Archive of SID
DOI: 10.22059/IJSWR.2019.279387.668168 (ص ۲۵۸۱-۲۵۷۱) تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۱۰، اسفند ۱۳۹۸

The Effect of Humic Acid and Phosphorus Fertilizer on Phosphatase Enzymes, Active Carbon and Available Phosphorus in Sugarcane Rhizosphere

HAMID REZA BEHRAVAN[1], REZA KHORASSANI[*1], AMIR FOTOVAT[1], ABDOL AMIR MOEZEI[2] AND MEHDI TAGHAVI [3]

1. Department of soil science, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
2. Department of soil science, Chamran University, Ahvaz, Iran.
3. Department of chemistry, Chamran University, Ahvaz, Iran.

(Received: Apr. 25, 2019- Revised: July. 18, 2019- Accepted: July. 22, 2019)

ABSTRACT

Soil enzymes are considered as a measure of soil biological status. Phosphatase enzymes (alkaline and acid) are very important because of their role in converting organic to inorganic phosphorus and improving plant nutrition. Various factors such as organic compounds and phosphate fertilizers affect the activity of these enzymes. In this study, the effect of humic acid and phosphorous (P) fertilizers on soil rhizosphere phosphatase enzymes, active carbon and P uptake by sugarcane was investigated, conducting a greenhouse pot experiment in south west of Iran. The experiment was performed as a factorial based on complete randomized design, in three levels of P application as triple super phosphate (0, 50% and 100 % of recommended phosphorus application, 250 $kg.ha^{-1}$, in the region), four humic acid treatments (three immersion levels of setts in 0, 0.3 and 0.5% solution of humic acid as well as application of 30 mg humic acid per kg soil treatment) and two harvesting time (45 and 90 days after planting). The results showed that in non-fertilized treatment, the use of humic acid (especially in the form of cuttings immersion) increased P uptake by about twice at the first harvest and by 30% at the second harvest compared to the control treatment. Improvement of P uptake in the soil with deficit P was due to changes in activated carbon in the rhizosphere and also the impact on density and activity of microorganisms and the activity of enzymes such as phosphatase, which increases the availability of P in the vicinity of the plant root. By increasing the phosphorus application, the activity of the alkaline phodphatase enzyme decreased and reached to the minimum measured value dry soil (17% Less than the control).

Keywords: Humic acid, active carbon, phosphatase enzymes, phosphorus fertilizer, sugarcane

* Corresponding Author's Email: khorasani@um.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

تاثیر اسید هومیک و کود فسفر بر آنزیم‌های فسفاتاز، کربن فعال و فسفر قابل استفاده در ریزوسفر گیاه نیشکر

حمیدرضا بهروان[۱]، رضا خراسانی*[۱]، امیر فتوت[۱]، عبدالامیر معزی[۲]، مهدی تقوی[۳]

۱. گروه علوم خاک،دانشکده کشاورزی،دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲. گروه علوم خاک،دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

۳. گروه شیمی،دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۴/۲۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۴/۳۱)

چکیده

آنزیم‌های خاک می‌توانند به عنوان معیاری برای سنجش وضعیت بیولوژیکی خاک مورد استفاده قرار گیرند و در این میان آنزیم‌های فسفاتاز (قلیایی و اسیدی) به دلیل نقشی که در تبدیل فسفر آلی به معدنی و بهبود تغذیه گیاه دارند از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند. در این تحقیق، اثر کاربرد کود فسفر، اسید هومیک و زمان‌های مختلف برداشت بر آنزیم‌های فسفاتاز، کربن فعال، فسفر خاک ریزوسفر گیاه نیشکر (فسفر کل و فسفر قابل استفاده) و جذب این عنصر به وسیله گیاه نیشکر در آزمایش گلدانی و در شرایط گلخانه‌ای، در جنوب غربی ایران بررسی شد. در این آزمایش مصرف سطوح مختلف فسفر (۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی در منطقه معادل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و به صورت سوپرفسفات تریپل)، تیمارهای اسید هومیک (سه سطح غوطه ورسازی قلمه در محلول‌های ۰، ۰٫۳ و ۰٫۵ درصد اسید هومیک و تیمار خاک کاربرد $10\ kg\ ha^{-1}$ اسید هومیک) و دو زمان برداشت به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در شرایط عدم مصرف کود فسفر، استفاده از اسید هومیک (بویژه به شکل غوطه‌ور کردن قلمه) در برداشت اول جذب فسفر توسط گیاه حدود دو برابر و در برداشت دوم تا ۳۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشت. بهبود جذب فسفر در شرایط کمبود فسفر قابل دسترس خاک به دلیل تغییرات در مقدار کربن فعال ناحیه ریزوسفر و نیز تاثیر بر تراکم و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آنزیم‌هایی مانند فسفاتاز می‌باشد که قابلیت دسترسی فسفر را در مجاورت ریشه گیاه افزایش می‌دهند. با افزایش مصرف کود فسفر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت و به حداقل مقدار اندازه‌گیری شده (۱۷٪ کمتر از شاهد) رسید.

واژه‌های کلیدی: اسیدهومیک، آنزیم فسفاتاز، کربن فعال، کود فسفر، نیشکر

مقدمه

خاکهای تحت کشت نیشکر در خوزستان در جنوب کشور ایران، خاکهایی هستند که در آنها ماده آلی بسیار کم (کمتر از ۰/۵ درصد)، pH نسبتاً زیاد (۹-۸) و مقدار آهک زیاد (بیش از ۲۵ درصد) است و علاوه بر این در بسیاری از مناطق، مشکلات مربوط به زهکشی و شوری و قلیایت نیز وجود دارد (Sund and Clements, 1974).

این شرایط و به ویژه مقدار آهک و دامنه pH، باعث می‌شود که شرایط تحرک فسفر در این خاکها و در نتیجه جذب آن به وسیله گیاه با مشکلات زیادی همراه باشد (Vahap Katkat *et al*., 2009; Wang *et al*., 1995). با توجه به این شرایط و سابقه کشت بیش از ۵۰ و ۳۰ سال گیاه نیشکر (به ترتیب در شمال و جنوب استان خوزستان) و با وجود دوره مصرف طولانی کود فسفر، مقدار فسفر خاک کماکان نشان می‌دهد که به ادامه کوددهی نیاز می‌باشد. اکنون افزودن کود فسفر فقط در زمان کشت (کوددهی در سنین بازرویی انجام نمی‌شود) و به میزان ۳۰۰ – ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار انجام می‌شود.

در سال‌های اخیر، بهبود وضعیت مواد آلی خاک با استفاده از کمپوست، محصولات فرعی کارخانجات شکر، به ویژه فیلترکیک، در سراسر دنیا مورد توجه قرار گرفته است (De Souza *et al*., 2016). مطابق با این مطالعات، ترکیبات آلی می‌توانند تحرک عناصر غذایی به ویژه فسفر و جذب آن را به وسیله گیاهان از جمله گیاه نیشکر بهبود بخشند. نتایج بدست آمده در این تحقیقات اثرات مثبتی را بر رشد و عملکرد گیاه نیشکر و همچنین بهبود جذب فسفر و بهبود راندمان مصرف این عنصر نشان داده است (Ghani *et al*., 2003).

مقدار مورد نیاز این مواد آلی خام (محصولات فرعی کارخانجات شکر)، معمولاً بسیار بالا بوده و انتقال و پخش آنها به

* نویسنده مسئول: khorasani@um.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مزرعه نیز بسیار پرهزینه است. علاوه بر این تأثیر آن‌ها در بهبود شرایط خاک نیز زمان‌بر است. با توجه به این مشکلات، معمولاً عصاره این مواد و مواد کم حجم یا فشرده حاصل از آن (مثل کمپوست‌ها و بیوچارها و اسیدهومیک) مورد توجه قرار گرفته‌اند. اسید هومیک به عنوان ماده‌ای با ساختار آلی، دارای خصوصیاتی است که می‌تواند تحرک و دسترسی عناصر غذایی در خاک را تحت تاثیر قرار دهد. اسید هومیک جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر را از طریق تأثیر بر رشد و توسعه ریشه افزایش می‌دهد و بنابراین می‌تواند در بهبود رشد و عملکرد گیاه نیز مؤثر باشد (Marques Júnior *et al*., 2008; Zandonadi *et al*., 2010). بهبود جذب عناصر از طریق گسترش ریشه‌ها و همچنین افزایش طول و تراکم تارهای کشنده، از مهمترین اثرات اسید هومیک می‌باشد (Marques Júnior *et al*., 2008; Zandonadi *et al*., 2010; Canellas and Olivares, 2014). برخی محققین بر نقش اسید هومیک در افزایش جمعیت میکروبی خاک، افزایش ترشح اسیدهای آلی در ریزوسفر و درنتیجه بهبود تحرک عناصر غذایی و جذب آن‌ها تاکید نموداند (Puglisi *et al*., 2008; Puglisi *et al*., 2009; Šmejkalová and Piccolo, 2008; Piccolo, 2002).

آنزیم‌های خاک نیز نقش مهمی در تجزیه مواد آلی و چرخه عناصر غذایی دارند و در فرآیند جذب عناصر غذایی بعضی از آنزیم‌های خاک نرخ واکنشی را که در آن بقایای گیاهی تجزیه شده و عناصر غذایی قابل استفاده گیاه آزاد می‌شود را افزایش می‌دهند. آنزیم‌های خاک از سه منبع اصلی تولید می‌شوند: ۱) میکرو ارگانیزم‌های زنده و غیرزنده ۲) ریشه و بقایای گیاهی ۳) موجودات خاک (Šarapatka, 2003).

آنزیم فسفاتاز یکی از مهمترین آنزیم‌های خاک است که فسفر آلی را به فسفر معدنی و به شکل قابل استفاده گیاه تبدیل می‌کند و می‌تواند به عنوان شاخصی از تغییرات بیولوژیکی خاک محسوب شود (Dick *et al*., 2000). آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی با توجه به pH خاک به ترتیب در خاک‌های قلیایی و اسیدی فعالیت بیشتری دارند و منابع مواد آلی و فراهمی فسفر از عواملی هستند که می‌توانند فعالیت این آنزیم‌ها را تحت تأثیر قرار دهند (Šarapatka, 2003; Dick and Tabatabai, 1984; Eivazi, and Tabatabai, 1977). بخش‌های فعال کربن خاک که معمولاً به عنوان ذخیره کربن فعال نامیده می‌شوند به عنوان شاخص‌های حساس در مدیریت کیفیت خاک محسوب می‌شوند (Weil *et al*., 2003). این بخش از کربن خاک برای شبکه غذایی خاک و بنابراین تأثیر در چرخه‌های عناصر غذایی و هم‌چنین خصوصیات بیولوژیکی خاک اهمیت دارد. به عبارت دیگر بخش قابل تجزیه کربن آلی یک جزء فعال با نرخ تغییر نسبتاً بالا است و مقدار آن با بیوماس میکروبی خاک رابطه دارد و بنابراین یک فاکتور مهم در حاصلخیزی پتانسیل خاک محسوب می‌شود (Ghani *et al*., 2003; Kolář *et al*., 2009). . البته کربن فعال را به عنوان معیاری برای بیان کیفیت خاک نیز برخی محققین استفاده می‌کنند (Ghani *et al*., 2003; Haynes, 2000).

هدف از انجام این تحقیق بررسی مقدار جذب فسفر توسط گیاه نیشکر به دلیل تغییرات ایجاد شده در ریزوسفر گیاه شامل فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و کربن فعال و فسفر قابل دسترس خاک ریزوسفری تحت تاثیر تیمارهای کود فسفر و اسید هومیک در دو زمان برداشت است.

مواد و روش‌ها

برای مقایسه اثر کود فسفر و اثر اسیدهومیک بر آنزیم‌های فسفاتاز (قلیایی و اسیدی)، کربن فعال (کربن لابیل) و فسفر خاک ریزوسفر گیاه نیشکر (فسفر کل و فسفر السن)، آزمایش گلدانی در فضای گلخانه‌ای در جنوب غربی ایران و در شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی (48º 36' E, 30º 59' N) انجام شد. در این آزمایش سطوح مختلف فسفر (۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی معادل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)، به صورت خاک کاربرد و قرار دادن در زیر قلمه نیشکر، تیمارهای اسید هومیک (سه سطح غوطه‌ورسازی قلمه در محلول‌های ۰، ۰/۳ و ۰/۵ درصد اسید هومیک و تیمار خاک کاربرد به مقدار ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسیدهومیک) و دو زمان برداشت محصول (۴۵ و ۹۰ روز بعد از کشت) مورد بررسی قرار گرفت. در تیمارهای غوطه‌وری قلمه‌های نیشکر پس از جدا کردن غلاف به‌مدت ۳۰ دقیقه در محلول‌های اسید هومیک با غلظت‌های شرح داده شده غوطه‌ور شدند.

آماده‌سازی گلدان‌ها، تجزیه خاک و اسید هومیک

خاک مورد استفاده در تحقیق حاضر از لایه سطحی خاک (۳۰ – ۰ سانتی‌متر) یکی از مزارع نیشکر واقع در شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک هوا خشک شده و پس از خرد کردن از الک ۲ میلی‌متری عبور و در گلدانهایی به قطر ۳۰ و عمق ۵۰ سانتی‌متر ریخته شد. برای حفظ ریشه و اطمینان از عدم صدمه به ریشه در زمان خارج سازی گیاه، کیسه-های پلاستیک با اندازه مناسب در گلدان قرار داده شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک به روش‌های متداول آزمایشگاهی تعیین شد (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1961)، هدایت الکتریکی مطابق با روش Roades (1996) و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید (Loeppert and Suarez, 1996) اندازه‌گیری شدند. pH خاک در

www.SID.ir

Archive of SID

سوسپانسیون با نسبت ۱:۲ خاک به آب تعیین شد. کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1996) و فسفر استخراج شده با بی‌کربنات سدیم (فسفر السن) با روش Olsen *et al.* (1954) تعیین شدند.

اسید هومیک استخراج شده از فیلترکیک[1] (Swift, 1996) با استفاده از آنالیز عنصری (مدل Costech - ECS 4010 CHNSO) برای تعیین کربن، نیتروژن، گوگرد و هیدروژن تجزیه شد که مقادیر این عناصر به ترتیب برابر ۵۳/۱۲، ۲/۵۲، ۲/۱ و ۴/۰۲ درصد تعیین شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک

بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کربن آلی (%)	فسفرالسن ($mg\ kg^{-1}$)	کربنات کلسیم (%)	pH	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)
لوم شنی	۱۴	۲۱	۶۵	۰/۱۸	۳/۶	۳۲/۵	۸/۰۳	۳/۵۲

طرح آماری و فاکتورها و سطوح

کشت و اجرای آزمایش

به منظور کشت گیاه، خاک مورد استفاده به نسبت ۱ به ۱ با شن الک شده و شسته شده ترکیب گردید و گلدان‌ها پر شدند. سپس قلمه‌های تک جوانه‌ای از رقم CP69 – 1062 در هفته اول مهر ماه ۱۳۹۵ کشت شدند. قبل از کشت به منظور انجام تیمار غوطه-ورسازی، قلمه‌های مورد نظر در محلول‌های ۰/۳و ۰/۵ درصد اسید هیومیک و تیمار شاهد در آب به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. کود فسفر نیز در سطوح صفر، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ مقدار توصیه شده در منطقه قبل از کشت و کود نیتروژن (اوره) به صورت تقسیط در دو نوبت در طول دوره رشد گیاه معادل ۵۰ کیلوگرم در هکتار برای همه تیمارها استفاده گردید. به منظور حفظ رطوبت خاک در محدوده ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی، آبیاری هر ۲ روز یکبار انجام گردید. مقدار رطوبت خاک قبل از شروع آبیاری از طریق اندازه‌گیری رطوبت در گلدان‌های تخریبی تعیین می‌شد.

برداشت

گیاه نیشکر پس از ۴۵ و ۹۰ روز بعد از کشت از محل اتصال به خاک و طوقه گیاه برداشت شد و به منظور آزمایش‌های بعدی در کیسه پلاستیکی قرار داده شد. خاک گلدان به همراه پوشش پلاستیکی داخل گلدان به دقت خارج شد. پس از خارج کردن ریشه گیاه نیشکر، خاک چسبیده به ریشه (خاک ریزوسفر) به دقت و به آرامی جدا و جمع‌آوری شد.

تجزیه‌های خاک ریزوسفر

کربن فعال (لابیل) خاک مطابق با روش Weil *et al.*, (2003)، فسفر کل با روش Kuo (1996) و فسفر استخراج شده با بی‌کربنات سدیم (فسفر السن) با روش Olsen *et al.*, (1954) تعیین شدند و آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی نیز با روش Tabatabai and Bremner (1969) اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری‌های گیاه و محاسبه جذب

به منظور تعیین وزن خشک قسمت هوایی و ریشه گیاه، نمونه‌ها در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. فسفر نمونه‌های خشک شده گیاه پس از آسیاب، با روش Murphy and Riley (1962) تعیین شد . پس از تعیین وزن خشک و محتوی فسفر گیاه، مقدار فسفر جذب شده از حاصلضرب غلظت فسفر و وزن خشک گیاه محاسبه گردید.

محاسبات آماری

در این تحقیق از دو فاکتور کود فسفر و اسید هومیک با سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار Minitab 16 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح ۵ درصد صورت گرفت. نمودارها نیز با استفاده از برنامه MS-Excel رسم گردید.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات تیمارهای مختلف در جدول‌های (۲ و ۳) آمده است. همانگونه که این جدول‌ها نشان می‌دهند کاربرد اسید هومیک و کود فسفر تغییرات معنی‌داری (در سطح ۱ و ۵ درصد) بر روی همه فاکتورهای مورد بررسی به جز فسفاتاز اسیدی در یک یا هر دو زمان برداشت ایجاد نمودند.

فسفر خاک

فسفر کل

همانگونه که در جدول تجزیه واریانس آمده است فسفر کل در اثر کاربرد کود افزایش معنی‌داری در سطح ۱ درصد برای هر دو زمان برداشت نشان داد. تغییرات برای تیمارهای اسید هومیک در هر

1 Filter cake

www.SID.ir

Archive of SID

دو برداشت معنی‌دار نبود.

نتایج جدول‌های (۴ و ۵) مقایسه میانگین فسفر کل در خاک ریزوسفر را نشان می‌دهد که تغییرات آن به طور عمده وابسته به سطوح کود فسفر بوده و روند مشابهی در هر دو زمان برداشت مشاهده شد. به عبارت دیگر با افزایش مصرف کود فسفر به طور معنی‌داری مقدار فسفر کل خاک ریزوسفری افزایش یافت. در برداشت اول کمترین مقادیر فسفر کل مربوط به تیمارهای بدون مصرف کود فسفر و بیشترین مقادیر مربوط به تیمارهای مصرف کود (۱۰۰ درصد توصیه کودی) بود. در اکثر تیمارهای کودی نیز استفاده از اسیدهومیک نسبت به عدم استفاده از آن، فسفر کل بیشتری را نشان داد. در برداشت دوم نیز تقریباً همین روند مشاهده شد اما اختلاف بین تیمارها مشخص‌تر بود. در این زمان نیز بیشترین فسفر کل مربوط به تیمارهای کود فسفر، ۱۰۰ درصد توصیه کودی، به همراه اسیدهومیک و کمترین مقدار آن نیز مربوط به عدم مصرف کود فسفر بوده است (جداول ۴ و ۵). از نظر عددی مقدار فسفر کل در برداشت اول بیش از برداشت دوم بود و در تیمارهای مصرف خاکی اسیدهومیک نیز، مقدار فسفر کل اختلاف بیشتری را نشان داد. در برداشت دوم با وجود کاهش میزان فسفر کل، کماکان میزان آن با افزایش کود دهی، افزایش یافت.

فسفر قابل استفاده (فسفرالسن)

مطابق با نتایج جدول‌های (۲ و ۳)، فسفر قابل استفاده خاک ریزوسفری در اثر مصرف کود فسفر افزایش معنی‌داری در سطح ۱ درصد در هر دو زمان برداشت نشان داد ولی تیمارهای اسید هومیک اختلاف معنی‌داری در فسفر قابل استفاده ایجاد نکردند. فسفر السن یا فسفر قابل استفاده در هر دو برداشت روند بسیار مشابهی را نشان داده است به طوری که تغییرات آن مثل فسفر کل وابسته به تیمارهای کوددهی بوده است. اثر مستقل تیمارها به طور مشخصی وابستگی تغییرات فسفر السن به افزایش کود فسفر را نشان می‌دهد اما در اثر متقابل تیمارها همچون فسفر کل، استفاده از اسیدهومیک به همراه کود فسفر، بیشترین فسفر قابل استفاده را در این تیمارها نشان داده است. همانگونه که نتایج جدول (۴ و ۵) مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهند مقدار فسفر قابل استفاده در برداشت اول بیشتر از برداشت دوم بود و در هر دو زمان با افزایش مقدار مصرف کود فسفر، مقدار آن نیز افزایش یافت. بیشترین فسفر قابل استفاده در برداشت اول و دوم مربوط به تیمارهای اسیدهومیک (هم در غوطه‌ور کردن قلمه و هم کاربرد در خاک) به همراه مصرف کود به مقدار ۱۰۰ درصد توصیه کودی و کمترین مقدار فسفر قابل استفاده در هر دو برداشت مربوط به تیمارهای بدون مصرف کود فسفر بود. رابطه فسفر کل با فسفر السن نیز در هر دو برداشت همبستگی معنی‌داری را نشان داد اما این رابطه در برداشت اول از ضریب همبستگی بیشتری برخوردار بود (جدول‌های ۴ و ۵ و شکل‌های ۱ و ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کود فسفر و اسید هومیک بر فسفر، کربن فعال ،آنزیم‌های فسفاتاز در خاک ریزوسفری و جذب فسفر گیاه نیشکر در ۴۵ روز پس از کشت

منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر کل mg kg^{-1}	فسفر السن mg kg^{-1}	فسفاتاز قلیایی µmol h^{-1}g^{-1} dry soil	فسفاتاز اسیدی µmol h^{-1}g^{-1} dry soil	کربن فعال mg kg^{-1}	جذب فسفر (mg P plant^{-1})
کود فسفر	۲	۴۶۰۴۷**	۱۳۶/۶۹**	۸/۰۷*	۱/۱۸^{ns}	۴۱۱/۷۰^{ns}	۲۶/۷۲*
اسید هومیک	۳	۱۰۴۲۶^{ns}	۳/۸۸^{ns}	۱/۸۴^{ns}	۰/۱۲۵۶^{ns}	۸۲۲۰/۳**	۶۳/۵۳**
کود فسفر × اسید هومیک	۶	۴۶۶۳ ^{ns}	۲/۸۸^{ns}	۰/۷۵^{ns}	۱۹/۷۴^{ns}	۷۷۲/۸^{ns}	۲/۴۲^{ns}
خطا	۲۴	۴۴۳۳	۲/۳۶	۱/۲۶	۴۴/۸۳	۷۶۹/۶۰	۲/۸۷

ns غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ** معنی‌دار در سطح ۱٪

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کود فسفر و اسید هومیک بر فسفر، کربن فعال،آنزیم‌های فسفاتاز در خاک ریزوسفری و جذب فسفر گیاه نیشکر در ۹۰ روز پس از کشت

منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر کل mg kg^{-1}	فسفر السن mg kg^{-1}	فسفاتاز قلیایی µmol h^{-1}g^{-1} dry soil	فسفاتاز اسیدی µmol h^{-1}g^{-1} dry soil	کربن فعال mg kg^{-1}	جذب فسفر (mg P plant^{-1})
کود فسفر	۲	۱۵۶۵۲/۹**	۵۰/۱۱**	۲/۳۷*	۰/۱۵^{ns}	۲۰۳۲^{ns}	۱۲۰/۸۵*
اسید هومیک	۳	۹/۸۰۳^{ns}	۱/۳۶^{ns}	۰/۹۸۵۳^{ns}	۰/۴۲۵۱^{ns}	۷۶۲۱/۶**	۲۱۰/۰۰**
کود فسفر × اسید هومیک	۶	۸۳۲/۱^{ns}	۲/۷۵^{ns}	۰/۵۱۰۸^{ns}	۰/۷۶۶^{ns}	۱۰۷۴/۴^{ns}	۱۲/۷۶^{ns}
خطا	۲۴	۵۱۰/۴	۱/۲۶	۰/۵۱۸۲	۰/۲۰۹۱	۹۶۱/۹	۱۴/۲۵

ns غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ** معنی‌دار در سطح ۱٪

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های کربن فعال،آنزیم‌های فسفاتاز، فسفر خاک ریزوسفری و جذب فسفر گیاه نیشکر در برداشت اول

تیمارها	فسفر کل mg kg^{-1}	فسفر السن mg kg^{-1}	فسفاتاز قلیایی µmol h^{-1}g^{-1} dry soil	فسفاتاز اسیدی µmol h^{-1}g^{-1} dry soil	کربن فعال mg kg^{-1}	جذب mgP plant^{-1}
H_0P_0	۴۰۴/۳۳ ab	۲/۸۰ d	۶/۸۴ ab	۲/۸۷ a	۱۸۱/۸۷ b	۵/۴۱ e
H_0P_{50}	۴۱۹/۱۷ ab	۵/۶۷ cd	۶/۱۲ ab	۳/۱۴ a	۱۸۴/۴۶ ab	۵/۷۳ de
H_0P_{100}	۴۵۹/۰۰ ab	۷/۵۰ abc	۵/۱۹ b	۳/۰۷ a	۱۸۵/۹۸ ab	۸/۴۵ b-e
$H_{0.3}P_0$	۳۹۴/۵۰ b	۲/۵۳ d	۸/۵۱ a	۳/۰۲ a	۲۲۰/۰۰ ab	۱۰/۴۱ a-d
$H_{0.3}P_{50}$	۴۴۶/۵۰ ab	۶/۲۷ bcd	۶/۳۰ ab	۳/۶۸ a	۲۴۹/۱۰ ab	۱۰/۲۹ a-e
$H_{0.3}P_{100}$	۴۶۷/۵۶ ab	۸/۵۰ abc	۵/۹۴ ab	۲/۷۳ a	۲۶۴/۰۰ a	۱۴/۷۹ a
$H_{0.5}P_0$	۳۹۲/۵۰ b	۲/۵۳ d	۶/۴۰ ab	۳/۰۵ a	۲۱۹/۶۲ ab	۱۰/۱۱a-e
$H_{0.5}P_{50}$	۴۵۰/۵۰ ab	۵/۴۷ cd	۶/۰۱ ab	۳/۰۵ a	۲۴۴/۶۹ ab	۱۱/۱۱ abc
$H_{0.5}P_{100}$	۵۵۶/۴۲ ab	۱۰/۳۰ ab	۵/۴۶ ab	۲/۵۶ a	۲۱۲/۳۳ ab	۱۲/۲۲ ab
$H_{SA}P_0$	۳۸۷/۵۰ b	۲/۶۷ d	۷/۰۹ ab	۲/۹۵ a	۲۶۰/۸۲ ab	۷/۰۸ cde
$H_{SA}P_{50}$	۵۲۹/۶۷ ab	۶/۷۳ a-d	۶/۹۵ ab	۳/۳۹ a	۲۴۳/۲۹ ab	۶/۹۷ cde
$H_{SA}P_{100}$	۵۹۰/۹۲ a	۱۱/۲۳ a	۵/۶۹ ab	۲/۳۹ a	۲۶۱/۲۰ ab	۸/۵۷ b-e

H_0، $H_{0.3}$ و $H_{0.5}$ به ترتیب محلول‌های صفر، ۰/۳ و ۰/۵ درصد اسید هومیک H_{SA} نشان دهنده کاربرد خاکی اسید هومیک

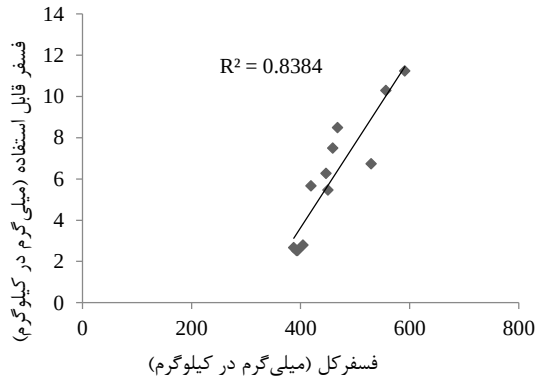
P_0، P_{50} و P_{100} به ترتیب سطوح کود فسفر صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی میانگین اعداد با حروف مشابه در هر ستون مطابق با آزمون توکی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست

جدول۵- مقایسه میانگین‌های کربن فعال،آنزیم‌های فسفاتاز، فسفر خاک ریزوسفری و جذب فسفر گیاه نیشکر در برداشت دوم

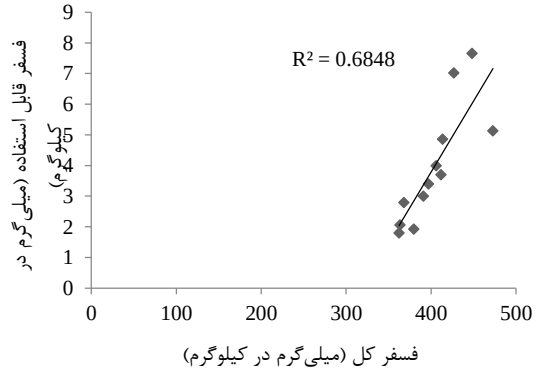
تیمارها	فسفر کل mg kg^{-1}	فسفر السن mg kg^{-1}	فسفاتاز قلیایی µmol h^{-1}g^{-1} dry soil	فسفاتاز اسیدی µmol h^{-1}g^{-1} dry soil	کربن فعال mg kg^{-1}	جذب mgP plant^{-1}
H_0P_0	۳۶۸/۰۰ c	۲/۸۰ cd	۶/۲۵ a	۱/۷۷ a	۱۷۹/۷۲ b	۲۷/۶۹ c
H_0P_{50}	۳۹۷/۰۰ bc	۳/۴۰ cd	۵/۳۹ a	۱/۹۳ a	۱۹۱/۹۸ b	۳۱/۴۶ bc
H_0P_{100}	۴۱۳/۷۸ abc	۴/۸۷ a-d	۵/۳۷ a	۱/۹۰ a	۲۱۹/۲۴ ab	۳۵/۳۹ bc
$H_{0.3}P_0$	۳۷۹/۶۷ c	۱/۹۳ cd	۷/۰۹ a	۲/۲۷ a	۲۰۸/۶۶ ab	۳۶/۳۸ abc
$H_{0.3}P_{50}$	۴۰۶/۱۷ bc	۴/۰۰ cd	۶/۳۰ a	۲/۳۹ a	۲۲۶/۹۳ ab	۴۲/۴۷ ab
$H_{0.3}P_{100}$	۴۲۶/۸۳ abc	۷/۰۲ ab	۵/۱۹ a	۱/۹۴ a	۲۶۰/۸۲ ab	۴۷/۳۱ a
$H_{0.5}P_0$	۳۶۲/۳۳ c	۱/۸۰ d	۶/۰۰ a	۱/۹۲ a	۲۱۸/۶۷ ab	۳۷/۵۲ abc
$H_{0.5}P_{50}$	۴۱۱/۸۳ abc	۳/۷۰ cd	۵/۶۳ a	۱/۷۴ a	۲۵۶/۲۸ ab	۴۲/۱۳ ab
$H_{0.5}P_{100}$	۴۷۳/۰۰ a	۵/۱۳ abc	۵/۲۶ a	۱/۸۳ a	۲۲۴/۷۸ ab	۴۲/۳۳ ab
$H_{SA}P_0$	۳۶۳/۵۰ c	۲/۰۷ cd	۵/۴۱ a	۲/۳۰ a	۲۶۳/۴۷ ab	۳۴/۵۹ bc
$H_{SA}P_{50}$	۳۹۱/۰۰ bc	۳/۰۰ cd	۵/۴۳ a	۲/۱۲ a	۲۸۵/۳۹ a	۳۶/۰۵ bc
$H_{SA}P_{100}$	۴۴۸/۵۰ ab	۷/۶۶ a	۵/۳۹ a	۲/۳۱ a	۲۵۵/۹۱ ab	۳۶/۲۴ bc

H_0، $H_{0.3}$ و $H_{0.5}$ به ترتیب محلول‌های صفر، ۰/۳ و ۰/۵ درصد اسید هومیک H_{SA} نشان دهنده کاربرد خاکی اسید هومیک

P_0، P_{50} و P_{100} به ترتیب سطوح کود فسفر صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی میانگین اعداد با حروف مشابه در هر ستون مطابق با آزمون توکی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست



شکل ۱- ارتباط فسفر السن و فسفر کل در برداشت اول



شکل ۲- ارتباط فسفر السن و فسفر کل در برداشت دوم

www.SID.ir

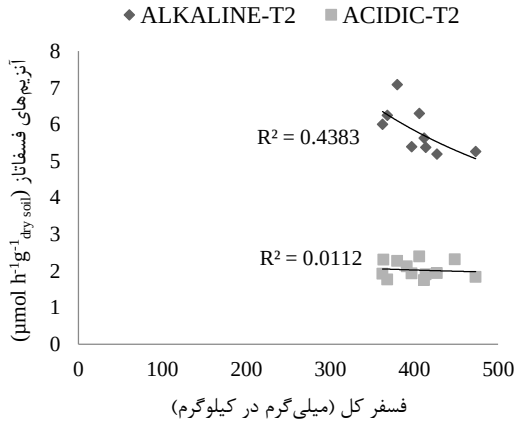
Archive of SID

آنزیم فسفاتاز قلیایی

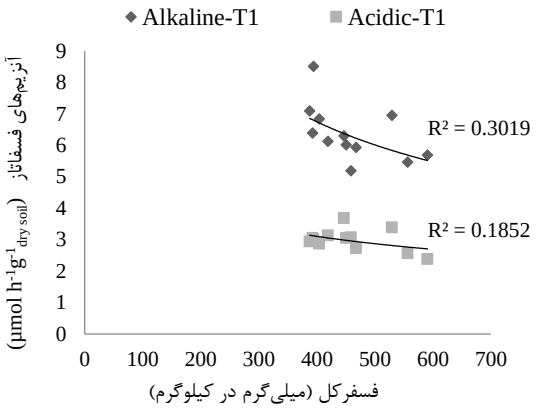
مصرف تیمارهای مختلف اسید هومیک تغییر معنی‌داری را در فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی باعث نگردید و این در حالی بود که استفاده از کود فسفر مقدار این آنزیم در خاک ریزوسفری را به طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد در هر دو زمان برداشت کاهش داد (جدول‌های ۲ و ۳). این نتایج نشان می‌دهند که مصرف کود فسفر در هر دو زمان برداشت اثر معکوس با آنزیم فسفاتاز داشت. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که برخلاف کود فسفر، در هر دو زمان برداشت استفاده از اسیدهومیک در تیمارهای بدون کوددهی و کود کم (۵۰ درصد توصیه کودی) مقدار فسفاتاز بیشتری را نشان داده است. آنزیم فسفاتاز قلیایی در دو زمان برداشت با گذشت زمان در بیشتر تیمارها کاهش یافت (جدول‌های ۴ و ۵). اگرچه در هر دو برداشت بیشترین و کمترین مقدار فسفاتاز قلیایی به ترتیب مربوط به تیمار مصرف اسیدهومیک و تیمار حداکثر مصرف کود فسفر (۸/۵۱ و ۷/۰۹ میکرومول در ساعت در گرم به ترتیب در برداشت اول و دوم) و بدون مصرف کود فسفر، صرف‌نظر از استفاده اسید هومیک (۵/۱۹ میکرومول در ساعت در گرم) بود.

آنزیم فسفاتاز اسیدی

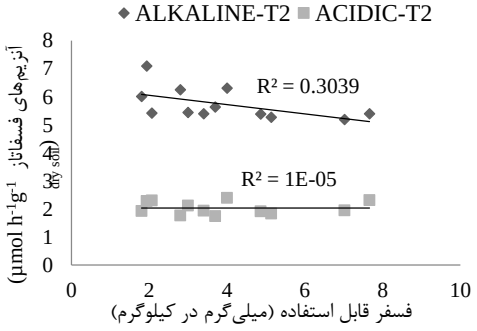
همانگونه که جدول تجزیه واریانس نیز نشان می‌دهد واکنش فسفاتاز اسیدی نسبت به تیمارهای کود فسفر و اسیدهومیک در هردو زمان برداشت معنی‌دار نبود (جدول‌های ۲ و ۳). اگر چه جدول مقایسه میانگین‌ها نیز اثر معنی‌داری نه در تیمارهای مصرف فسفر و نه در تیمارهای اسیدهومیک نشان نمی‌دهد، ولی در عین حال روند تغییرات فعالیت این آنزیم در برداشت اول شبیه به فسفاتاز قلیایی بود. در این زمان کمترین مقدار آنزیم فسفاتاز اسیدی مربوط به تیمارهای مصرف کود فسفر (۱۰۰ درصد توصیه کودی) بود اما روند مشخصی را در مقایسه با برداشت اول نشان ندادند. مقدار فسفاتاز اسیدی در تیمارهای مختلف همچون فسفاتاز قلیایی در برداشت اول بیشتر از برداشت دوم بودند (جداول ۴ و ۵). در برداشت اول، اسیدهومیک در تیمارهای غوطه‌وری نسبت به تیمارهای خاک کاربرد در بیشتر موارد آنزیم فسفاتاز اسیدی بیشتری را نشان داد. بررسی ارتباط آنزیم‌های فسفاتاز با فسفر خاک (فسفر کل و فسفر السن) در برداشت اول و دوم تغییرات قابل توجهی را نشان می‌دهد. فسفر کل در هر دو زمان برداشت روند معکوسی را با هر دو آنزیم نشان داد اما ضریب همبستگی برای آنزیم فسفاتاز قلیایی بیشتر بود. در مورد فسفر السن نیز همین روند مشاهده شد (شکل‌های ۶-۳).



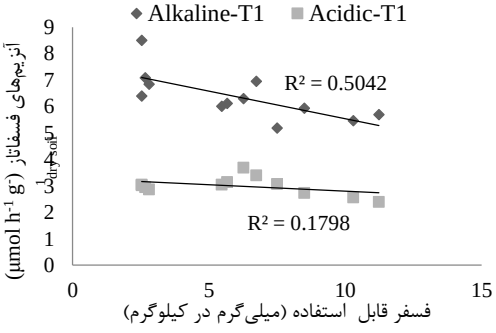
شکل ۳- ارتباط فسفر کل و آنزیم‌های فسفاتاز در برداشت اول



شکل ۴- ارتباط فسفر کل و آنزیم‌های فسفاتاز در برداشت دوم



شکل ۵- فسفر قابل دسترس و آنزیم‌های فسفاتاز در برداشت اول



شکل ۶- فسفر قابل دسترس و آنزیم‌های فسفاتاز در برداشت دوم

www.SID.ir

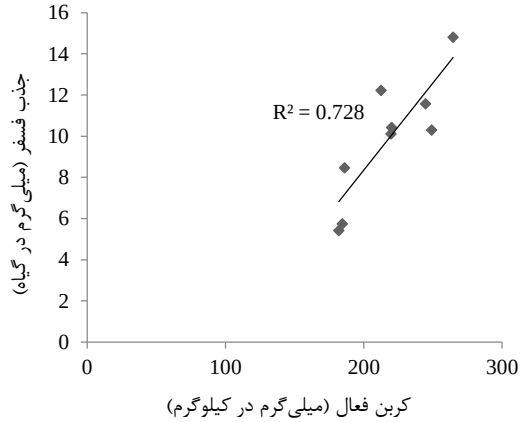
Archive of SID

کربن فعال

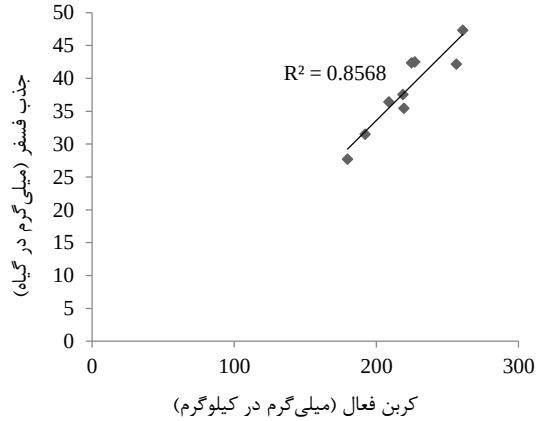
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که مصرف تیمارهای اسید هومیک به طور معنی‌داری مقدار کربن فعال خاک ریزوسفری را در سطح ۱ درصد افزایش داد (جدول ۲و۳). مقایسه میانگین مقدار کربن فعال در تیمارهای مختلف در دو زمان برداشت، روند تغییرات کاملاً متفاوت را با فسفاتاز قلیایی و اسیدی و مشابه با فسفر کل و فسفر السن نشان می‌دهد. بر خلاف آنزیم-های فسفاتاز، کربن فعال در زمان برداشت دوم در اکثر تیمارها بیشتر از برداشت اول بود اما همچون آنزیم‌های فسفاتاز در اینجا نیز تیمارهای اسیدهیومیک هم به صورت غوطه‌ورسازی قلمه و هم به صورت خاک کاربرد، کربن فعال بیشتری را نشان دادند. مقدار کربن فعال در هر دو زمان برداشت در مقایسه با کود فسفر، وابستگی بیشتری به اسیدهومیک داشت ولی این وابستگی در برداشت اول بیشتر بوده است. اثر فسفر نیز به تنهایی در هر دو برداشت اگر چه معنی‌دار نبود اما با افزایش مصرف کود فسفر، کربن فعال نیز افزایش یافت. در برداشت اول بیشترین و کمترین مقدار کربن فعال با مقادیر ۲۶۴ و ۱۸۱/۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به تیمارهای $H_{0.3}P_{100}$ و H_0P_0 بود. در برداشت دوم نیز همچون برداشت اول تیمارهای اسیدهومیک نسبت به عدم استفاده از آن مقدار کربن فعال بیشتری را نشان دادند (جداول ۴ و ۵).

جذب فسفر

جذب فسفر به‌وسیله گیاه نیشکر در اثر مصرف اسید هومیک و کود فسفر به‌طور معنی‌داری در هر دو زمان برداشت افزایش یافت ولی این تغییرات برای کاربرد اسیدهومیک در سطح ۱ درصد و برای مصرف کود فسفر در سطح ۵ درصد بود (جدول ۲و۳). مقایسه میانگین جذب فسفر در تیمارهای مختلف و در هر دو زمان برداشت نشان می‌دهد که جذب فسفر در هر دو زمان برداشت به‌طور معنی‌داری در تیمارهای اسید هومیک بیشتر بود (جدول۴ و ۵). جذب فسفر به‌وسیله گیاه در تیمارهای مختلف با افزایش فسفر و اسیدهومیک (به تنهایی و یا همراه با مصرف فسفر) نسبت به تیمار شاهد افزایش قابل‌توجه داشته و در بیشتر موارد نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین جذب فسفر در برداشت اول و دوم به ترتیب مربوط به تیمار غوطه‌وری قلمه‌ها در محلول ۰/۳ درصد به همراه مصرف کود فسفر (۱۰۰ درصد توصیه کودی) و تیمار شاهد بوده است. تیمارهای کاربرد اسیدهومیک در خاک اگرچه نسبت به سایر تیمارهای اسیدهومیک جذب کمتری را نشان دادند ولی کماکان جذب بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشته‌اند. مقدار جذب در برداشت دوم نسبت به برداشت اول افزایش قابل‌توجهی یافت به‌طوری‌که در تیمارهای مختلف جذب در برداشت دوم حداقل سه برابر بیشتر از برداشت اول بود (جدول۵). در بین فاکتورهای موردبررسی (آنزیم‌های فسفاتاز، فسفر خاک و کربن فعال)، تنها فاکتور کربن فعال با جذب رابطه معنی‌داری نشان داد. ضریب همبستگی این رابطه در زمانی که از تیمار خاک‌کاربرد صرف نظر شد، افزایش قابل‌توجهی یافت و بدین ترتیب ارتباط این فاکتور با جذب فسفر در هر دو زمان برداشت، ضریب همبستگی بسیار بالایی را نشان داد (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل ۷- جذب و کربن فعال (بدون تیمار خاک کاربرد) در برداشت اول



شکل ۸- جذب و کربن فعال (بدون تیمار خاک کاربرد) برداشت دوم

بحث

نتایج بدست آمده در ارتباط با زمان برداشت و تیمارهای کودی و هومیک اسید بیانگر نقش کاملاً مشخص کوددهی در افزایش فسفر کل و فسفر السن خاک ریزوسفری است. افزایش فسفر با افزایش کود فسفر نتیجه بدیهی است که توسط محققین بسیاری نیز تأکید شده است (Wang *et al*., 2015). اما نکات دیگری نیز در این تحقیق مشخص گردیده است که می‌توان از جمله به ارتباط معنی‌دار فسفر کل و فسفر السن در هر دو برداشت اما با

www.SID.ir

Archive of SID

تفاوت قابل‌توجه در برداشت اول و همچنین کاهش مقدار فسفر (فسفر السن و فسفر کل) با گذشت زمان اشاره نمود.

دلیل این تغییرات را می‌توان به تغییرات جذب فسفر و افزایش مقدار آن در برداشت دوم دانست. با افزایش مصرف کود فسفر در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی، تحت اثر متقابل اسیدهومیک با کود فسفر نسبت به تیمارهای بدون اسیدهومیک، مقدار فسفر کل و فسفر اولسن افزایش بیشتری می‌یابد. این نتایج با یافته‌های Sharif *et al*., (2010) و Wang *et al*., (2015) نیز مطابقت دارد.

با جذب بیشتر فسفر و تأثیر تیمارهای مختلف رابطه فسفر کل و فسفر السن در برداشت دوم تحت تأثیر بیشتری قرار گرفته است و این تغییرات اگرچه موجب کاهش همبستگی داده‌ها شده است اما نتیجه کلی و معنی‌دار بودن رابطه آنها را تحت تأثیر قرار نداده است.

تغییرات فسفر در خاک موجب تغییرات آنزیمی و به‌ویژه فسفاتاز قلیایی شد. مقدار فسفاتاز قلیایی مطابق با یافته‌های Dick *et al*., (2000)، Eivazi and Tabatabai (1977) و Dick and Tabatabai (1984) به دلیل شرایط مساعد در خاک‌هایی با pH بالا نسبت به فسفاتاز اسیدی در هر دو زمان برداشت، بیشتر بود.

با افزایش مصرف فسفر و در نتیجه افزایش مقدار فسفر کل و فسفر السن خاک ریزوسفری، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و به‌ویژه فسفاتاز قلیایی کاهش یافت. این مطلب می‌تواند به دلیل فراهمی فسفر در منطقه ریشه گیاه و عدم نیاز به فعالیت فسفاتاز برای فراهم کردن فسفر موردنیاز گیاه از منابع فسفر آلی خاک و همچنین نقش بازدارنده یا کاهنده فسفر در ترشح این آنزیم توسط موجودات خاک و گیاه باشد که با تحقیقات Šarapatka (2003) نیز انطباق دارد. این موضوع به وضوح با افزایش مقدار آنزیم فسفاتاز در شرایط عدم مصرف کود مشاهده می‌شود. نقش اسیدهومیک در این زمینه به دلیل نقش بسیار قوی‌تر فسفر، کمتر مشاهده می‌شود اما با این وجود به نظر می‌رسد که استفاده از هومیک اسید در تیمارهای کودی توانسته است فعالیت آنزیم فسفاتاز را افزایش دهد (اگرچه از نظر آماری معنی‌دار نبود) که این موضوع می‌تواند به افزایش جمعیت میکروبی خاک و همچنین بهبود رشد ریشه گیاه و افزایش ترشح این آنزیم مربوط باشد. بر خلاف آنزیم فسفاتاز، کربن فعال در برداشت دوم نسبت به برداشت اول مقادیر بیشتری را نشان داد و علاوه بر این مصرف کود فسفر، موجب افزایش میزان کربن فعال شد (Aguiar *et al*., 2013; De Souza *et al*., 2016).

مقدار کربن فعال در اکثر تیمارهای مصرف کود فسفر در برداشت اول تفاوت معنی‌داری را نشان نداد اما در برداشت دوم، مصرف کود فسفر موجب افزایش کربن فعال شد. از طرف دیگر تیمارهای اسیدهومیک و به‌ویژه تیمار خاک کاربرد ایدهومیک نسبت به تیمار شاهد، باعث افزایش کربن فعال در هر دو برداشت و با اثر بسیار بیشتر در برداشت دوم شدند. دلیل افزایش کربن فعال در برداشت دوم در هم سویی با کود فسفر را می‌توان به نقش اسیدهیومیک و مواد آلی و به‌ویژه تیمار خاک کاربرد در افزایش کربن آلی خاک و رشد و گسترش ریشه در زمان طولانی‌تر نسبت به برداشت اول و در نتیجه افزایش مواد کربنی در محیط رشد خاک مرتبط دانست. علت افزایش تأثیر بیشتر خاک کاربرد اسیدهومیک نسبت به تیمارهای غوطه‌وری می‌تواند به مقدار مصرف بیشتر اسیدهومیک و تماس مستقیم بیشتر با خاک مربوط باشد. با افزایش کربن فعال خاک جذب فسفر نیز در هر دو برداشت افزایش یافت اما همبستگی جذب با کربن فعال در تیمارهای اسیدهومیک غوطه‌وری و تیمارهای فسفر بیشتر از زمانی بود که داده‌های مربوط به تیمارهای خاک کاربرد اسیدهومیک نیز موردتوجه قرار می‌گرفت، به عبارت دیگر همبستگی جذب فسفر با کربن فعال در هر دو زمان برداشت با حذف داده‌های تیمار خاک کاربرد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (از $r^2=0.02$ به $r^2=0.73$ در برداشت اول و از $r^2=0.1$ به $r^2=0.86$ در برداشت دوم). علت این مطلب می‌تواند به تماس بیشتر اسیدهومیک با منطقه ریشه‌زا در تیمارهای غوطه‌وری و در نتیجه شرکت مؤثر در فرآیندهای جذب ریشه و منطقه ریزوسفر نسبت به تیمارهای خاک کاربرد و تأثیر بیشتر تیمارهای غوطه‌وری به همراه مصرف کود فسفر به دلیل داشتن زمان بیشتر در جهت بهبود رشد ریشه و در نتیجه جذب بیشتر فسفر مربوط باشد. نقش کلی اسید هومیک به عنوان یک ترکیب آلی به همراه کود فسفر در افزایش تولید بیوماس گیاهی می‌تواند جذب بیشتر فسفر را توجیه کند که با نتایج تحقیقات Nunes *et al*., (2011) نیز مطابقت دارد.

جذب فسفر در هر دو دوره برداشت روند مشابهی داشت و میزان جذب آن با افزایش کاربرد کود فسفر افزایش یافت، این نتیجه با یافته‌های Bruna *et al*. (2016) مطابقت دارد. مقایسه برداشت ۱ و ۲ در جذب با گذشت زمان نشان داد که با وجود کاهش غلظت فسفر، به دلیل افزایش ماده خشک، میزان جذب کل افزایش یافت. علاوه بر میزان مصرف فسفر، جذب فسفر به‌طور معنی‌داری با کاربرد اسید هومیک افزایش یافت. از سوی دیگر، حتی در تیمارهای بدون کاربرد فسفر نیز جذب فسفر در اثر کاربرد اسید هومیک بهبود یافت. نتایج مشابهی نیز برای محصولات دیگر مانند گندم گزارش شده است (Wang *et al*.,

www.SID.ir

Archive of SID

1995). جذب بیشتر فسفر در تیمارهای اسید هومیک می‌تواند به بهبود سیستم ریشه‌ای (افزایش طول و حجم ریشه و همچنین افزایش طول و تراکم تارهای کشنده) مربوط باشد. بدین ترتیب به نظر می‌رسد استفاده از اسید هومیک می‌تواند ظرفیت جذب فسفر از منابع خاک و کود را از طریق افزایش طول و حجم ریشه بهبود دهد. این یافته‌ها با این فرضیه که اسید هومیک و ترکیبات آلی می‌توانند قابلیت استفاده فسفر توسط گیاه را افزایش دهند نیز مطابقت دارد (Stamford *et al*., 2006; Gullo, 2007; Bezerra *et al*., 2015).

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، تیمارهای مختلف اسید هومیک و کود فسفر مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج نشان دادند که کارایی استفاده از کود فسفر با استفاده از اسید هومیک، به‌ویژه در تیمارهای غوطه‌ور کردن قلمه‌های نیشکر در محلول اسید هومیک، افزایش می‌یابد. با توجه به بهبود جذب فسفر توسط گیاه، می‌توان کاهش مصرف کود را نیز انتظار داشت. بنابراین بر پایه این نتایج می‌توان با بهبود مدیریت خاک و ایجاد شرایط مناسب برای تحرک فسفر در خاک‌های تحت کشت نیشکر (از طریق کاربرد ترکیبات آلی مانند اسید هومیک) امکان جذب بیشتر فسفر حتی با کاهش مصرف کودهای فسفر (نسبت به شرایط معمول) را نیز فراهم نمود. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که کاربرد اسید هومیک به شکل عملیاتی در حین کشت قلمه‌های نیشکر امکان‌پذیر است، اما به نظر می‌رسد هنوز تحقیقات بیشتری برای بررسی موضوعات مهم دیگر مانند استفاده از اسید هومیک در فصل رشد گیاه و همچنین روش‌های دیگر کاربرد آن مثل محلول‌پاشی یا استفاده در آب آبیاری، باید انجام شود.

سپاسگزاری

مؤلفین این مقاله از کمک‌های بی‌دریغ جناب آقای دکتر سعید صفیرزاده ریاست محترم تحقیقات آب و خاک شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی، عمیقاً سپاسگزاری می‌نمایند.

REFERENCES

Aguiar, N. O., Olivares, F. L., Novotny, E. H., Dobbss, L. B., Martizez-Balmori, D., Santos-Júnior, L. G., Chagas, J. G., Façanha, A. R., and Canellas, L. P. (2013). Bioactivity of humic acids isolated from vermicomposts at different maturation stages. *Plant and Soil*, 362, 161–174.

Bezerra, P. S. S., Prado, R. M., and Shigaki, F. (2015). Natural phosphate and humic substances applied in Quartzipsamment and Kandiudult cultivated with Sugar Cane. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 4(2), 153-163.

Bouyoucos, G. J. (1961). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464–465.

Bruna, A., Marcos, R., Amin, S., Alan, E. R., Fernando, D. A., and Paulo, S. P. (2016). Biological and morphological traits of sugarcane roots in relation to phosphorus uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(4), 901-915.

Canellas, L. P., and Olivares, F. L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1:3

De Souza, G. P., de Figueiredo, C. C., and De Sousa, D. M. G. (2016). Relationships between labile soil organic carbon fractions under different soil management systems. *Science Agriculture*, 73(6), 535-542.

Dick, W. A., and Tabatabai, M. A. (1984). Kinetic parameters of phosphatases in soils and organic waste materials. *Soil Science*, 137, 7-15.

Dick, W. A., Cheng, L., and Wang, P. (2000). Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. Soil Biology and Biochemistry, 32, 1915-1919.

Eivazi, F., and Tabatabai, M. A. (1977). Phosphatases in soils. Soil Biology and Biochemistry, 9(3), 167-172.

Ghani, A., Dexter, M., and Perrot, K. W. (2003). Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry*, 3, 1231–1243.

Gullo, M. J. M. (2007). Use of the foundation soil conditioners humic acid in sugar cane crop (Saccharum spp.). *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 2, 153-163.

Haynes, R. J. (2000). Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 211–219.

Kolář, L., Kužel, S., Horáček, J., Čechová, V., Borová-Batt, J., and Peterka, J. (2009). Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality. *Plant, Soil and Environment*, 55, 245–251.

Kuo, S. (1996). Phosphorus. In D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, WI, pp. 869-920.

Loeppert, H. L., and Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. Methods of Soil Analysis. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (Part 3). (pp. 437-474). Soil Science Society of America Publishing: Madison, Wisconsin, USA.

Marques Júnior, R. B., Canellas, L. P., Silva, L. G., and Olivares, F. L. (2008). Promoção de enraizamento de microtoletes de cana-de-açúcar pelo uso conjunto de substâncias húmicas e bactérias diazotróficas endofíticas. *Rev Bras Ci Solo*, 32.

www.SID.ir

Archive of SID

1121–1128 (in Portuguese, with abstract in English).

Murphy, J., and Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemical Acta*, 27, 31-36.

Nelson, D. W., and Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (Part 3). (pp. 961-1010). Soil Science Society of America Publishing: Madison, Wisconsin, USA.

Nunes, R. S., Lopes, A. A. C., Sousa, D. M. G., and Mendes, I. C. (2011). Management systems and the carbon and nitrogen stocks of cerrado oxisol under soybean-maize succession. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 1407-1419 (in Portuguese, with abstract in English).

Olsen, S. R, Cole, C. V., Watanabe, E. S., and Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with *sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture Circular*, 939, 1-18.

Piccolo, A. (2002). The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. *Advance Agronomy*, 75, 57–134.

Puglisi, E., Fragoulis, G., Del Re, A. A., Spaccini, R., Piccolo, A., Gigliotti, G., Said-Pullicino, D., and Trevisan. M. (2008). Carbon deposition in soil rhizosphere following amendments with compost and its soluble fractions, as evaluated by combined soil–plant rhizobox and reporter gene systems. *Chemosphere*, 73, 1292–1299.

Puglisi, E., Fragoulis, G., Ricciuti, P., Cappa, F., Spaccini, R., Piccolo, A., Trevisan, M., and Crecchio, C. (2009). Effects of a humic acid and its size-fractions on the bacterial community of soil rhizosphere under maize (*Zea mays* L.). *Chemosphere*, 77, 829–837.

Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electerical conductivity and total dissolved solids. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (Part 3). (pp. 417-436). Soil Science Society of America Publishing: Madison, Wisconsin, USA.

Šarapatka, B. (2003). Phosphatase activities (ACP, ALP) in agroecosystem soils. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.

Sharif, M. K. A., and Izhar-Ul-Haq, M. J. (2010). Extractable phosphorus as affected by humic acid application in salt affected soils. *Sarhad Journal Agric*ulture, 26(3), 381-386.

Šmejkalová, D., and Piccolo, A. (2008). Aggregation and disaggregation of humic supramolecular assemblies by NMR diffusion ordered spectroscopy (DOSY-NMR). *Environmental Science Technology*, 42, 699–706.

Stamford, N. P., Santos, C. E. R. S., and Dias, S. H. L. (2006). Rock biofertilizers with Acidithiobacillus on sugarcane yield and nutrient uptake in a Brazilian soil. *Geomicrobiology Journal*, 23, 261-265.

Sund, K., and Clements, H. (1974). Production of sugarcane under saline desert conditions in Iran. *Unuversity of Hawaii.*

Swift, R. S. (1996). Organic matter characterization. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (Part 3). (pp. 1018-1020). Soil Science Society of America Publishing: Madison, Wisconsin, USA.

Tabatabai, M. A., and Bremner, J. M. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochememistry*, 1, 301-307.

Vahap Katkat, A., Çelik, H., Murat, A. T., and Asik, B. B. (2009). Effects of soil and foliar applications of humic substances on dry weight and mineral nutrients uptake of wheat under calcareous soil conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2), 1266-1273.

Wang, R., Li, N., Guo, S., Zhang, Y., Li, R., and Jian, J. (2015). Phosphorus accumulation and sorption in calcareous soil under long-term fertilization. *PLoS ONE Journal*, 10(8), 7-14.

Wang, X. J., Wang, Z. Q. and Li, S. G. (1995). The effect of humic acids on the availability of phosphorus fertilizers in alkaline soils. *Soil Use Manage Journal*, 11, 99-102.

Weil, R., Kandikar, R., Islam, R., Stine, M. A. Gruver, J. B., and Samson-Liebig, S. E. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18(1), 3-17.

Zandonadi, D. B., Santos, M. P., Dobbss, L. B., Olivares, F. L., Canellas, L. P., Binzel, M. L., Okorokova-Facanha, A. L., and Facanha, A. R. (2010). Nitric oxide mediates humic acids-induced root development and plasma membrane H+-ATPase activation. *Planta*, 231, 1025–1036.

www.SID.ir