Triticum aestivum* L.) and white lupin (*Lupinus albus* L.) under P deficient conditions. Plant Soil 312: 117-128.
52. Wang, Z.Y., J.M. Kelly and J.L. Kovar. 2004. In situ dynamics of phosphorus in the rhizosphere solution of five species. J. Environ. Qual. 33: 1387-1392.
53. Wang, J., Z. Luo and R.H. Loeppert. 1995. Nutrient status of rhizosphere and phosphorus response of radish. J. Plant Nutr. 18: 385-399.

54. Youssef, R.A. and M. Chino. 1988. Development of a new rhizobox system to study the nutrient status in the rhizosphere. Soil Sci. Plant Nutr. 34: 461-465.
55. Zhao, Q., D. Zeng and Z. Fan. 2010. Nitrogen and phosphorus transformations in the rhizosphere of three tree species in a nutrient-poor sandy soil. Appl. Soil Ecol. 46: 341-346.
56. Zhou, L.L., J. Cao, F.S. Zhang and L. Li. 2009. Rhizosphere acidification of faba bean, soybean and maize. Sci. Total Environ. 407: 4356-4362.
57. Zoysa, A.K.N., P. Loganathan and M.J. Hedley. 1999. Phosphorus utilisation efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis* L.) clones. Nutr. Cycl. Agroecosys. 53: 189-201.

The rhizospheric effects of wheat (*Triticum aestivum* L.) on phosphorus availability and some biological properties in calcareous soils from Shahrekord plain

T. Raiesi[1]* and A. R. Hosseinpur[1]

(Received: 3 Dec-2012 ; Accepted: 21 March-2013)

Abstract

The chemical conditions of the rhizosphere are known to considerably differ from those of the bulk soil, as a consequence of a range of processes that are induced either directly by the activity of plant roots or by the activity of rhizosphere microflora. Plant species have involved various adaptive strategies to acquire P from soil pools. Therefore, the objective of this research was to evaluate the rhizospheric effects of wheat (*Triticum aestivum* L.) on phosphorus availability and biological properties in 10 calcareous soils under rhizobox conditions. Thus, wheat plant was planted in rhizoboxes as a completely randomized design with three replications. After the harvest, rhizoboxes were dismantled, and dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass phosphorus (MBP) and metabolic quotient (qCO_2) were determined in the rhizosphere and bulk soils. Also, available phosphorus was measured by chemical extractants methods including Olsen, Mehlich I, Bray II and calcium chloride. The results showed that DOC, MBC and MBP were strongly increased and qCO_2 was strongly decreased in the most rhizosphere soils as compared with the bulk soils. Also, the amount of P extracted with different methods was lower in the rhizosphere soils as compared with the bulk soils. The correlation studies showed that dry yield and P uptake of wheat have positive relationship with extracted P by Olsen, $CaCl_2$, Mehlich I and Bray II methods and microbial biomass P in both the rhizosphere and bulk soils. The results of this research showed that Olsen, $CaCl_2$, Mehlich I and Bray II extractants could be used to estimate wheat-available P in the studied calcareous soils. Also, microbial biomass P could be used to estimate wheat-available P in the studied calcareous soils.

Keywords: Chemical extractants, DOC, qCO_2, MBC, MBP.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.
*: Corresponding Author, Email: taraiesi@gmail.com