نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۵ شماره ۴/۱ صفحه‌های ۶۹ تا ۸۲/ سال ۱۳۹۴

اثر کود سبز بر pH، کربن آلی محلول و فراهمی فسفر خاک با فاصله از ریشه ذرت و کلزا

یاسر عظیم‌زاده[۱*]، حسین شریعتمداری[۲] ، مهران شیروانی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۹

[۱] دانشجوی دکترای خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۲] به‌ترتیب استاد و استادیار خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yaser.azimzadeh@gmail.com

چکیده

بخش اندکی از فسفر خاک برای گیاه قابل‌استفاده هست. برای بررسی اثر کود سبز یونجه (۲٪ جرمی) و ریشه دو گیاه ذرت و کلزا در نظام کشت منفرد و مخلوط بر غلظت فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک، آزمایشی گلخانه‌ای با استفاده از رایزوباکس انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل با دو سطح کود سبز (صفر و ۲ ٪) و ۴ ناحیه با فاصله از ریشه (ناحیه ریزوسفر، نزدیک ریزوسفر، نزدیک توده خاک و توده خاک) و ۴ نوع کشت (ذرت، کلزا، کشت مخلوط و شاهد (بدون کشت)) در سه تکرار و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. بذرهای ذرت و کلزا در ناحیه مرکزی رایزوباکس‌ها کشت شد. ۸۵ روز پس از کاشت، گیاهان برداشت‌شده و خاک هر ناحیه جداگانه تجزیه شد. نتایج نشان داد که افزودن کود سبز به خاک به‌طور معنی‌داری pH را به‌میزان ۰/۱۹ واحد کاهش و کربن آلی محلول و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک را به‌ترتیب به‌میزان ۲۵ $mg\ L^{-1}$ و ۹/۴۷ $mg\ kg^{-1}$ افزایش داد. با فاصله از ریشه، pH و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک افزایش، ولی کربن آلی محلول خاک کاهش یافت. ناحیه توده خاک (فاصله بیش از ۱۶ میلی‌متری ریشه) چندان تحت تأثیر فعالیت ریشه قرار نگرفت. نتایج نشان داد که افزودن کود سبز به خاک باعث افزایش وزن خشک دو گیاه ذرت و کلزا و همچنین غلظت و مقدار جذب فسفر در کلزا شد درحالی‌که غلظت و جذب فسفر را در ذرت کاهش داد. وزن خشک شاخساره در کشت مخلوط بیشتر از کشت منفرد ذرت و کلزا بود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، رایزوباکس، کشت مخلوط، کلزا، کود سبز

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of Green Manure on pH, Dissolved Organic Carbon and Soil Phosphorous Availability with Distance from Roots of Corn and Canola

Y Azimzadeh[*1], H Shariatmadari[2], M Shirvani[2]

Received: 16 October 2014 Accepted: 18 Februray 2015
[1-]Ph.D. Student of Soil Science, Faculty of Agric., University of Tabriz, Iran
[2-]Respectively, Prof. and Assist Prof. of Soil Science, Faculty of Agric., Isfahan Univ. of Tech., Isfahan, Iran
[*] Corresponding Author, Email: yaser.azimzadeh@gmail.com

Abstract

Small portion of soil phosphorous (P) is usable by plants. To investigate the effects of alfalfa green manure (2% w/w) and roots of corn and canola in single and intercropping systems on available P concentration in soil, a greenhouse experiment was conducted using rhizobox system. The experiment was arranged as a split factorial design with 3 replications, two levels of green manure (0 and 2%), 4 zones with distance from root (rhizosphere, near rhizosphere, near bulk soil and bulk soil) and 4 culture systems (corn, canola, mixed culture and control (not cultivated)) based on completely randomized design. Canola and corn were cultivated at the middle part of rhizobox in mixed or separate forms. The plants were harvested 85 days after sowing and the soil samples were taken from different parts of the rhizobox. The results showed that the green manure reduced the soil pH more than 0.19 and enhanced the dissolved organic carbon concentration (DOC) and soil available P by 25 mg L^{-1} and 9.47 mg kg^{-1}, respectively. The soil pH and available-P were increased while the DOC was decreased from rhizosphere toward the bulk soil. The bulk soil (over 16 mm distance from root) was not apparently affected by the root activity. Also the results showed that the green manure addition increased the dry weight in corn and canola and also increased the P concentration and uptake in canola while it decreased the P concentration and uptake in corn. Dry weight of intercropping system was more than that of single culture of corn and canola.

Keywords: Canola, Corn, Green manure, Intercropping, Rhizobox

مقدمه

فسفر یکی از عناصر غذایی پرمصرف برای گیاهان به‌شمار می‌رود؛ ولی بخش کوچکی از فسفر خاک برای گیاه قابل‌استفاده هست. فسفر به‌علّت واکنش با قسمت‌های مختلف خاک و شرکت در واکنش‌های انحلال/رسوب و جذب/واجذب، نسبت به سایر عناصر پرمصرف، تحرّک بسیار کمتری در خاک دارد (هینسینگر ۲۰۰۱). مقدار فسفری که از طریق جریان توده‌ای در اختیار گیاه قرار می‌گیرد بسیار کم است. بنابراین، حرکت فسفر در خاک عمدتاً به‌صورت انتشار بوده و شیب غلظتی که در نتیجه جذب فسفر توسط

Archive of SID

www.SID.ir

گیاه به‌وجود می‌آید، عامل اصلی انتشار فسفر در خاک هست (باربر ۱۹۹۵). جذب فسفر توسط گیاه عمدتاً به‌صورت ارتوفسفات ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) بوده و معمولاً غلظت ارتوفسفات‌ها در خاک کم (حدود ۱ تا ۵ میکرومولار) هست. لذا، ناکافی بودن جذب فسفر توسط ریشه، محدودیت مهمی در رشد گیاهان به شمار می‌رود (بایس و همکاران ۲۰۰۶، ریچاردسون و همکاران ۲۰۰۹).

گونه‌بندی[1] و زیست‌فراهمی[2] فسفر در خاک به ویژگی‌های خاک، از جمله pH و مقدار کربن آلی محلول خاک[3] (DOC) بستگی دارد. فسفر در pHهای خنثی و قلیایی تمایل زیادی به پیوند با یون‌های کلسیم و منیزیم و در pHهای اسیدی تمایل به پیوند با آهن و آلومینیوم دارد. بنابراین، کانی غالب فسفر در خاک‌های با pH خنثی و قلیایی، فسفات‌های کلسیم است. کمترین حل‌پذیری فسفات‌های کلسیم در pH حدود ۸ بوده و با کاهش و یا افزایش pH از ۸، حل‌پذیری فسفات‌های کلسیم افزایش می‌یابد هر چند که در pH بالاتر از ۸ به‌دلیل تشکیل کربنات کلسیم بی‌شکل با سطح ویژه زیاد، فسفر جذب سطحی آن شده و برای گیاه قابل‌جذب نیست (لیندزی و همکاران ۱۹۸۹، هینسینگر ۲۰۰۱). pH و DOC خاک ازجمله ویژگی‌های پویای خاک می‌باشند که تحت تأثیر عوامل مختلف، به‌طور پیوسته در خاک در حال تغییر می‌باشند. از جمله عواملی که این دو ویژگی شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد افزودن انواع کودهای آلی از جمله کود سبز به خاک هست (ماندال و همکاران ۲۰۰۳، بنجاوان و همکاران ۲۰۰۷، زانگ و فانگ ۲۰۰۷، بلاچیو و آبیرا ۲۰۱۱). ژانگ و فانگ (۲۰۰۷) نشان دادند افزودن کود سبز علف چاوداری به خاک، باعث کاهش pH و افزایش DOC خاک شده و به‌همین دلیل فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک را افزایش داد.

فعالیت‌های ریشه گیاه شامل ترشح انواع ترکیبات آلی، جذب آب و عناصر غذایی، آزادسازی یون‌های H^+، HCO_3^- و یا OH^- و برقراری ارتباط زیستی با ریزجانداران، باعث تشکیل ناحیه ریشه‌سپهر یا ریزوسفر می‌شود که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن با توده خاک متفاوت است. بنابراین، تغییرات ویژگی‌های شیمیایی، از جمله pH و DOC در ریزوسفر، زیست‌فراهمی عناصر را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد (بایس و همکاران ۲۰۰۶، لی و همکاران ۲۰۰۸). به عقیده سگوین و همکاران (۲۰۰۴) علاوه بر اسیدهای آلی ترشح شده از ریشه، یکی دیگر از عواملی که می‌تواند تفاوت pH بین ریزوسفر و توده خاک را توضیح دهد تعادل کاتیون-آنیون هست. ریشه‌ها عناصر مورد نیاز خود را به‌صورت کاتیون و آنیون از محلول خاک جذب می‌کنند و برای حفظ تعادل الکتروشیمیایی در درون سلول‌های خود، به‌ازای جذب کاتیون و آنیون به‌ترتیب از خود یون H^+ و HCO_3^- و OH^- آزاد می‌کنند. بنابراین، اسیدی شدن ریزوسفر زمانی اتفاق می‌افتد که گیاه کاتیون بیشتری نسبت به آنیون جذب کند. علاوه بر آن، ریزوسفر معمولاً دارای انواع اسیدهای آلی ترشح‌شده از ریشه و ریزجانداران بوده و معمولاً دارای pH اسیدی‌تری نسبت به خاک غیرریزوسفری هست.

گیاه با ترشح انواع اسیدهای آلی مانند سیتریک، مالیک و اگزالیک و همچنین آنزیم فسفاتاز، زیست‌فراهمی فسفر را در خاک افزایش می‌دهد. آنزیم فسفاتاز برون‌سلولی، از ریشه گیاهان مختلف ترشح‌شده و فسفر آلی را به فسفر معدنی تبدیل می‌کند (معدنی شدن). اسیدهای آلی ترشح‌شده از ریشه، علاوه بر این‌که pH خاک را کاهش می‌دهند، با واجذب[4] ارتوفسفات‌ها از نواحی جذب سطحی شده، زیست‌فراهمی فسفر را به‌صورت مستقیم افزایش می‌دهند. همچنین با تشکیل کمپلکس با کاتیون‌ها و رس‌ها، از جذب سطحی فسفر جلوگیری کرده و باعث افزایش زیست‌فراهمی فسفر می‌شوند (بایس و همکاران ۲۰۰۶، ریچاردسون و همکاران ۲۰۰۹).

وقتی دو گیاه در کنار هم کشت می‌شوند

[1] Speciation
[2] Bioavailability
[3] Dissolved organic carbon
[4] Desorption

Archive of SID

www.SID.ir

ریشه‌های دو گیاه ریزوسفر مشترک تشکیل می‌دهند. ازآنجایی‌که معمولاً مقدار و ترکیب ترشحات ریشه، شدّت نیاز به عناصر غذایی و ساختار ریشه در گونه-های مختلف گیاهان متفاوت هست، ریزوسفر مشترک می‌تواند ویژگی‌های متفاوتی نسبت به ریزوسفر منفرد دو گیاه داشته باشد. در نتیجه ممکن است جذب عناصر توسط هر یک از دو گیاه نسبت به کشت منفرد افزایش و یا کاهش یابد (چن و همکاران ۲۰۰۹). بنابراین، در کشت مخلوط ممکن است اثرهای مثبت و یا منفی دو گیاه نسبت به‌هم مشاهده شود. به‌عنوان‌مثال، ترشحات ریشه یک گیاه می‌تواند برای ریشه گیاه دیگر ایجاد تداخلات شیمیایی کند و یا با تشدید فعالیت برخی از ریزجانداران، ایجاد پارازیتیسم نماید و حتی ممکن است ترشحات ریشه برخی گونه‌ها برای گیاه دیگر سمیّت ایجاد کند (دگرآزاری[5]). از طرف دیگر، ممکن است ترشحات ریشه یک گیاه اثرهای مثبتی هم برای گیاه دیگر داشته باشد. از جمله این اثرها، دفاع از گیاه دیگر در مقابل پاتوژن‌ها و آفات هست (بایس و همکاران ۲۰۰۶). لی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تغییرات شکل-های شیمیایی فسفر در ریزوسفر گندم دوروم و باقلا تحت نظام کشت منفرد و مخلوط گزارش کردند که تغییرات شکل‌های شیمیایی فسفر در ریزوسفر گندم و باقلا متفاوت بود؛ به‌طوری‌که مقدار فسفر قابل عصاره-گیری با بیکربنات سدیم و هیدروکسید سدیم در ریزوسفر گندم کاهش، ولی در کشت مخلوط افزایش یافت. آنان علّت این نتیجه را به کاهش بیشتر pH در ریزوسفر کشت مخلوط نسبت به ریزوسفر گندم مربوط دانستند و اظهار داشتند که تمام شکل‌های شیمیایی فسفر در ریزوسفر کشت مخلوط مقدار حد واسط ریزوسفر گندم و باقلا در کشت منفرد را دارا بود. اثرات مفید کشت مخلوط گیاهان مختلف بر کنترل علف‌های هرز، افزایش رشد و عملکرد و جذب عناصر غذایی در منابع مختلف گزارش‌شده است (مظاهری ۱۳۷۷، مظاهری و همکاران ۱۳۷۹، اسکندری و قنبری ۱۳۹۰، نجفی و همکاران ۱۳۹۲، هاگارد-نیلسن و جنسن ۲۰۰۱، لی و همکاران ۲۰۰۸).

هدف از این مطالعه بررسی تغییرات غلظت فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک و همچنین pH و کربن آلی محلول خاک به‌عنوان دو عامل مؤثر بر تغییرات فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک در فواصل مختلف از ریشه دو گیاه ذرت و کلزا در کشت منفرد و مخلوط بود.

مواد و روش‌ها

خاک موردمطالعه: یک نمونه مرکب خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری مزرعه‌ای واقع در جنوب غرب شهر اصفهان تهیه شد. برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک به‌شرح زیر اندازه‌گیری شد: نیتروژن کل به‌روش کلدال (برمنر و کنی ۱۹۶۶)، پتاسیم قابل‌جذب گیاه در خاک به‌روش استات آمونیوم (رودز ۱۹۸۲) و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک به‌روش اولسن (کیو ۱۹۹۶)، pH خاک با دستگاه pHمتر در سوسپانسیون ۱ به ۲/۵ خاک و آب مقطر، ماده آلی خاک به‌روش اکسایش تر والکلی-بلک (نلسون و سامرز ۱۹۸۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به‌روش استات آمونیوم در pH=۷ (چاپمن ۱۹۶۵)، بافت خاک به‌روش پیپت (جی و باودر ۱۹۸۶) و کربن آلی محلول خاک در سوسپانسیون ۱ به ۴ خاک و آب مقطر و با استفاده از دستگاه کربن آنالایزر مدل Skalar Primacs و درصد کربنات کلسیم معادل خاک به‌روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتر کردن با سود (آلیسون و مودی ۱۹۶۵) اندازه‌گیری شد. جدول ۱ ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک موردمطالعه را نشان می‌دهد.

رایزوباکس: برای مطالعه تغییرات ویژگی‌های مختلف خاک با فاصله از ریشه و در فواصل زمانی مختلف، می‌توان از ریشه‌دان (رایزوباکس)[6] استفاده کرد. رایزوباکس‌های مورد استفاده در این تحقیق بر اساس یوسف و چاینو (۱۹۸۷) در ابعاد ۲۰×۱۵×۲۰ سانتی‌متر (طول× عرض× ارتفاع) ساخته شدند (شکل ۱).

[5]Allelopathy

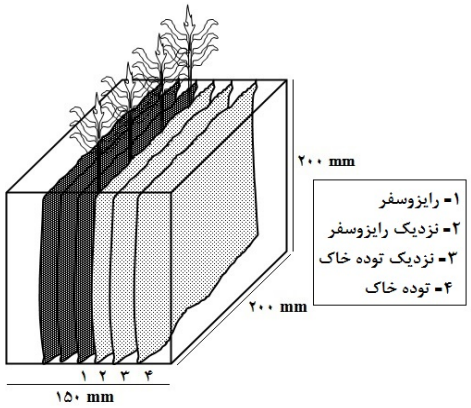
[6]Rhizobox

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

بافت	لومی رسی
طبقه‌بندی (USDA)	Typic Haplocambids
pH (۱ :۲/۵)	۷/۹
ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol_c\ kg^{-1}$)	۱۳/۷
فسفر قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۵۶/۱
پتاسیم قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۱۰۹/۱
نیتروژن کل(٪)	۰/۱
کربنات کلسیم معادل(٪)	۴۱/۰
کربن آلی محلول ($mg\ L^{-1}$)	۲۵/۵
ماده آلی(٪)	۱/۱



شکل ۱- طرح شماتیک رایزوباکس مورد استفاده (یوسف و چاینو ۱۹۸۷).

فضای درون هر رایزوباکس با استفاده از صفحه‌های مشبک نایلونی با روزنه‌های ۴۵ میکرون، به ۴ ناحیه تقسیم شد: ۱) ناحیه ریزوسفری (R) به ضخامت ۱ سانتی‌متر، ۲) ناحیه نزدیک ریزوسفر (NR) به ضخامت ۰/۸ سانتی‌متر، ۳) ناحیه نزدیک توده خاک (NB) به ضخامت ۰/۸ سانتی‌متر و ۴) ناحیه توده خاک (B) به ضخامت ۵ سانتی‌متر. نواحی ۲، ۳ و ۴، با همان ضخامت در طرف دیگر ناحیه مرکزی تکرار شدند (شکل ۱).

آزمایش گلخانه‌ای: نمونه خاک مورد مطالعه هواخشک شده و از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شد. تیمار کود سبز شامل دو سطح صفر و ۲ درصد بود که با مخلوط کردن پودر یونجه با خاک اعمال شد. در داخل هر یک از نواحی (R)، (NR)، (NB) و (B) به‌ترتیب ۴۰۰، ۳۰۰، ۳۰۰ و ۲۰۰۰ گرم (در مجموع ۵۶۰۰ گرم) خاک هواخشک ریخته شد. ذرت (*Zea mays* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) به‌عنوان نماینده‌ای از گیاهان با ساختمان ریشه متفاوت که در سطح گسترده در دنیا کشت می‌شوند (مورل و هینسینگر ۱۹۹۹) انتخاب شدند. بذرهای ذرت (رقم سینگل گراس ۷۰۴) و کلزا (رقم هایولا ۴۰۱)، جوانه‌دار شدند. سپس در ناحیه ریزوسفری (مرکزی) هر رایزوباکس ۸ عدد بذر کشت و بعداً به ۴ گیاه تنک شد، به‌طوری‌که در تیمارهای کشت مخلوط، دو بوته ذرت و دو بوته کلزا به‌صورت یک‌درمیان و در تیمارهای کشت منفرد ذرت و کشت منفرد کلزا، به‌ترتیب ۴ بوته ذرت و ۴ بوته کلزا نگه داشته شد. آبیاری گیاهان با استفاده از آب مقطر، به‌روش وزنی و به‌صورتی انجام شد که از زیر رایزوباکس‌ها آب خارج نشود و رطوبت خاک جعبه‌ها در طول آزمایش در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی نگه‌داشته شد. ۸۵ روز پس از کاشت، ابتدا شاخساره گیاهان برداشت و سپس هر یک از جعبه‌ها باز شد. در تیمارهای کشت مخلوط، دو بوته ذرت و دو بوته کلزا به‌صورت مجزا برداشت شد. سپس شاخساره و ریشه گیاهان جداگانه در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند.

نمونه خاک هر ناحیه جداگانه برداشت و با ناحیه متناظر مخلوط شد. نمونه‌های گیاهی پس از شستشو با آب مقطر، با استفاده از آسیاب برقی به‌صورت پودر درآمده و یک گرم از آن در کوره الکتریکی به‌مدت چهار ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس خاکستر شد. سپس خاکستر به‌دست‌آمده به‌وسیله ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو مولار عصاره‌گیری شد و برای اندازه‌گیری غلظت فسفر مورد استفاده قرار گرفت (وسترمن ۱۹۹۰). فسفر قابل‌استفاده گیاه در خاک به‌روش اولسن عصاره‌گیری شد (کیو ۱۹۹۶) و غلظت فسفر عصاره-

Archive of SID

www.SID.ir

های خاک به‌روش آبی و گیاه به‌روش زرد با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدلJenway 6505) اندازه‌گیری شد. تیمارهای آزمایش شامل ۴ تیمار کشت، ۴ ناحیه با فاصله از ریشه و دو سطح کود سبز با سه تکرار بودند و تحلیل آماری داده‌ها در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و آزمایش اسپلیت فاکتوریل انجام شد، به‌طوری‌که کود سبز به‌عنوان فاکتور اصلی و فاصله از ریشه و نظام کشت به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد و فاصله از ریشه اسپلیت گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD و در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس پارامتر فسفر قابل جذب خاک تحت تأثیر کود سبز، نوع کشت و فاصله از ریشه.

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	مقدار F (FS)
کود سبز (A)	۱	۲۱۵۱/۶	۲۱۵۱/۶	۷۳/۹*
نوع کشت (B)	۳	۱۳۳۹/۳	۴۶۴/۴	۱۵/۳*
A×B	۳	۲۲/۹	۷/۲	۰/۳ns
خطای A×B	۱۶	۲۲۱/۲	۱۳/۸	۰/۵
ناحیه (C)	۳	۲۲۸۱/۴	۷۶۰/۵	۲۶/۱*
A×C	۳	۱۸۰/۲	۶۰/۱	۲/۱ns
B×C	۹	۱۸۸۵/۴	۲۰۹/۵	۷/۲*
A×B×C	۹	۱۳۷/۹	۱۵/۳	۰/۵
خطای C	۴۸	۱۳۹۷/۸	۲۹/۱	-

* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns: عدم تفاوت معنی‌دار.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک

اثر کود سبز، نوع کشت و فاصله از ریشه بر غلظت فسفر قابل‌جذب خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). شکل ۲ اثر متقابل کود سبز و نوع کشت بر pH، DOC و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک را نشان می‌دهد.

افزودن کود سبز به خاک باعث افزایش کربن آلی محلول و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک در تمام تیمارها شد درحالی‌که pH خاک را کاهش داد. کود سبز با بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و تأمین عناصر مورد نیاز ریزجانداران، فعالیت میکروبی را در خاک تشدید می‌کند (تجادا و همکاران ۲۰۰۶). به‌دنبال آن، در نتیجه تشدید تنفس میکروبی در خاک، فشار گاز CO_2 افزایش‌یافته و ممکن است باعث کاهش pH خاک شود. از سوی دیگر، آزاد شدن ترکیبات آلی درنتیجه تجزیه کود سبز و زی‌توده میکروبی و همچنین ترشح ترکیبات آلی توسط ریزجانداران ممکن است باعث کاهش pH و افزایش DOC خاک شود. افزایش DOC و کاهش pH خاک ممکن است فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک را افزایش دهد زیرا کانی غالب فسفر در خاک‌های خنثی و قلیایی، فسفات‌های کلسیم می‌باشند و انحلال این ترکیبات با کاهش pH خاک افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، کربن آلی محلول خاک می‌تواند با کمپلکس کردن کلسیم، حل‌پذیری فسفات کلسیم خاک را افزایش دهد. همچنین به‌علت وجود فسفر در کود سبز، ممکن است با تجزیه کود سبز مقادیری فسفر وارد خاک شود (هینسینگر ۲۰۰۱).

بلاچیو و آبیرا (۲۰۱۱) گزارش کردند که پس از افزودن کود سبز ماش به خاک، pH خاک آهکی کاهش یافت و علّت آن را به فعالیت ریزجانداران و تجزیه کود سبز در خاک مربوط دانستند. ژانگ و فانگ (۲۰۰۷) افزایش کربن آلی و فسفر قابل‌جذب و همچنین کاهش pH خاک را با افزودن کود سبز علف چاوداری به خاک

Archive of SID

www.SID.ir

اسیدی گزارش کردند.

کربن آلی محلول در خاک تحت کشت ذرت برابر با ۵۳/۶ میلی‌گرم بر لیتر و در خاک تحت کشت کلزا ۴۱/۷ میلی‌گرم بر لیتر و در کشت مخلوط مقدار حد واسط(۴۷/۳ میلی‌گرم بر لیتر) بود (شکل ۲). مقدار DOC اندازه‌گیری شده در تیمار شاهد (بدون کشت) به‌طور معنی‌داری کمتر از سه تیمار کشت‌شده بود که بیان‌گر نقش ترشحات ریشه در افزایش DOC خاک هست. اسیدهای آلی آنیونی[۷] (OAAs) که عمدتاً از ریشه ترشح می‌شوند، می‌توانند DOC ناشی از مواد آلی خاک را به‌صورت غیرمستقیم با افزایش فعالیت میکروبی و تجزیه مواد آلی خاک و یا به‌طور مستقیم افزایش دهند (یانگ و همکاران ۲۰۰۱، هاوسر و همکاران ۲۰۰۵). بنابراین، با توجه به اینکه مقدار DOC خاک ارتباط نزدیکی با ترشحات آلی ریشه گیاهان دارد، احتمالاً مقدار ترشحات ریشه ذرت بیشتر از کلزا بوده است.

مقدار فسفر قابل‌جذب و pH در خاک تحت کشت ذرت، کلزا و مخلوط تفاوت معنی‌دار نداشت ولی فسفر قابل‌جذب گیاه در تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار بیشتر از سه تیمار کشت‌شده اندازه‌گیری شد. احتمالاً کاهش فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک در حضور گیاه، به برداشت فسفر توسط گیاه مربوط می‌شود. تنفس ریشه و آزاد شدن گاز CO_2 و ترشح انواع اسیدهای آلی از ریشه و تشدید فعالیت میکروبی بر اثر فعالیت ریشه باعث کاهش pH و افزایش DOC خاک می‌شود. به‌دنبال آن انحلال فسفات‌ها در خاک افزایش‌یافته و جذب ریشه می‌شود و باعث کاهش فسفر قابل‌جذب گیاه در خاکتحت کشت نسبت به شاهد می‌شود (نجفی و توفیقی ۱۳۸۵، نجفی و توفیقی ۱۳۹۱، هینسینگر ۲۰۰۱، بایس و همکاران ۲۰۰۶).

شکل ۳ اثر متقابل کود سبز و فاصله از ریشه بر تغییرات pH، DOC و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک را نشان می‌دهد. روند تغییرات pH با فاصله از ریشه به‌صورت ریزوسفر<نزدیک ریزوسفر=نزدیک توده خاک<توده خاک بود درحالی‌که کربن آلی محلول خاک با فاصله از ریشه با یک روند تقریباً کاهشی تغییر یافت. با افزودن کود سبز به خاک، غلظت DOC در ریزوسفر خیلی بیشتر از توده خاک افزایش یافت و بدین ترتیب یک برهم‌کنش مثبت بین کود سبز و فعالیت ریشه در افزایش مقدار کربن آلی محلول خاک در ریزوسفر مشاهده شد که احتمالاً به تشدید فعالیت میکروبی در ریزوسفر مربوط باشد. با افزایش فاصله از ریشه، ترشحات ریشه و CO_2 آزادشده از تنفس ریشه و میکروب‌ها کاهش می‌یابد. در نتیجه تأثیر فعالیت ریشه بر ویژگی‌های خاک با افزیش فاصله از ریشه کاهش می‌یابد (سگوین و همکاران ۲۰۰۴، وانگ و همکاران ۲۰۰۲). تفاوت نسبتاً زیاد غلظت فسفر در ناحیه ریزوسفر نسبت به سه ناحیه دیگر، احتمالاً به‌علت پویایی بسیار کم فسفر در خاک است.

ارتوفسفات در ریزوسفر به‌سرعت توسط گیاه جذب‌شده و یک شیب غلظت نسبتاً شدیدی بین ریزوسفر و توده خاک ایجاد می‌شود و به‌علت تحرّک بسیار کم فسفر در خاک، جایگزینی فسفر جذب‌شده در ریزوسفر بسیار کم می‌باشد. به‌عقیده ریچاردسون و همکاران (۲۰۰۹) تهی شدن ناحیه ریزوسفری، شامل هر دو بخش فسفر آلی و معدنی خاک می‌باشد.

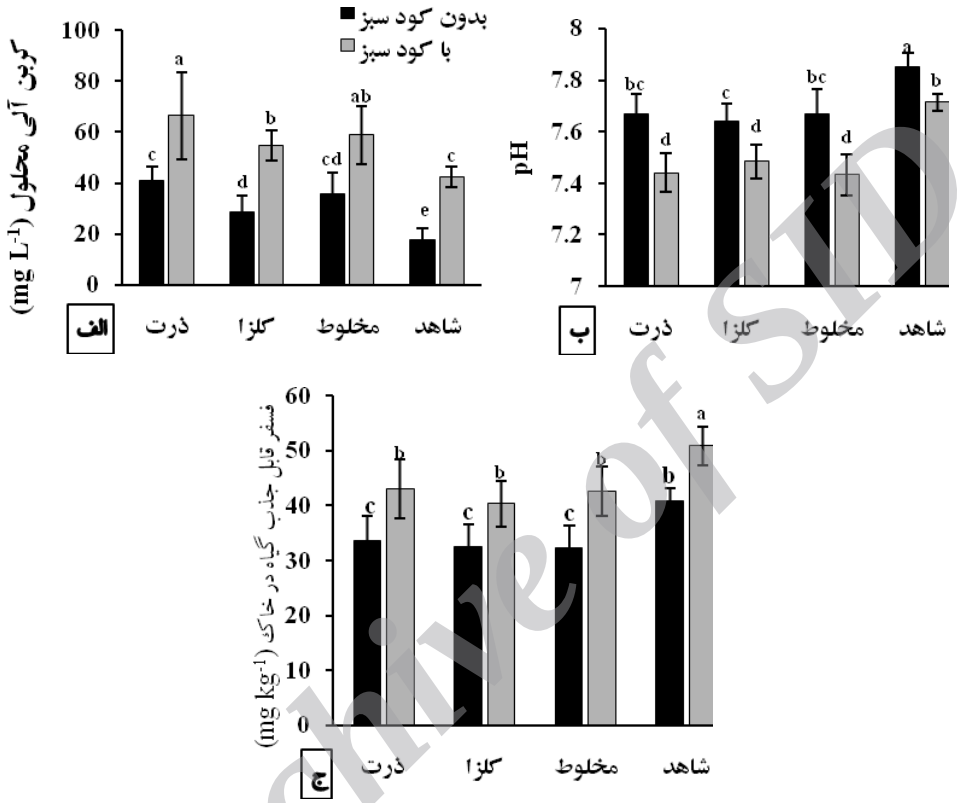
باتوجه به تحرّک بسیار کم فسفر در خاک، احتمالاً فسفر مورد نیاز گیاه عمدتاً از ناحیه ریزوسفر تأمین‌شده و با افزایش فاصله از ریشه قابلیت جذب فسفر توسط ریشه کاهش می‌یابد. به‌عقیده هینسینگر (۲۰۰۱) به‌علت غلظت کم یون فسفر در خاک و محدود بودن حرکت فسفر از طریق جریان توده‌ای، خالی شدن ریزوسفر از فسفر قابل‌جذب در بسیاری از گیاهان قابل انتظار است. در حالت بدون کود سبز احتمالاً به‌علت کمتر بودن فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک و ناکافی بودن فسفر ناحیه ریزوسفر و نزدیک ریزوسفر، گیاه از فسفر قابل‌جذب ناحیه نزدیک توده خاک استفاده کرده و باعث کاهش فسفر قابل‌جذب گیاه در ناحیه نزدیک توده خاک شده است. بنابراین، با وجود تحرّک بسیار کم فسفر در خاک، ممکن است با ایجاد یک شیب غلظتی نسبتاً شدید، مقداری از فسفر ناحیه نزدیک توده خاک (فاصله ۱۶ میلی‌متری ریشه) نیز با استفاده از سازوکار انتشار یا

[7]Organic acid anions

Archive of SID

www.SID.ir

حرکت توده‌ای به ناحیه ریزوسفر حرکت کرده و در اختیار گیاه قرار گیرد. با توجه به نتایج pH و DOC، تأثیر فعالیت و ترشحات ریشه تا ناحیه نزدیک توده خاک مشاهده شد ولی در ناحیه توده خاک به‌علت فاصله نسبی زیاد، تغییرات معنی‌دار مشاهده نشد.

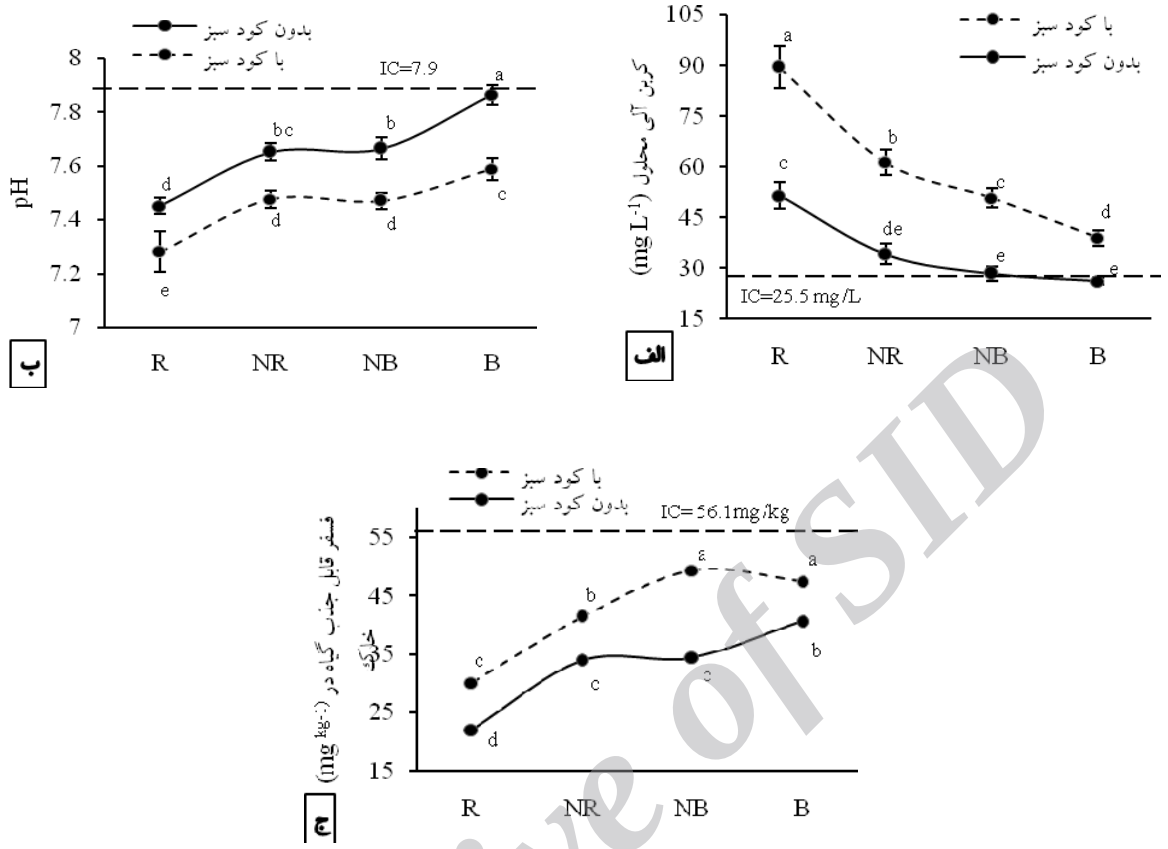


شکل ۲- اثر متقابل کود سبز و نوع کشت بر کربن آلی محلول (الف)، pH(ب)و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک (ج).

جدول ۳ اثر متقابل نوع کشت و فاصله از ریشه را بر تغییرات pH، DOC و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک نشان می‌دهد. pH در ناحیه ریزوسفر، نزدیک ریزوسفر و نزدیک توده خاک در تیمارهای ذرت، کلزا و کشت مخلوط به‌طور معنی‌دار کمتر از تیمار شاهد بود ولی در ناحیه توده خاک، بین شاهد و تیمارهای کشت تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۳)، که نشان می‌دهد احتمالاً ناحیه توده خاک به‌علت فاصله نسبی زیاد از ریشه، چندان تحت تأثیر فعالیت ریشه قرار نگرفته است. همچنین DOC و فسفر خاک نیز در ناحیه توده خاک تحت تأثیر فعالیت ریشه قرار نگرفت. pH در ریزوسفر ذرت و کشت مخلوط نسبت به ریزوسفر کلزا مقدار کمتری داشت که ممکن است به تفاوت ترکیب ترشحات ریشه و همچنین تحریک فعالیت میکروبی و تنفس ریشه ذرت و کلزا مربوط باشد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- اثر متقابل کود سبز و فاصله از ریشه بر کربن آلی محلول (الف)، pH (ب)و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک (ج).

کربن آلی محلول در ریزوسفر ذرت بیشترین مقدار را داشت و باتوجه به مقدار کمتر pH در ریزوسفر ذرت، احتمالاً افزایش DOC در ریزوسفر ذرت به ترشحات بیشتر ریشه ذرت مربوط باشد. لی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تغییرات شکل‌های شیمیایی فسفر در ریزوسفر گندم دوروم و باقلا تحت نظام کشت منفرد و مخلوط به این نتیجه رسیدند که کاهش pH ریزوسفر در نظام کشت مخلوط، بیشتر از گندم منفرد و کمتر از باقلا منفرد بود.

مقدار فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک با فاصله از ریشه کلزا و کشت مخلوط افزایش نشان داد در حالی که در مورد ذرت روند منظمی مشاهده نشد. بااین‌وجود، فسفر قابل‌جذب در ریزوسفر ذرت نسبت به سه ناحیه دیگر مقدار کمتری داشت (جدول ۳). باتوجه به اینکه کلزا از گیاهان پرنیاز به فسفر بوده و فسفر بیشتری جذب می‌کند، با جذب و برداشت فسفر توسط کلزا مقدار فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک با افزایش فاصله از ریشه افزایش یافت درحالی‌که به‌علت جذب کمتر فسفر توسط ذرت، مقدار فسفر قابل‌جذب در نواحی نزدیک ریزوسفر و نزدیک توده خاک در کشت ذرت کاهش پیدا نکرد و به‌نظر می‌رسد فسفر ناحیه ریزوسفری نیاز فسفر ذرت را تأمین کرده است. کربن آلی محلول، pH و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک در نواحی (R)، (NR)، (NB) و(B) تیمار شاهد با توده خاک تیمارهای کشت‌شده تفاوت معنی‌دار نشان نداد و به‌وضوح نشان می‌دهد که تغییرات pH، DOC و فسفر در ناحیه توده خاک به‌علت فاصله نسبتاً زیاد از ریشه چندان تحت تأثیر فعالیت ریشه گیاه قرار نگرفته است. در مقابل، ناحیه ریزوسفر در هر سه تیمار ذرت، کلزا و مخلوط دارای بیشترین مقدار DOC و کمترین مقدار pH

Archive of SID

www.SID.ir

و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک بود که نشان می‌دهد خاک ریزوسفر نسبت به نواحی دیگر، بیشترتحت تأثیر فعالیت ریشه قرار گرفته است. در هر سه تیمار کشت ذرت، کلزا و کشت مخلوط، روند تغییرات pH و DOC به‌ترتیب به‌صورت توده خاک>نزدیک توده خاک=نزدیک ریزوسفر>ریزوسفر، ریزوسفر>نزدیک ریزوسفر≥نزدیک توده خاک≥توده خاک بود ولی روند تغییرات فسفر با فاصله از ریشه ذرت متفاوت از کلزا و کشت مخلوط مشاهده شد که احتمالاً به جذب کمتر فسفر توسط ذرت مربوط باشد.

جدول ۳- اثر متقابل نوع کشت و فاصله از ریشه بر pH، DOC و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک.

نوع کشت	فاصله از ریشه	pH	DOC (mg L^{-1})	فسفر قابل‌جذب(mg kg^{-1})
ذرت	ریزوسفر	۷/۳^{f}	۸۵/۶^{a}	۲۶/۳^{e}
	نزدیک ریزوسفر	۷/۶^{d}	۴۹/۴^{cd}	۴۳/۹^{ab}
	نزدیک توده خاک	۷/۶^{d}	۴۴/۷^{de}	۴۴/۲^{ab}
	توده خاک	۷/۷^{c}	۳۴/۷$^{e-h}$	۳۹/۱$^{b-d}$
کلزا	ریزوسفر	۷/۴^{e}	۵۸/۱^{bc}	۲۶/۵^{e}
	نزدیک ریزوسفر	۷/۴^{d}	۴۳/۰$^{d-f}$	۳۳/۳^{d}
	نزدیک توده خاک	۷/۵^{d}	۳۳/۱$^{f-h}$	۳۹/۶^{bc}
	توده خاک	۷/۷^{bc}	۳۲/۷$^{f-h}$	۴۶/۳^{a}
مخلوط (ذرت +کلزا)	ریزوسفر	۷/۳^{f}	۶۷/۶^{b}	۲۵/۵^{e}
	نزدیک ریزوسفر	۷/۶^{d}	۵۰/۸^{cd}	۳۵/۷^{cd}
	نزدیک توده خاک	۷/۶^{d}	۴۰/۷$^{d-g}$	۴۱/۷^{ab}
	توده خاک	۷/۷^{bc}	۳۰/۱^{gh}	۴۶/۸^{a}
شاهد	ریزوسفر	۷/۸^{a}	۳۲/۲$^{f-h}$	۴۷/۷^{a}
	نزدیک ریزوسفر	۷/۸^{bc}	۳۳/۰$^{f-h}$	۴۴/۴^{a}
	نزدیک توده خاک	۷/۸^{ab}	۲۶/۶^{h}	۴۶/۹^{a}
	توده خاک	۷/۷^{c}	۲۸/۱^{h}	۴۲/۶^{ab}

نتایج تجزیه گیاهان

جدول ۴ اثر کود سبز و نظام کشت را بر غلظت و جذب فسفر و وزن خشک گیاهان نشان می‌دهد. افزودن کود سبز به خاک بر غلظت و جذب فسفر توسط دو گیاه ذرت و کلزا اثر متفاوتی داشت به‌طوری‌که در حضور کود سبز، غلظت و جذب فسفر در شاخساره ذرت کاهش، ولی در کلزا افزایش یافت. افزودن کود سبز به خاک باعث افزایش وزن خشک شاخساره ذرت، کلزا و کشت مخلوط شد؛ درحالی‌که وزن خشک ریشه ذرت را کاهش داد. افزایش وزن خشک شاخساره ممکن است به اثرهای مثبت کود سبز در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مربوط باشد.

اثرهای مثبت کود سبز در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند خاکدانه‌سازی، تهویه خاک و ظرفیت نگهداری آب خاک، توسط ماندال و همکاران (۲۰۰۳) گزارش شده است. علاوه‌برآن، بنجاوان و همکاران (۲۰۰۷)، بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند افزایش کربن آلی خاک، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین کاهش pH خاک و بهبود رشد گیاه بامیه را گزارش کرده‌اند. کاهش وزن خشک ریشه ذرت در نتیجه افزودن کود سبز به خاک، احتمالاً مربوط به اثرهای منفی و سمیّت اسیدهای آلی تولید شده در نتیجه تجزیه کود سبز در خاک و حساسیت بیشتر ریشه ذرت در مقایسه با کلزا نسبت به این اسیدها باشد و ممکن است بهبود حاصلخیزی خاک مانع از تحریک ریشه‌ها به رشد و توسعه شده و رشد ریشه‌ها محدود شده باشد. وقتی

Archive of SID

www.SID.ir

عناصر غذایی در خاک کم و یا انتقال آن‌ها به سطح ریشه مشکل باشد، ریشه برای دسترسی به عناصر غذایی، رشد و گسترش بیشتری خواهد داشت و ترشحات ریشه نیز بیشتر می‌شود (ریچاردسون و همکاران ۲۰۰۹). از مقدار ۴/۵ گرم وزن خشک ریشه در حالت بدون کود سبز، سهم ریشه ذرت (۲/۴ گرم) بیشتر از سهم ریشه کلزا (۲/۱ گرم) بود. درحالی‌که در حالت با کود سبز سهم ریشه کلزا (۲/۶ گرم) بیشتر از سهم ریشه ذرت (۱/۹ گرم) بود و علّت این مسئله احتمالاً به حساسیت ریشه ذرت نسبت به اسیدهای آلی تولید شده در خاک مربوط باشد. البته در کشت مخلوط، کاهش رشد ریشه ممکن است به اثرهای منفی رقابت و یا تداخلات شیمیایی و سمیّت ترشحات ریشه کلزا نیز مربوط باشد (بایس و همکاران ۲۰۰۶).

غلظت و جذب فسفر و وزن خشک گیاه در تیمار کشت مخلوط (ذرت) و مخلوط (کلزا) به‌ترتیب مربوط به دو بوته ذرت و دو بوته کلزا بوده و در تیمارهای کشت منفرد ذرت و کلزا مربوط به ۴ بوته ذرت و ۴ بوته کلزا می‌باشد. باوجوداینکه مقدار جذب فسفر توسط ذرت، کلزا و کشت مخلوط متفاوت بود (جدول ۴)، ولی مقدار فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک تحت کشت ذرت، کلزا و مخلوط با هم تفاوت معنی‌دار نداشت (شکل ۲ (ج)) و با تفاوت جذب فسفر توسط دو گیاه باعث تفاوت در غلظت فسفر قابل‌جذب در فواصل مختلف از ریشه دو گیاه شد (جدول ۳). غلظت فسفر در ریشه کلزا بیشتر از ذرت ولی در شاخساره ذرت بیشتر از کلزا بود. کشت مخلوط باعث کاهش غلظت فسفر در ذرت و کلزا نسبت به کشت منفرد شد. ریشه و شاخساره کلزا در کشت مخلوط غلظت فسفر بیشتری نسبت به ذرت داشت. بنابراین، در نظام کشت مخلوط، کارایی کلزا برای جذب فسفر بیشتر از ذرت بود. مورل و هینسینگر (۱۹۹۹) گزارش کردند که با وجود وزن خشک بیشتر گیاه کلزا نسبت به ذرت، مقدار جذب فسفر در گیاه کلزا بیشتر از ذرت بود و این مسئله را به ریشه‌های مویین طویل‌تر کلزا نسبت به ذرت مربوط دانستند.

افزودن کود سبز به خاک جذب فسفر توسط کلزا به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به ذرت افزایش یافت. با وجود وزن خشک بیشتر کلزا نسبت به ذرت، غلظت فسفر در کلزا بیشتر از ذرت بود؛ درحالی‌که با افزایش وزن خشک به‌علت اثر رقت، غلظت فسفر باید در گیاه کلزا کاهش پیدا می‌کرد. بنابراین توانایی کلزا برای جذب فسفر بیشتر از ذرت بود.

با توجه به اهمیت ریشه در جذب فسفر از خاک (مورل و هینسینگر ۱۹۹۹) و کاهش وزن خشک ریشه ذرت بر اثر افزودن کود سبز به خاک، کاهش غلظت و جذب فسفر در شاخساره ذرت با افزودن کود سبز به خاک، ممکن است به کاهش نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره مربوط باشد. هرچند که با توجه به افزایش وزن خشک شاخساره ذرت در نتیجه افزودن کود سبز به خاک، کاهش غلظت فسفر در شاخساره ذرت را می‌توان به اثر رقت نیز مربوط دانست. وزن خشک کشت مخلوط بیشتر از وزن خشک ذرت و کلزا در کشت منفرد بود. اسکندری و قنبری (۱۳۹۰) نشان دادند که جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی و ذرت، بیشتر از کشت منفرد بود و گزارش کردند که جذب فسفر و پتاسیم در ذرت بیشتر از لوبیا چشم بلبلی بود و علّت آن را به سیستم گسترده ریشه ذرت مربوط دانستند. آنان وزن خشک دو گیاه را در کشت مخلوط بیشتر از کشت منفرد به‌دست آورده و به این نتیجه رسیدند که کشت مخلوط دو گیاه به‌علت دارا بودن اثرهای مکملی در مصرف عناصر غذایی، نسبت به کشت منفرد دارای مزیت هست. نجفی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که کشت مخلوط ذرت با لوبیا و گاودانه باعث افزایش غلظت پروتئین خام ذرت و لوبیا شد. مظاهری (۱۳۷۷) علّت افزایش محصول در کشت مخلوط را به استفاده بیشتر از عامل‌های محیطی مانند آب، مواد غذایی و نور مربوط دانست.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- اثر کود سبز و نظام کشت بر غلظت و جذب فسفر و وزن خشک در ریشه و شاخساره ذرت و کلزا.

کود	کشت	غلظت فسفر ($mg\ kg^{-1}$)		جذب فسفر ($mg\ Box^{-1}$)		وزن خشک (g)	
		ریشه	شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه	شاخساره
بدون کود سبز	ذرت	۸۸۷/۸^{c}	۱۷۵۵/۵^{b}	۴/۶^{b}	۲۵/۶^{b}	۵/۲^{a}	۱۴/۶^{bc}
	کلزا	۱۵۴۳/۸^{a}	۱۴۸۲/۸^{c}	۶/۶^{a}	۲۱/۱^{c}	۴/۳^{b}	۱۴/۳^{c}
	مخلوط (ذرت)	۴۴۹/۷^{d}	۷۹۵/۹^{e}	۱/۱^{d}	۴/۴^{f}	۲/۴^{cd}	۵/۵^{e}
	مخلوط (کلزا)	۱۲۹۱/۳^{b}	۱۲۶۸/۸^{d}	۲/۷^{c}	۱۷/۶^{d}	۲/۱^{cd}	۱۳/۹^{c}
با کود سبز	ذرت	۴۶۱/۲^{d}	۷۹۴/۶^{e}	۱/۷^{cd}	۱۲/۴^{e}	۳/۹^{b}	۱۵/۶^{b}
	کلزا	۱۵۶۳/۰^{a}	۲۴۵۷/۱^{a}	۵/۸^{ab}	۴۴/۸^{a}	۳/۷^{b}	۱۸/۲^{a}
	مخلوط (ذرت)	۵۶۷/۸^{d}	۶۷۱/۹^{e}	۱/۱^{d}	۴/۹^{f}	۱/۹^{d}	۷/۳^{d}
	مخلوط (کلزا)	۱۵۵۴/۰^{a}	۱۶۶۷/۸^{b}	۴/۰^{b}	۲۴/۲^{b}	۲/۶^{c}	۱۴/۵^{c}

نتیجه‌گیری کلی

کود سبز با کاهش pH و افزایش DOC خاک، فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک را افزایش داد. کشت گیاه باعث کاهش pH و افزایش DOC خاک شد ولی به‌علت جذب فسفر توسط گیاه، مقدار فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک در تیمارهای کشت‌شده نسبت به شاهد کاهش یافت. کربن آلی محلول و pH خاک با افزایش فاصله از ریشه به‌ترتیب دارای روند تقریباً کاهشی و افزایشی بود. به‌علت جذب و برداشت فسفر توسط گیاه، مقدار فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک با افزایش فاصله از ریشه افزایش یافت. ناحیه ریزوسفر به‌شدت تحت تأثیر فعالیت ریشه گیاه قرار گرفت و شدّت این تأثیر با افزایش فاصله از ریشه کاهش یافت به‌طوری‌که اثر فعالیت ریشه بر ناحیه توده خاک (فاصله بیش از ۱۶ میلی‌متری ریشه) ناچیز بود. همچنین نتایج تجزیه گیاهان نشان داد که افزودن کود سبز به خاک باعث افزایش وزن خشک گیاه شده و غلظت و جذب فسفر را در کلزا به‌ترتیب ۱/۶ برابر و ۲/۱ برابر افزایش ولی غلظت و جذب فسفر در شاخساره ذرت را به‌ترتیب بیش از ۲/۲ و بیش از ۲ برابر کاهش داد. کاهش جذب فسفر توسط ذرت با افزودن کود سبز به خاک، ممکن است به کاهش وزن خشک ریشه مربوط باشد. با توجه به افزایش وزن خشک شاخساره ذرت در نتیجه افزودن کود سبز به خاک، کاهش غلظت فسفر در شاخساره ذرت را می‌توان به اثر رقت نیز مربوط دانست. کلزا در جذب فسفر از خاک نسبت به ذرت توانایی بیشتری داشت. کشت مخلوط باعث کاهش غلظت فسفر در شاخساره کلزا شد ولی وزن خشک دو گیاه ذرت و کلزا در نظام کشت مخلوط نسبت به کشت منفرد بیشتر بود.

منابع مورد استفاده

اسکندری ح و قنبری ا، ۱۳۹۰. ارزیابی میزان رقابت و مکملی اجزای کشت مخلوط ذرت(Zea mays) و لوبیا چشم بلبلی (Vigna sinersis) در مصرف عناصر غذایی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۱، شماره ۲، صفحه‌های ۶۷ تا ۷۵.

مظاهری د، ۱۳۷۷. زراعت مخلوط. انتشارات دانشگاه تهران.

مظاهری د، بانکه‌ساز ا، موحدی دهنوی م، حسین‌زاده ع، قنادها م، ۱۳۷۹. بررسی اثر کشت مخلوط ذرت و لوبیا بر کنترل علف‌های هرز. مجله پژوهش و سازندگی، جلد ۱۳، شماره ۲، صفحه‌های ۴۷ تا ۵۱.

Archive of SID

www.SID.ir

نجفی ن و توفیقی ح، ۱۳۸۵. بررسی اثر رایزوسفر گیاه برنج بر شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های شالیزاری شمال ایران: ۱-شکل‌های فسفر بومی خاک. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۷، شماره ۵، صفحه‌های ۹۱۹ تا ۹۳۳.

نجفی ن و توفیقی ح، ۱۳۹۱. اثر رایزوسفر گیاه برنج بر شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های شالیزاری شمال ایران: پس از کاربرد کود فسفر. مجله تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، جلد ۴۳، شماره ۳، صفحه‌های ۲۳۱ تا ۲۴۲.

نجفی ن، مصطفایی م، دباغ محمدی‌نسب ع و اوستان ش، ۱۳۹۲. اثر کشت مخلوط و کود دامی بر رشد، عملکرد و غلظت پروتئین ذرت، لوبیا و گاودانه. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۳، شماره ۱، صفحه‌های ۹۹ تا ۱۱۶.

Allison LE and Moodie CD, 1965. Carbonate. Pp. 1379-1396. In: Black CA (Ed). Methods of soil analysis. Part 2. Agron. 9. Am Soc Agron, Soil Sci Soc Am, Madison, WI.

Bais HP, Weir TL, Perry LG, Gilroy S, and Vivanco JM, 2006.The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. Annu Rev Plant Biol 57: 233-66.

Barber SA, 1995. Soil Nutrient Bioavailability: a Mechanistic Approach. 2nd ed. John Wiley, New York, USA, 414 p.

Belachew T and Abera Y, 2011. Effect of green manuring in combination with nitrogen on soil fertility and yield of bread wheat (Triticum aestivum) under double cropping system of Sinana-dinsho, Southeast Ethiopia. JBES 1(1): 1-11.

Benjawan C, Chutichudet P and Kaewsit S, 2007. Effect of green manures on growth, yield and quality of green Okra (Abelmoschus esculentus L.). Pakistan J Biol Sci 10(7): 1028-1035.

Bremner JM and Keeney DR, 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction distillation methods. Soil Sci Soc Am Proc 30: 577-582.

Chapman HD, 1965. Cation exchange capacity. Pp. 891-901. In: Black CA (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Agron. 9. Am Soc Agron, Madison, WI.

Chen Z, Setagava M, Kang Y, Sakurai K, Aikava Y and Iwasaki K. 2009. Zinc and cadmium uptake from a metalliferous soil by a mixed culture of *atbyrium yokoscense* and *arabis flagellosa.* Soil Sci and Plant Nutr. 55: 315-324.

Gee GW and Bauder JW, 1986. Particle-size analysis. Pp. 383-412. In: Klute A (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1. Vol 9. ASA and SSSA. Madison, WI.

Hauggaard-Nielsen H and Jensen ES, 2001. Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. Field Crops Res 72: 185-196.

Hauser L, Tandy S, Schulin R, and Nowack B, 2005. Column extraction of heavy metals from soils using the biodegradable chelating agent EDDS. Environ Sci Technol 3: 6819-6824.

Hinsinger P, 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. Plant Soil 237: 173-195.

Kuo S, 1996. Phosphorus. Pp. 869-919. In: Sparks DL (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, SSSA Book Series, No. 5. ASA and SSSA, Madison, WI.

Li H, Shen J, Zhang F, Clairotte M, Drevon JJ, Cadre EL and Hinsinger P, 2008. Dynamics of phosphorus fractions in the rhizosphere of common bean (Phaseolus vulgaris L.) and durum wheat (Triticum turgidum durum L.) grown in monocropping and intercropping systems. Plant Soil 312: 139-150.

Lindsay WL, Vlek PLG and Chien SH, 1989. Phosphate minerals. Pp. 1089-1130. In: Dixon JB and Weed SB (eds). Minerals in Soil Environment. 2nd ed. Soil Sci Soc Am Madison WI USA.

Mandal UK, Singh G, Victor US and Sharma KL, 2003. Green manuring its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. Euro J Agron 19: 225-237.

Morel C and Hinsinger P, 1999. Root-induced modifications of the exchange of phosphate ion between soil solution and soil solid phase. Plant Soil 211: 103-110.

Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, OC and organic matter. Pp. 539-577. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd ed, Vol. 9. ASA and SSSA. Madison WI.

Richardson AE, Barea JM, McNeill AM and Combaret CP, 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. Plant Soil 321: 305-339.

Rhoades JD, 1982. Soluble salts. Pp. 167–179. In: Page AL, Miller RH, and Keeney DR (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd ed. Vol. 9.ASA and SSSA, Madison, WI.

Seguin V, Gagnon C and Courchesne F, 2004. Changes in water extractable metals, pH and organic carbon concentrations at the soil-root interface of forested soils. Plant Soil 260: 1-17.

Tejada M, Hernandez MT and Garcia C, 2006. Application of two organic amendments on soil restoration: effects on the soil biological properties. Environ Qual 35: 1010-1017.

Archive of SID

www.SID.ir

Wang ZG, Shan XQ and Zhang SZ, 2002. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soils. Chemosphere 46: 1163-1171.

Westerman REL, 1990. Soil Testing and Plant Analysis. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Yang Y, Ratte D, Smets BF, Pignatello JJ and Grasso D, 2001. Mobilization of soil organic matter by complexing agents and implications for polycyclic aromatic hydrocarbon desorption. Chemosphere 43: 1013-1021.

Youssef RA and Chino M, 1987. Studies on the behavior of nutrients in the rhizosphere. Establishment of a new rhizobox system to study nutrient status in the rhizosphere. J Plant Nutr 10: 1185-1195.

Zhang MK and Fang LP, 2007. Effect of tillage, fertilizer and green manure cropping on soil quality at an abandoned brick making site. Soil Till Res 93: 87-93.

Archive of SID

www.SID.ir