نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۸، ص. ۷۲۱-۷۰۹

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 5, Nov.-Dec. 2019, p. 709-721

اثر کاربرد اسید هیومیک و کود فسفر بر رشد ریشه، جذب و جریان به درون فسفر در گیاه نیشکر

حمیدرضا بهروان[۱]- رضا خراسانی [۲*]- امیر فتوت[۳]- عبدالامیر معزی[۴]- مهدی تقوی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۰

چکیده

با توجه به اهمیت افزایش کارایی کود فسفر و بررسی اثرات اسید هومیک در بهبود جذب آن با توجه به خصوصیات مورفولوژیک ریشه و جریان به درون فسفر در گیاه نیشکر، آزمایش گلخانه‌ای با سطوح مختلف فسفر (۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی معادل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و اسید هیومیک (سه سطح غوطه‌ورسازی قلمه در محلول‌های ۰، ۰/۳ و ۰/۵ درصد اسید هیومیک) اجرا شد و گیاه نیشکر در دو زمان ۴۵ و ۹۰ روز پس از کشت، برداشت شد. آزمایش به صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار و با استفاده از ۵۴ گلدان اجرا گردید. در این تحقیق طول ساقه و ریشه، طول تارهای کشنده، ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه، جذب و جریان به درون فسفر اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج بدست آمده با مصرف اسید هیومیک به همراه کود فسفر، خصوصیات گیاهی اندازه‌گیری شد و جذب فسفر نیز به طور متوسط بیش از ۵۰ درصد بهبود یافت. اما در عین حال روند تغییرات جریان به درون فسفر با جذب فسفر در تیمارهای اسید هومیک و کود فسفر به دلیل افزایش معنی‌دار طول ریشه منطبق نبود به طوری‌که این تغییرات رابطه معکوسی با رشد ریشه نشان داد. نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف اسید هیومیک به تنهایی و به همراه کود فسفر می‌تواند با تأثیر بر سیستم ریشه‌ای و تارهای کشنده، جذب فسفر و در نتیجه ماده خشک گیاهی را افزایش دهد. همچنین کاربرد اسید هیومیک و کود فسفر ضمن افزایش عملکرد محصول، افزایش کارایی مصرف کود فسفر را نیز بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: طول ساقه، طول تارهای کشنده، ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه، غلظت فسفر، نیشکر

مقدمه

کشت نیشکر در استان خوزستان از دهه ۱۳۴۰ هجری شمسی مجدداً احیاء و به‌دلیل نتایج خوب بدست آمده به تدریج از شمال تا جنوب این استان گسترش یافت. اکنون نیشکر در بیش از ۱۰۰ هزار هکتار از اراضی استان خوزستان کشت می‌شود و تقریباً ۵۰ درصد شکر تولیدی کشور در این منطقه تولید می‌شود. خاک‌های تحت کشت نیشکر معمولاً از آهک غنی و فقیر از مواد آلی، فسفر و نیتروژن هستند. pH خاک در این منطقه از کشور حدود ۸ تا ۸/۵ است. بر اساس تحقیقات ونگ (۳۱) و وهب کات کات و همکاران (۳۰) انتظار می‌رود که جذب فسفر بوسیله گیاهان و همچنین کارایی مصرف کودهای فسفر در خاک‌هایی با pH و درصد آهک زیاد (خاک‌های قلیایی و آهکی) به‌طور قابل توجهی کم باشد. بنابراین توجه به مدیریت مصرف کود فسفر و نیز افزایش کارایی کود و همچنین استفاده از ذخایر فسفر موجود در خاک مزارع تحت کشت نیشکر بسیار مهم است. کاربرد ترکیبات آلی برای افزایش تحرک فسفر در خاک و در نتیجه افزایش جذب آن به‌وسیله گیاه در بسیاری از تحقیقات مورد توجه قرار گرفته است (۲۸، ۱۶ و ۲).

در سال‌های اخیر، بهبود وضعیت مواد آلی خاک با استفاده از کمپوست و محصولات فرعی کارخانجات شکر (بویژه فیلترکیک) در سراسر دنیا مورد توجه قرار گرفته است (۹). مطابق با این مطالعات، ترکیبات آلی می‌توانند تحرک عناصر غذایی به ویژه فسفر و جذب آن به وسیله گیاهان از جمله گیاه نیشکر را بهبود بخشند. نتایج بدست آمده در این تحقیقات اثرات مثبتی را بر رشد و عملکرد گیاه نیشکر (۱۱) و همچنین بهبود جذب و کارایی مصرف فسفر نشان داده است. اسید هیومیک جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر را از طریق تأثیر بر رشد و توسعه ریشه (۳۳) افزایش می‌دهد و بنابراین می‌تواند در بهبود رشد و عملکرد گیاه نیز مؤثر باشد. بهبود جذب عناصر از طریق گسترش ریشه‌ها و همچنین افزایش طول و تراکم تارهای کشنده (۶) از مهمترین اثرات اسید هیومیک می‌باشند. برخی محققین بر نقش

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری شیمی و حاصخیزی خاک، دانشیار و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: khorasani@um.ac.ir
۴- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۵- استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز
DOI: 10.22067/jsw.v33i5.78726

اسید هیومیک در افزایش جمعیت میکروبی خاک (۲۲ و ۲۳) و ترشح اسیدهای آلی در ریزوسفر (۲۶ و ۱۵) و در نتیجه بهبود تحرک عناصر غذایی و جذب آن‌ها تاکید نموده‌اند. خراسانی و همکاران (۲۰۱۲) جذب و جریان به درون فسفر در گیاهان دارویی کاکوتی، بومادران و مریم گلی را بررسی کرده و نشان دادند که رقم گیاه و نوع سیستم ریشه‌ای می‌تواند در جذب و جریان به فسفر گیاه درون نقش تعیین کننده داشته باشد و کارایی جذب فسفر براساس اتکا گیاه به گسترش سیستم ریشه‌ای یا اینفلاکس عنصر تغییر می‌کند (۱۳).

نحوه مصرف اسید هیومیک نیز به وسیله محققین مورد توجه قرار گرفته است که به دلیل شرایط ویژه و رشد سریع گیاه نیشکر، کاربرد اسید هیومیک معمولاً به صورت غوطه‌ور کردن قلمه‌ها در محلول اسید هیومیک و یا محلول‌پاشی آن به شکل هیومات پتاسیم قبل از کشت پیشنهاد شده است. همچنین استفاده مستقیم اسید هیومیک به شکل جامد نیز به وسیله برخی محققین گزارش شده است (۱۱). در این تحقیق به دلیل مزیت‌های روش غوطه‌وری (دقت، انطباق عملیاتی با فعالیت‌های کشت نیشکر و اقتصادی بودن) از این روش استفاده شده است.

تاکنون تحقیقات بسیار کمی بر اهمیت جریان به درون فسفر و جذب آن توسط گیاه نیشکر انجام گرفته است که می‌تواند نقش موثری در مدیریت مصرف کود فسفر در مزارع نیشکر داشته باشد. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی کارایی مصرف کود فسفر نیشکر (واریته CP69–1062) و اثر اسید هیومیک بر جذب و جریان به درون فسفر با تأکید بر وضعیت سیستم ریشه به منظور بهبود عملکرد محصول و مدیریت کوددهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در تحقیق حاضر از لایه سطحی خاک (۳۰ – صفر سانتی‌متر) یکی از مزارع نیشکر واقع در شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی (48º 36′ E , 30º 59′ N) جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک، هوا خشک شده و پس از خرد کردن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک به روش‌های متداول آزمایشگاهی تعیین شد (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتری (۳) و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید (۱۵) اندازه‌گیری شدند. pH خاک با استفاده از نسبت خاک به آب ۱ به ۲ تعیین شد. کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون تر (۱۹) و فسفر قابل استفاده توسط استخراج با بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال (۲۰) تعیین شدند.

در این تحقیق از دو فاکتور کود فسفر (در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی (معادل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)) و اسید هومیک (به روش غوطه‌وری در سه سطح صفر، ۰/۳ و ۰/۵ درصد) در سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی استفاده شد و در دو زمان مختلف (۴۵ و ۹۰ روز پس از کشت) برداشت گیاه انجام شد.

به منظور کاهش صدمات ناشی از بافت سنگین خاک در هنگام جداسازی ریشه‌ها در زمان برداشت، خاک مورد استفاده با نسبت ۱:۱ با شن شسته شده مخلوط شد. به منظور اجرای آزمایش گلخانه‌ای از گلدان‌های استوانه‌ای شکل با قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر استفاده گردید. قبل از کشت گیاه، کود فسفر در سه سطح صفر، ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل به خاک درون گلدان‌ها اضافه شد که به ترتیب به صورت P_0، P_{50} و P_{100} نشان داده شده‌اند. قلمه‌های نیشکر از رقم تجاری CP69–1062 به مدت ۳۰ دقیقه در محلول‌های صفر (آب) (H_0)، ۰/۳ ($H_{0.3}$) و ۰/۵ ($H_{0.5}$) درصد اسید هیومیک غوطه‌ور شدند و سپس در هر گلدان یک قلمه در عمق ۵ سانتی‌متری از سطح خاک کشت شد. کود نیتروژن نیز به صورت اوره به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار برای همه تیمارها در دو مرحله، به همراه آب آبیاری (نیمی در مرحله چهار برگی و نیم دیگر کود یک ماه پس از کشت) مصرف شد. به منظور حفظ رطوبت گلدان‌ها در حدود ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، آبیاری گلدان‌ها به فاصله زمانی دو روز یکبار انجام شد. به منظور بررسی اینفلاکس فسفر و تأثیر اسید هیومیک بر آن، گیاه نیشکر در دو زمان ۴۵ و ۹۰ روز پس از کشت، برداشت شد.

در هر یک از زمان‌های برداشت، ابتدا ارتفاع گیاه از سطح خاک تا سومین برگ انتهایی به روش کراپ لاگ[1] (۲۸) اندازه‌گیری شد. سپس گیاه از سطح خاک بریده شده و پس از حذف ذرات خاک، توزین شد و به منظور تعیین وزن خشک قسمت هوایی گیاه، نمونه‌ها در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. فسفر نمونه‌های خشک شده گیاه پس از آسیاب به روش میلر استخراج شده (۱۷) و مقدار آن با روش مورفی و رایلی (۱۸) تعیین شد. جذب فسفر از حاصلضرب غلظت فسفر در وزن خشک اندام هوایی گیاه بدست آمد.

به منظور بررسی مورفولوژی ریشه گیاه، خاک درون گلدان‌ها به طور کامل تخلیه شده و ریشه گیاه به دقت از خاک خارج شد و در چند مرحله با آب بر روی الک کاملاً شسته شد تا ذرات خاک چسبیده به آن جدا شوند. طول ریشه با استفاده از روش برخورد خطوط متقاطع (۲۹) اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین طول تارهای کشنده، نمونه‌های ریشه (با طول حدود یک سانتی‌متر) به دقت جداسازی شدند و در محلول ۱۵ درصد الکل در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. از نمونه‌های ریشه پس از رنگ‌آمیزی و تهیه اسلاید، با میکروسکوپ مجهز به دوربین (مدل Nikon E600) تصاویری با دقت ۲۰۰ میکرومتر تهیه شد. سپس تصاویر بدست آمده به منظور تعیین طول تارهای کشنده توسط نرم‌افزار ایمیج جی[2] مورد تجزیه و تحلیل قرار

1- Crop logging
2- ImageJ

گرفتند. ریشه گیاه نیز همانند قسمت هوایی گیاه، خشک شده و وزن خشک آن اندازه‌گیری شد. ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه نیز با استفاده از روش کروک (۸) بر اساس استفاده از محلول اسیدکلریدریک ضعیف و سپس جایگزینی یون‌های هیدروژن و اندازه‌گیری تغییرات pH محلول اندازه‌گیری شد. مقدار جریان به درون فسفر (اینفلاکس) با استفاده از فرمول ویلیامز (۱۳) محاسبه شد.

$$I_n = \frac{U_2 - U_1}{RL_2 - RL_1} \times \frac{\ln\left(\frac{RL_2}{RL_1}\right)}{t_2 - t_1} \quad (۱)$$

که در آن I_n اینفلاکس ($mol\ cm^{-1}s^{-1}$)، U جذب فسفر (mol P $plant^{-1}$)، RL طول ریشه (cm) و t زمان بین دو برداشت (s) می‌باشند. اندیس‌های ۱ و ۲ نیز مربوط به زمان‌های برداشت اول و دوم هستند.

تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار Minitab (version 16.0, Minitab Inc., State College, PA, USA) انجام شد و به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح ۵ درصد استفاده گردید. شکل‌ها نیز با استفاده از برنامه MS-Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

آنالیز خاک

خاک مورد استفاده در این تحقیق دارای اسیدیته حدوداً قلیایی و مقدار کربنات کلسیم بالا می‌باشد. همچنین مقدار فسفر قابل دسترس خاک کم بوده و محتوای کربن آلی اندکی دارد که از ویژگی‌های خاک مناطق خشک و نیمه خشک است (جدول ۱).

جدول ۱ – نتایج تجزیه خاک مورد استفاده در تحقیق

Table 1- Chemical and physical properties of the soil

بافت خاک	رس	سلیت	شن	کربن آلی	فسفر قابل استفاده	نیتروژن کل	پتاسیم قابل استفاده	کربنات کلسیم		هدایت الکتریکی عصاره اشباع
Texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	OC (%)	Olsen-P ($mg.kg^{-1}$)	N ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)	$CaCO_3$ (%)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)
Sandy Loam	14	21	65	0.18	3.6	420	186	32.5	8.03	3.52

ارتفاع اندام هوایی

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که در برداشت اول، هر دو تیمار کود فسفر و اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری را در ارتفاع اندام هوایی گیاه داشتند در حالی‌که در برداشت دوم فقط تأثیر اسید هیومیک بر ارتفاع اندام هوایی گیاه نیشکر معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی (جدول ۳) توسط آزمون توکی نشان داد که در تیمارهای اسید هیومیک در برداشت اول، تیمارهای $H_{0.3}$ و $H_{0.5}$ ارتفاع اندام هوایی را در مقایسه با تیمار H_0 به طور معنی‌داری افزایش دادند. در تیمار کود فسفر، بیشترین ارتفاع اندام هوایی گیاه با ۲۹/۶۲ سانتی‌متر به تیمار P_{100} تعلق داشت و پس از آن تیمار P_{50} اختلاف معنی‌داری را با تیمار P_0 نشان داد. در دومین زمان برداشت، تیمار $H_{0.3}$ با ۱۸ درصد افزایش در ارتفاع اندام هوایی در مقایسه با تیمار H_0 منجر به اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد شد. در شرایط عدم مصرف کود فسفر، استفاده از اسید هیومیک با غلظت ۰/۳ درصد ($P_0H_{0.3}$)، ارتفاع گیاه را در مقایسه با تیمار P_0H_0 حدود ۶۰ درصد افزایش داد در حالی‌که مقدار افزایش در تیمار $P_0H_{0.5}$ حدود ۵۴ درصد بود. این در حالی است که در دومین زمان برداشت، تیمارهای $P_0H_{0.3}$ و $P_0H_{0.5}$ به ترتیب ۲۱ و ۱۷ درصد افزایش ارتفاع گیاه را در مقایسه با تیمار شاهد موجب شدند.

وزن خشک اندام هوایی

بررسی اثر تیمارها در جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که تیمارهای اسید هیومیک و کود فسفر در هر دو زمان برداشت گیاه، تأثیر معنی‌داری را در وزن خشک اندام هوایی داشتند. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها در جدول ۳ نشان می‌دهد که در اولین زمان برداشت، استفاده از اسید هیومیک در هر دو غلظت ۰/۳ و ۰/۵ درصد منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی گیاه در مقایسه با تیمار H_0 گردید در حالی‌که بیشترین تأثیر با وزن ۸/۵۴ گرم به تیمار $H_{0.3}$ تعلق داشت. همچنین نتایج استفاده از کود فسفر نشان داد که تیمار P_{100} سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی گیاه در مقایسه با تیمار P_0 شد در حالی‌که اختلاف تیمار P_{50} با تیمار شاهد معنی‌دار نبود. نتایج تأثیر اسید هیومیک در وزن خشک اندام هوایی در دومین زمان برداشت مشابه زمان اول برداشت بود. تیمارهای $H_{0.3}$ و $H_{0.5}$ به ترتیب سبب افزایش ۳۴ و ۲۹ درصد وزن خشک اندام هوایی نیشکر در مقایسه با تیمار H_0 شدند (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کود فسفر و اسید هیومیک بر خصوصیات گیاهی و جذب فسفر گیاه نیشکر در ۴۵ و ۹۰ روز پس از کشت

Table 2- Variance analysis effects of humic acid and phosphorus fertilizer on plant characteristics and phosphorus uptake in sugarcane at 45 and 90 days after planting (DAP)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن ریشه (گرم) Root weigh (g)		طول ریشه (متر) Root length (m)		وزن ساقه (گرم) Shoot weigh (g)		ارتفاع ساقه (سانتی متر) Shoot height (cm)		طول تار کشنده (سانتی‌متر) Root hair length (cm)	ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه (سانتی‌مول بر گرم) Root CEC ($Cmol\ g^{-1}$)		جذب فسفر (میلی گرم فسفر در گیاه) P uptake ($mg\ P\ plant^{-1}$)	
		45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP	45 DAP	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP
کود فسفر P	2	1.039**	1.49*	1343.46**	3937.00**	5.74*	21.3**	42.51*	14.37^{ns}	0.0004^{ns}	0.50^{ns}	6.09^{ns}	26.72*	120.85*
اسید هیومیک Humic acid	2	2.99**	4.74**	5125.22**	17476.22**	39.18**	172.25**	71.38**	54.84**	0.0368**	10.80^{ns}	14.18*	63.53**	210.00**
کود فسفر × اسید هیومیک P × Humic acid	4	0.3537^{ns}	0.29^{ns}	85.19^{ns}	499.44^{ns}	1.837^{ns}	5.35^{ns}	5.57^{ns}	1.06^{ns}	0.0004^{ns}	1.6^{ns}	2.88^{ns}	2.42^{ns}	12.76^{ns}
خطا Error	12	0.0930	0.40	11.76	567.34	1.093	1.60	12.03	4.55	0.0008	2.20	3.74	2.87	14.25

^{ns}غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵٪ ** معنی‌دار در سطح ۱٪

^{ns} Non significant, * significant at 5%, ** significant at 1%.

استفاده از کود فسفر در دومین زمان برداشت منجر به اختلاف معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نیشکر در مقایسه با تیمار شاهد گردید به طوری که بیشترین مقدار وزن خشک در تیمارهای P_{50} و P_{100} با مقادیر ۳۵ و ۳۴/۸۲ گرم، مشاهده شد. در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی فسفر، اختلاف وزن خشک اندام هوایی نیشکر در مصرف اسید هیومیک نسبت به عدم مصرف آن در اولین زمان برداشت معنی‌دار بود در حالی‌که در دومین زمان برداشت این اختلاف معنی‌دار نبود. بنابراین وزن خشک اندام هوایی به‌ویژه تحت تأثیر تیمارهای اسید هیومیک افزایش معنی‌داری را نسبت به عدم مصرف اسید هیومیک در هر دو زمان برداشت نشان داد. این نتایج را می‌توان به نقش اسید هیومیک در بهبود تنفس، فتوسنتز و جذب اکسیژن به وسیله گیاه و در نتیجه افزایش رشد گیاه نسبت داد (۲۴ و ۲۱). علاوه بر این تأثیر اسید هیومیک بر مکانیسم‌های تقسیم سلولی، که به خصوصیات شبه اکسین اسید هیومیک و نقش آن در افزایش فعالیت آنزیم ATPase (۶) نسبت داده می‌شود، می‌تواند افزایش ارتفاع و وزن گیاه و در نهایت عملکرد گیاه را توضیح دهد. انتقال فسفر از اندام‌های زیرزمینی به اندام‌های هوایی در هر دو برداشت در تیمارهای اسید هیومیک ، به دلیل تسهیل حرکت فسفر در درون گیاه می‌تواند منجر به رشد بهتر اندام‌های هوایی شده است (۱).

طول ریشه

افزایش طول ریشه به طور معنی‌داری و در سطح یک درصد با افزودن کود فسفر و اسید هیومیک در هر دو زمان برداشت رخ داد در حالی‌که اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که در ۴۵ روز پس از کشت، تیمارهای اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار طول ریشه نیشکر شدند به طوری‌که در تیمار $H_{0.3}$ طول ریشه به مقدار ۱۲۰ درصد و در تیمار $H_{0.5}$ به مقدار ۷۷ درصد در مقایسه با تیمار H_0 افزایش یافت. افزایش طول ریشه در تیمار کود فسفر در مقایسه با اسید هیومیک کمتر بود به طوری‌که تیمارهای P_{100} و P_{50} به ترتیب طول ریشه گیاه را ۳۱ و ۳۵ درصد در مقایسه با تیمار P_0 افزایش دادند. این اختلاف بین اثر اسید هیومیک و کود فسفر در افزایش طول ریشه گیاه در ۹۰ روز پس از کشت نیز مشاهده شد (جدول ۳). در دومین زمان برداشت، تیمارهای $H_{0.3}$ و $H_{0.5}$ به ترتیب سبب ۵۳ و ۵۲/۵ درصد افزایش در طول ریشه در مقایسه با تیمار شاهد (H_0) شدند در حالی‌که تیمارهای P_{100} و P_{50} در مقایسه با تیمار P_0 به مقدار ۱۷/۵ و ۱۹ درصد طول ریشه را افزایش دادند. بنابراین نتایج گویای تأثیر بیشتر اسید هیومیک در مقایسه با کود فسفر در ایجاد ریشه‌های طولانی‌تر بود و از میان تیمارهای اسید هیومیک نیز تیمار $H_{0.3}$ دارای بیشترین تأثیر بود. همچنین در شرایط کمبود فسفر قابل دسترس خاک (بدون مصرف کود شیمیایی)، استفاده از اسید هیومیک طول ریشه گیاه نیشکر را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش داد.

وزن ریشه

تیمارهای کود فسفر و اسید هیومیک ، هر دو تأثیر معنی‌داری در افزایش وزن ریشه گیاه نشان دادند در حالی اثر متقابل هر دو تیمار معنی‌دار نبود (جدول ۲). در اولین زمان برداشت گیاه، از بین تیمارهای اسید هیومیک ، تیمار $H_{0.3}$ با مقدار ۲/۳۸ گرم دارای بیشترین مقدار وزن ریشه بود که پس از آن تیمارهای $H_{0.5}$ و H_0 به ترتیب با مقادیر ۱/۸۱ و ۱/۱۲ گرم قرار داشتند. در تیمارهای کود فسفر، تیمار P_{100} با ۵۱ درصد افزایش، اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد (P_0) نشان داد در حالی که اختلاف تیمار P_{50} با تیمار شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی در ۹۰ روز پس از کشت نشان دهنده تاثیر معنی‌دار تیمار $H_{0.3}$ در افزایش وزن ریشه گیاه در مقایسه با تیمار H_0 بود. اضافه کردن کود فسفر در تیمار P_{50} نیز منجر به افزایش مقدار وزن خشک ریشه گیاه در مقایسه با تیمار شاهد گردید.

ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه

اضافه کردن کود شیمیایی فسفر تأثیر معنی‌داری در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه نیشکر در برداشت اول و دوم از خود نشان نداد در حالی‌که تیمار اسید هیومیک فقط در برداشت دوم دارای نتایج معنی‌داری بود و نیز اثر متقابل کود فسفر و اسید هیومیک در ۴۵ و ۹۰ روز پس از کشت غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی (جدول ۳) نشان می‌دهد که در برداشت دوم، تیمارهای $H_{0.3}$ و $H_{0.5}$ به ترتیب با ۱۰ و ۹/۵ درصد افزایش در ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه نیشکر در مقایسه با تیمار H_0 سبب افزایش معنی‌داری در این پارامتر شدند. افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه به ویژه تحت تاثیر استفاده از اسید هیومیک را می‌توان به افزایش طول و گسترش ریشه و در نتیجه افزایش سطوح تبادلی و جذب ریشه نسبت داد که با تحقیقات الگابالی و همکاران (۱۹۴۹) مطابقت دارد (۱۰). افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه می‌تواند به تفسیر نتایج مربوط به بهبود فاکتورهای گیاهی و جذب فسفر نیز کمک کند، البته ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه یک فاکتور وابسته به رقم بوده و بهبود آن نیز می‌تواند به عنوان نشانه‌ای برای افزایش عملکرد باشد.

تارهای کشنده

بر خلاف سایر فاکتورهای اندازه‌گیری شده (مانند طول ریشه، وزن خشک ریشه، طول تارهای کشنده، ارتفاع ساقه، وزن خشک اندام هوایی و ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه)، طول تارهای کشنده در برداشت اول به طور قابل توجهی بیش از برداشت دوم بود، به‌طوری که اندازه‌گیری آن در برداشت دوم به دلیل تعداد بسیار کم عملاً امکان‌پذیر نبود و به نظر می‌رسید که با گذشت زمان و افزایش طول و قطر ریشه‌های اصلی، تعداد زیادی از تارهای کشنده از بین می‌روند.

جدول ۳- مقایسه میانگین های اثرات اصلی کود فسفر و اسید هیومیک بر خصوصیات اندام هوایی و ریشه گیاه نیشکر در ۴۵ و ۹۰ روز پس از کشت

Table 3- Comparison of means of main effects of humic acid and phosphorus fertilizer on shoot and root characteristics in sugarcane at 45 and 90 days after planting (DAP)

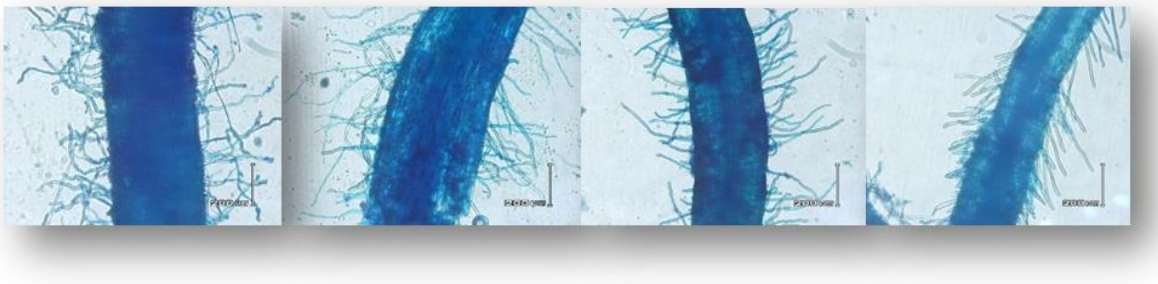
تیمارها Treatments	وزن ریشه (گرم) Root weigh (g)		طول ریشه (سانتی متر) Root length (cm)		وزن خشک اندام هوایی (گرم) Shoot dry matter (g)		ارتفاع اندام هوایی (سانتی‌متر) Shoot height (cm)		طول تار کشنده (میلی متر) Root hair length (mm)	ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه (سانتی‌مول بر گرم) Root CEC (Cmol g^{-1})		جذب فسفر (میلی گرم فسفر در گیاه) P uptake (mg P $plant^{-1}$)	
	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP	45 DAP	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP
H_0	1.12^{c}	10.21^{c}	4406^{c}	17529.45^{c}	4.28^{b}	28.07^{b}	21.92^{b}	31.96^{c}	0.22^{b}	27.75^{b}	27.28^{b}	6.53^{a}	31.52^{b}
$H_{0.3}$	2.38^{a}	11.83^{a}	9681^{a}	26907.65^{a}	8.54^{a}	37.62^{a}	31.34^{a}	37.70^{a}	0.36^{a}	28.97^{ab}	29.94^{a}	11.38^{b}	42.2^{a}
$H_{0.5}$	1.81^{b}	11.59^{ab}	7799.3^{b}	26740.82^{a}	7.91^{a}	36.15^{a}	29.56^{a}	36.23^{ab}	0.34^{a}	29.22^{a}	29.88^{a}	11.30^{a}	40.65^{a}
P_0	1.44^{b}	10.66^{b}	5982^{b}	21169.56^{b}	5.97^{b}	31.34^{b}	25.54^{b}	33.83^{a}	0.31^{a}	28.50^{a}	28.05^{a}	8.00^{b}	33.86^{b}
P_{50}	1.69^{b}	11.54^{a}	8095^{a}	25128.96^{a}	7.05^{ab}	35.00^{a}	27.66^{a}	35.94^{a}	0.31^{a}	28.33^{a}	29.06^{a}	9.19^{b}	38.68^{a}
P_{100}	2.18^{a}	11.43^{ab}	7808.7^{a}	24879.4^{a}	7.71^{a}	34.82^{a}	29.62^{a}	36.12^{a}	0.32^{a}	28.45^{a}	30.00^{a}	11.82^{a}	41.67^{a}

میانگین اعداد با حروف غیرمشابه در هر ستون مطابق با آزمون توکی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست.

In each column, the means with dissimilar letters are significant different at $P < 0.05$ (Tukey method)

H_0 ، $H_{0.3}$ و $H_{0.5}$:به ترتیب تیمارهای ۰، ۰/۳ و ۰/۵ درصد محلول اسید هیومیک. P_0، P_{50} و P_{100}: به ترتیب تیمارهای ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود فسفر

H_0, $H_{0.3}$ and $H_{0.5}$ indicate 0, 0.3 and 0.5% humic acid solution, respectively; P_0, P_{50} and P_{100} indicate control (0%), 50 and 100% P fertilizers, respectively.



a b c d

شکل ۱- تارهای کشنده در الف) تیمارهای اسید هیومیک (بدون فسفر)، ب) تیمارهای اسید هیومیک و مصرف فسفر، پ) تیمار کود فسفر (بدون اسید هیومیک) و ت) تیمار شاهد

Figure 1- Root hair lenght in: a) Humic acid treatment (without P fertilizer); b) Humic acid and P fertilizer treatment; c) P fertilizer treatment (without humic acid) and d) No humic acid and P fertilizer (control)

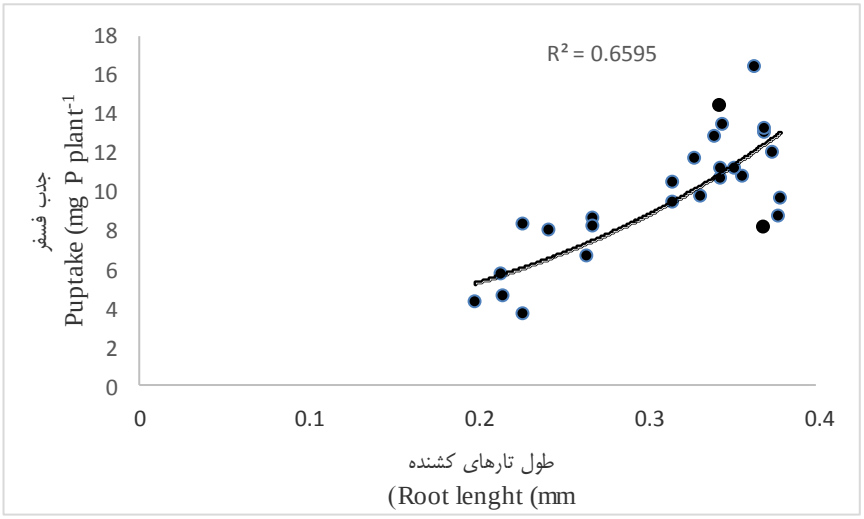
نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که در ۴۵ روز پس از کشت، فقط تیمار اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری در طول تارهای کشنده نشان داد در حالی که تاثیر کود فسفر و اثر متقابل تیمارها نیز معنی‌دار نشد. بررسی اثرات اصلی تیمارها در برداشت اول (جدول ۳) نشان می‌دهد که استفاده از هر دو غلظت اسید هیومیک (۰/۳ و ۰/۵ درصد) سبب افزایش معنی‌دار طول تارهای کشنده به مقدار ۶۴ و ۵۵ درصد به ترتیب در تیمارهای $H_{0.3}$ و $H_{0.5}$ در مقایسه با تیمار شاهد شد. نتایج تحقیق اثر اسید هیومیک بر طول ریشه (۵ و ۶) نشان داد که اثرات اسید هیومیک را می‌توان به نقش آن بر سلول‌های مریستمی متراکم ریشه که مسئول تولید تارهای کشنده هستند مربوط دانست. به عبارت دیگر اثر القایی بر سایت‌های میتوتیک و افزایش فعالیت آنزیم H^+-ATPase باعث افزایش طول و تراکم تارهای کشنده می‌شود. بنابراین با افزایش تارهای کشنده، تحت تأثیر استفاده از اسید هیومیک، سطح جذب فسفر در ریشه نیشکر افزایش یافته که می‌تواند منجر به افزایش مقدار جذب فسفر در گیاه شود.

جذب فسفر

جذب فسفر توسط گیاه نیشکر تحت تأثیر تیمارهای کود فسفر و اسید هیومیک به مقدار معنی‌داری افزایش یافت در حالی‌که اثر متقابل این دو تیمار بر جذب فسفر معنی‌داری نبود (جدول ۲). در زمان ۴۵ روز پس از کشت، هر دو تیمار $H_{0.3}$ و $H_{0.5}$ مقدار جذب فسفر را به طور معنی‌داری (به ترتیب ۷۴ و ۷۳ درصد) در مقایسه با تیمار H_0 افزایش دادند (جدول ۳). این در حالی است که از تیمارهای کود فسفر، تیمار P_{100} با ۴۸ درصد افزایش در مقایسه با تیمار P_0 توانست اثر معنی‌داری را در جذب فسفر گیاه نشان دهد. در دومین زمان برداشت نیز، استفاده از اسید هیومیک با غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۵ درصد توانست مقدار جذب فسفر را در مقایسه با عدم مصرف اسید هیومیک به ترتیب ۳۴ و ۲۹ درصد افزایش دهد. اضافه کردن کود فسفر نیز منجر به افزایش جذب فسفر به مقدار ۲۳ و ۱۴ درصد به ترتیب در تیمارهای P_{100} و P_{50} در مقایسه با تیمار شاهد گردید. نرخ جذب فسفر در هر دو زمان برداشت با افزایش مصرف کود فسفر افزایش نشان داد که این یافته با تحقیقات برونا و همکاران (۲۰۱۶) نیز مطابقت دارد (۴). بنابراین نتایج نشان می‌دهد که در هر دو زمان برداشت، تأثیر اسید هیومیک مورد استفاده در افزایش مقدار جذب فسفر توسط نیشکر بیشتر از کود شیمیایی فسفر بود. بنابراین تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق و بویژه اسید هیومیک قادر به افزایش مقدار جذب فسفر گیاه در مقایسه با تیمار شاهد بودند که می‌تواند به عنوان عامل مؤثری در افزایش عملکرد گیاه نقش ایفا کند. نتایج مشابهی نیز برای سایر محصولات نظیر گندم گزارش شده است (۳۱). نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که جذب فسفر به وسیله گیاه، تحت تأثیر طول ریشه و همچنین تارهای کشنده قرار گرفت و همبستگی خوبی نیز بین جذب فسفر با طول ریشه و طول تارهای کشنده مشاهده شد (شکل‌های ۲ و ۳). بنابراین افزایش جذب فسفر توسط گیاه نیشکر در تیمارهای اسید هیومیک می‌تواند به رشد و گسترش بهتر ریشه و تارهای کشنده بستگی داشته باشد. همچنین مصرف اسید هیومیک در خاک‌های قلیایی می‌تواند حلالیت فسفر در آب و بنابراین جذب آن به‌وسیله گیاه را افزایش دهد (۳۲، ۳۰، ۲۵ و ۱۶). یافته‌های بدست آمده در این تحقیق با این فرضیه که اسید هیومیک تحرک فسفر و قابلیت دسترسی فسفر توسط ریشه گیاه را افزایش می‌دهد (۲۷، ۱۲ و ۲) تطابق ندارد و احتمالاً عامل اصلی جذب بیشتر فسفر در تیمارهای اسید هیومیک ، تاثیر این ماده بر سیستم ریشه گیاه باشد.

جریان فسفر به درون گیاه (اینفلاکس)

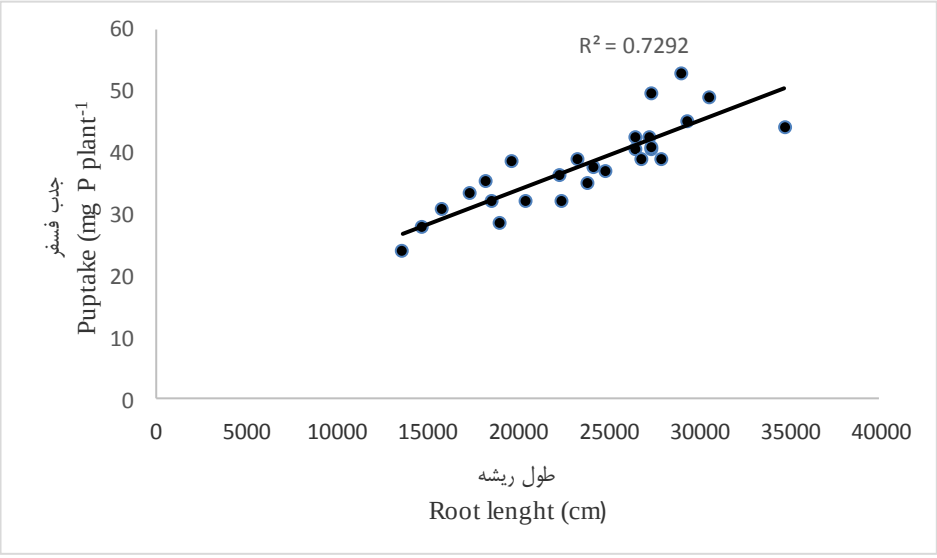
شکل ۴، مقدار جریان فسفر به درون گیاه در تیمارهای مختلف در دوره بین دو زمان برداشت را نشان می‌دهد. در تیمار شاهد (P_0H_0) مقدار اینفلاکس به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای دیگر است. بنابراین استفاده از کود فسفر و اسید هیومیک منجر به کاهش مقدار جریان فسفر به درون به ریشه گیاه نیشکر شدند.



شکل ۲- همبستگی بین جذب فسفر و طول تارهای کشنده

Figure 2- Correlation between shoots phosphorus uptake and root hair length

بر پایه نتایج جدول تجزیه واریانس و جدول مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها (جداول ۴ و ۵)، میزان ورود فسفر به گیاه در واحد زمان یا جریان فسفر به درون گیاه، در تیمارهای بدون و با مصرف اسید هیومیک با افزایش مقدار مصرف کود فسفر اختلاف معنی‌داری نشان نداد که این مطلب با تحقیقات خراسانی و همکاران (۲۰۱۲) انطباق دارد (۱۳). نتایج جریان فسفر به درون گیاه ارتباط کاملاً مشخصی با نتایج رشد ریشه در تیمارها دارد و به عبارت دیگر نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که جریان فسفر به درون گیاه با رشد ریشه رابطه معکوس داشته است (شکل ۵). به دلیل تأثیر بیشتر اسید هیومیک در رشد و گسترش ریشه، موجب افزایش معنی‌دار طول و وزن ریشه نسبت به سایر تیمارها گردید. به علت محاسبه اینفلاکس در واحد طول ریشه، با افزایش رشد و گسترش ریشه، اگرچه میزان جذب کل فسفر افزایش یافته بود، میزان جذب فسفر در واحد طول ریشه کاهش یافت. به عبارت دیگر افزایش معنی‌دار طول و در نتیجه سطح جذب ریشه در اثر کاربرد اسید هیومیک موجب کاهش نرخ ورود فسفر در واحد طول ریشه، با وجود افزایش جذب کل این عنصر شد. بنابراین افزایش جذب در این تیمارها تابعی از افزایش طول ریشه و نه جریان فسفر به درون گیاه بود و عدم انطباق جذب و جریان فسفر به درون گیاه می‌تواند به کارایی جذب گیاه و حتی رقم گیاه نیشکر، با توجه به سهم طول ریشه در واکنش به کوددهی مربوط باشد (۱۳).



شکل ۳- همبستگی بین جذب فسفر و طول ریشه

Figure 3- Correlation between shoots phosphorus uptake with root length

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کود فسفر و اسید هیومیک بر جریان ورود فسفر به درون گیاه نیشکر

Table 2- Variance analysis effects of humic acid and phosphorus fertilizer on phosphorus influx in sugarcane

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	جریان ورود فسفر به درون Influx ($mol.cm^{-1}g^{-1}$)
کود فسفر P	2	1.5^{**}
اسید هومیک Humic acid	2	0.08^{ns}
کود فسفر × اسید هومیک P × Humic acid	4	0.09^{ns}
خطا Error	12	0.06

^{ns}غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ** معنی‌دار در سطح ۱٪

^{ns} Non significant, * significant at 5%, ** significant at 1%.

جدول ۳- مقایسه میانگین های اثرات اصلی کود فسفر و اسید هیومیک بر بر جریان ورود فسفر به درون گیاه نیشکر

Table 3- Comparison of means of main effects of humic acid and phosphorus fertilizer on phosphorus influx in sugarcane

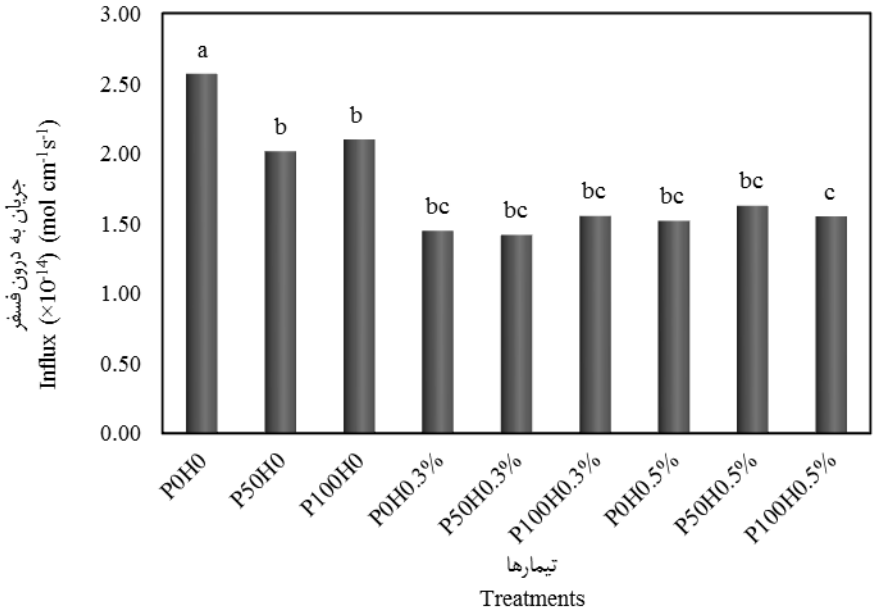
تیمارها Treatments	جریان ورود فسفر به درون Influx ($mol.cm^{-1}g^{-1}$)
H_0	2.24^a
$H_{0.3}$	1.59^b
$H_{0.5}$	1.81^b
P_0	1.89^b
P_{50}	1.70^b
P_{100}	1.73^b

میانگین اعداد با حروف غیرمشابه در هر ستون مطابق با آزمون توکی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست.

In each column, the means with dissimilar letters are significantly different at $P < 0.05$ (Tukey method).

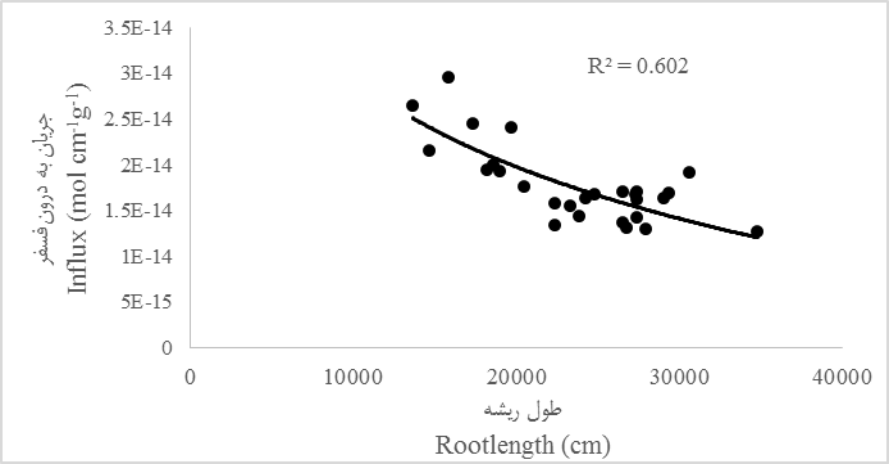
H_0 ، $H_{0.3}$ و $H_{0.5}$:به ترتیب تیمارهای ۰، ۰/۳ و ۰/۵ درصد محلول اسید هومیک. P_0، P_{50} و P_{100}: به ترتیب تیمارهای ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود فسفر

H_0, $H_{0.3}$ and $H_{0.5}$ indicate 0, 0.3 and 0.5% humic acid solution, respectively; P_0, P_{50} and P_{100} indicate control (0%), 50 and 100% P fertilizers, respectively.



شکل ٤- اینفلاکس فسفر در تیمارهای مختلف

Figure 4- Phosphorus influx in different treatments



شکل ۵- رابطه بین اینفلاکس فسفر و طول ریشه در برداشت دوم

Figure 5- Correlation between phosphorus Influx and root length in the second harvest

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر تیمارهای اسید هیومیک و کود فسفر بر روی خصوصیات گیاهی و جذب فسفر بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که کاربرد اسید هیومیک در زمان کشت و به شکل غوطه‌ورسازی قلمه‌ها در محلول اسید هیومیک می‌تواند در خصوصیات مورفولوژیکی ریشه گیاه مؤثر باشد و البته در بسیاری موارد این نتایج با استفاده توأم کود فسفر و اسید هیومیک مؤثرتر بود. به طور خلاصه می‌توان گفت که مصرف اسید هومیک باعث افزایش معنی‌دار طول سیستم ریشه و تارهای کشنده شد و در نتیجه جذب فسفر در این تیمارها افزایش معنی‌داری یافت. بنابراین اسید هیومیک ظرفیت جذب فسفر از خاک و منابع کودی را از طریق افزایش طول ریشه، بهبود می‌بخشد. به دلیل افزایش جذب فسفر در تیمارهای مصرف توام اسید هیومیک و کود فسفر می‌توان انتظار داشت که با استفاده از این ترکیب آلی و اعمال مدیریت صحیح و آگاهانه در سیستم کوددهی مزارع نیشکر در زمان کشت، مصرف کود فسفر کاهش یابد. اگرچه نتایج این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که کاربرد اسید هیومیک در شرایط عملی و اجرایی می‌تواند در زمان کشت مزارع نیشکر مورد استفاده قرار گیرد، اما به نظر می‌رسد مطالعات بیشتری هنوز باید در زمینه سایر جنبه‌های مهم این تحقیق نظیر کاربرد اسید هیومیک در دوره داشت گیاه، شکل‌های دیگر استفاده نظیر محلول‌پاشی، کاربرد خاکی، استفاده در آب آبیاری و بالاخره ملاحظات اقتصادی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

1- AbdulMatin Md., Kazuhlro OYA., Toshlya Sh., and Tsuyoshl H. 1997. Phosphorus Nutrition of Sugarcane: Growth, Yield and Quality of Sugarcane as Affected by Soil Phosphorus Levels. Journal of Tropical Agriculture 2: 52-59.

2- Bezerra PSS., Prado RM., and Shigaki F. 2015. Natural phosphate and humic substances applied in Quartzipsamment and Kandiudult cultivated with Sugar Cane. Journal of Agriculture and Environmental Sciences 2: 153-163.

3- Bouyoucos GJ. 1961. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomic Journal 54: 464-465.

4- Bruna A., Marcos R., Amin S., Alan ER., Fernando DA., and Paulo SP. 2016. Biological and morphological traits of sugarcane roots in relation to phosphorus uptake. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 4: 901-915.

5- Busato JG., Zandonadi DB., Dobbss LB., Façanha AR., and Canellas LP. 2010. Humic substances isolated from residues of Sugar cane industry as root growth promoter. Science Agriculture 2: 206-212

6- Canellas LP., and Olivares FL. 2014. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. Chemical and Biological Technologies in Agriculture 3: 1-12.

7- Chiranjeevi R., Krishnamurthy TN., and Thuljaram R.J. I967. Cation-exchange capacity of roots and yield potential in sugarcane. Proceeding of Plant and Soil XXVII, Sugarcane breeding institute, Coimbatore, India, 3: 314-318.

8- Crooke WM. 1964. The measurement of the cation-exchange capacity of plant roots. Plant Soil 2: 43–44.

9- Demattê JAM., Silva MLS., Rocha GC., Carvalho LA., Formaggio AR., and Firme LP. 2005. Variações espectrais em solos submetidos à aplicação de torta de filtro. Revista Brasileira de Ciência do Solo 29: 317-326.

10- Elgabaly MM., and Wiklander L. 1949. Donnan equilibria in plant nutrition. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2: 1266-1273.

11- Govindasmy R., and Chandrasekaran S. 1995. Effect of humic acids on the growth, yield and nutrient content of sugarcane. The Science of Total Environment 118: 578-581.
12- Gullo M.J.M. 2007. Use of the foundation soil conditioners humic acid in sugar cane crop (*Saccharum* spp.). Piracicaba. 2010: 174. Graduate school Dissertacion (M.Sc in Agronomy-Area of Concentration: Crop Science).
13- Khorassani R., Azizi M., and Rahmani H. 2012. Study of Phosphorus Acquisition Ability in Medicinal Plants of Salvia virgata, Achillea millefolium and Ziziphora clinopodioides Lam in Low Phosphorus Soils. Journal of Water and Soil 6:1483-1491. (In Persian with English abstract)
14- Lamattina L., García-Mata C., Graziano M., and Pagnussat GC. 2003. Nitric oxide: the versatility of an extensive signal molecule. Annual Revision Plant Biology 54: 109–136.
15- Loeppert HL., and Suarez DL. 1996. Carbonate and gypsum. Methods of Soil Analysis. SSSA, 3: 437-474.
16- Martinez MT., Romero C., and Gaviu NJ. 1984. Solubilization of phosphorus by humic acids from lignite. Soil Science 138: 257-261.
17- Miller RO. 1998. Determination of dry matter content of plant tissue: gravimetric moisture. Handbook of reference methods for plant analysis 1: 57-61.
18- Murphy J., and Riley JP. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytical Chemical Acta 27: 31-36.
19- Nelson DW., and Sommers LE. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. Methods of Soil Analysis. Part III. SSSA. Madison, 3: 961-1010.
20- Olsen SR., Cole CV., Watanabe ES., and Dean LA. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agriculture 939: 18-19.
21- Pizzeghello D., Francioso O., Ertani A., Muscolo A., and Nardi S. 2013. Isopentenyladenosine and cytokinin-like activity of different humic substances. Journal of Geochemistry 129: 70-75.
22- Puglisi E., Fragoulis G., 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.
23- 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.
24- Sellamuthu KM., and Govindaswamy M. 2003. Effect of fertiliser and humic acid on rhizosphere microorganisms and soil enzymes at an early stage of sugarcane growth. Agronomy Series, Ed., C.A. Black. Madison, Wisconsin 9: 1149-1178.
25- Sinha MK. 1971. Organo-metallic phosphates I. Interaction of phosphorus compounds with humic substances. Plant and Soil 35: 471-484.
26- Šmejkalová D., and Piccolo A. 2008. Aggregation and disaggregation of humic supramolecular assemblies by NMR diffusion ordered spectroscopy (DOSY-NMR). Environment Science Technology 42: 699–706.
27- Stamford NP., Santos CERS., Stamfordand WPJ., and Dias SHL. 2006. Rock biofertilizers with Acidithiobacillus on sugarcane yield and nutrient uptake in a Brazilian soil. Geo Microbiology Journal 23: 261-265.
28- Sund K., and Clements H. 1974. Production of sugarcane under saline desert conditions in Iran 1: 1-65.
29- Tennant D. 1975. A test of a modified line intercepts method of estimating root length. Journal of Ecology Eco 63: 995-1001.
30- Vahap Katka A., Çelik H., Murat AT., and Asik BB. 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 2: 1266-1273.
31- Wang XJ., Wang ZQ., and Li SG. 1995. The effect of humic acids on the availability of phosphorus fertilizers in alkaline soils. Soil Use and Management 1: 99-102.
32- Weir Cc., and Soper RJ. 1963. Interaction of phosphates with ferric organic complexes. Canadian Journal of Soil Science 43: 393-399.
33- Zandonadi DB., Santos MP., Dobbss LB., Olivares FL., Canellas LP., Binzel ML., Okorokova-Facanha AL., and Facanha AR. 2010. Nitric oxide mediates humic acids-induced root development and plasma membrane H+-ATPase activation. Planta 231: 1025–1036.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 5, Nov.-Dec. 2019, p. 709-721

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۸، ص. ۷۲۱-۷۰۹

Effects of Humic Acid and Phosphorus Fertilizer on Root, Root Hair, Phosphorus Uptake and Phosphorus Influx in Sugarcane (*Saccharum officinarum*)

H.R. Behravan[1]- R. Khorassani[2]*- A. Fotovat[3]- A.A. Moezei[4]- M. Taghavi[5]

Received: 28-01-2019
Accepted: 02-10--2019

Introduction: Sugarcane cultivation has been revived in Khuzestan province of Iran since the 1960s and due to good results, it gradually began to grow from north to south of this region. Currently, sugarcane is cultivated in more than 100,000 hectares of the provinceand almost 25% of the country needs for sugar arebeing produced in this region. Sugarcane fields of Khuzestan province are mainly rich in lime percentage and poor in organic matter and phosphorus. Soil pH in this region of the country also is about 8-8.5 and phosphorus uptake by plants and phosphorus fertilizer efficiency in these soils (alkaline and calcareous soils) are expected to be low. The optimum use of phosphorus fertilizer and proper phosphorus uptake is essential for the quantitative and qualitative function of sugarcane plants. Due to the very low mobility of phosphorus in the soil, its uptake by plants such as sugar cane is affected by number of soil and plant factors (especially plant root characteristics). Changes in these factors can lead to a reduction or increase of P uptake by the crop.

Materials and Methods: Because of the role of organic compounds in the improvement of mobility and phosphorus uptake, the use of organic material has been considered in many types of research. Organic compounds can play a direct and indirect role in plant factors and in phosphorous uptake improvement. In this regard, a greenhouse pot experiment was conducted in 2016-2017 at Farabi Agro Industry Co, 35 km south of Ahvaz, Iran (48º 36' E, 30º 59' N). This research carried out by using three levels of humic acid (immersion of settes in three concentrations of 0, 0.3 and 0.5% of humic acid) as well as three levels of phosphorus fertilizer (triple super phosphate) 0, 50 % and 100% of the recommended amount in the region (250 kg/ha) in two different harvesting periods (45 and 90 days after planting). The experiment set up as a factorial, based on complete randomized design with three replicates. In this experiment, the effects of different levels of phosphorous fertilizers and humic acid on aerial part (shoot height, shoot dry weight), underground part (root length, root dry weight and root hair length), and also root CEC of sugar cane plant in two harvest times were studied. Finally, uptake and influx of phosphorus in different treatments were investigated.

Results and Discussion: As the results show, although the range of the changes was different, the use of humic acid can improve almost all of these factors. Shoot height, shoot dry weight in humic acid treatments showed a significant increase in both harvests compared to non-used humic acid treatments and also in phosphorus fertilizer treatments as the fertilizer levels rose. These results show that humic acid can increase the uptake of phosphorus from the soil reservoir (treatments without phosphorus fertilizer) and source of soil and phosphorus fertilizer (phosphorus fertilizer treatments). The underground plant parts have also shown similar results. Root length and root dry weights have also been shown positive results in humic acid treatments. Therefore, an increase in phosphorus uptake in non-use phosphorous fertilizer treatments or phosphorous fertilizer treatments, along with humic acid, relative to non-humic acid treatments could be explained. The humic acid application seems to increase the uptake capacity of phosphorus from soil and fertilizer sources by increasing root length and root dry weight. In addition, the use of humic acid in alkaline soil can increase the solubility of phosphorus in water and therefore the phosphorus uptake by the roots of the plant could be increased. Based on the results, using humic acid due to improved phosphorus fertilizer use efficiency, phosphorous uptake by plant is expected to be increased and hence the fertilizer use would be reduced. Phosphorus influx results had not the same direction with uptake and application of phosphorus fertilizer. P influx results showed an inverse relationship with root length. In other words, phosphorus uptake was more dependent on the root growth.

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Associate Professor and Professor, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: khorasani@um.ac.ir)
4- Associate Professor, Department of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
5- Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Conclusion: This study showed that it is possible to use humic acid in the practical form during the cultivating of sugarcane setts, but it seems that further research is needed to examine other important points such as the use of humic acid during plant growth season and other its application forms, such as spraying or application in irrigation water.

Keywords: Cation exchange capacity of the root, Phosphorus concentration, Root hair length, Sugarcane, Shoot height