Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Soil Science Society of Iran

Comparing the effect of manure-extracted humic acid and commercial humic acid on the growth of maize and inorganic P forms in a calcareous soil

Sara Hosseini[1], Majid Hejazi-Mehrizi[*2], Mehdi Sarcheshmehpour[3], Majid Fekri[4]

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: hosseini.s1989@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: mhejazi@uk.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: msarcheshmeh@uk.ac.ir
4. Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: mfekri@uk.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 05.20.2023
Revised: 10.22.2023
Accepted: 10.23.2023

Keywords:
Bio-fertilizer,
Humus,
Soil quality,
Sustainable agriculture,
Waste management

ABSTRACT

Background and Objectives: Due to the lack of suitable water resources and poor soil quality (high salinity, low organic matter, and plant nutrient deficiency), the increase of arable lands in arid and semi-arid regions has faced severe challenges. The use of organic amendments is recognized as a critical strategy for plant production in such soils. Nowadays, humic acid (HA) is known as one of the eco-friendly fertilizers that not only preserves soil quality but also plays a significant role in increasing the production of high-quality agricultural yields. The present study was conducted to extract humic acid from two sources of cattle and sheep manures and compare their effect on maize growth characteristics and inorganic phosphorus (Pi) forms in a calcareous soil compared to the commercial HA.

Materials and Methods: 25 kg of sheep and cattle manure were collected from the farm of Shahid Bahonar University in Kerman and composted separately under controlled conditions for three months. Humic acid was extracted from composted manure using 0.5 N NaOH (1:10 material: extractant) in a dark environment under no oxygen conditions. The extracted HA's chemical and structural features, such as pH, EC, elemental composition, and functional groups, were determined. To investigate the effect of extracted humic acid on the growth of maize and soil inorganic P forms, a completely randomized design with seven treatments, including 0.1 and 0.2% of cattle manure extracted humic acid (CM-HA), 0.1 and 0.2% of sheep manure extracted humic acid (SM-HA), and 0.1% and 0.2% levels of commercial humic acid (HA), and a control treatment was designed in four replicates. The seedlings of maize were planted in treated pots and kept for 70 days under greenhouse-controlled conditions. At harvest time, the fresh and dry weights of the shoot and roots were measured. Soil Pi fractions, including H_2O-extractable P, $NaHCO_3$-extractable P, NaOH-extractable P, and HCl-extractable P, were also determined after maize harvesting.

Results: The results showed that commercial humic acid had the highest pH and the lowest EC compared to the extracted acids. In contrast, humic acid extracted from cattle and sheep manure was more acidic than the

commercial HA. The results of FTIR indicated the presence of phenolic hydroxyl, carboxyl, and aromatic rings in the extracted and commercial humic acids. The results showed that only 0.1% of commercial humic acid had no significant effect on maize's shoot fresh and dry weight. In contrast, other extracted acids, especially SMHA, significantly increased both growth characteristics of maize. In all treatments, the overall distribution of Pi forms was HCl-P > $NaHCO_3$-P > NaOH-P> H_2O-P. The results showed that HA application at the rates of 0.1% and 0.2%, mainly extracted HA from sheep manure, increased the contribution of more labile forms of inorganic phosphorus, including H_2O-P and $NaHCO_3$-P in the soil.

Conclusion: Since extracted HA from sheep manure and cattle manure have better quality than commercial HA and more effectively affect the growth of maize and labile forms of Pi, these resources can be used as an alternative for HA extraction and HA-based fertilizer production. In general, 0.2% of extracted humic acid from sheep manure had a more influential role in increasing the labile P forms in the soil and the growth of maize plants compared to other treatments.

Cite this article: Hosseini, Sara, Hejazi-Mehrizi, Majid, Sarcheshmehpour, Mehdi, Fekri, Majid. 2024. Comparing the effect of manure-extracted humic acid and commercial humic acid on the growth of maize and inorganic P forms in a calcareous soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 13 (4), 115-132.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21366.2101
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲
انجمن علوم خاک ایران

مقایسه تأثیر هیومیک اسید استخراجی از کودهای دامی و هیومیک اسید تجاری بر رشد ذرت و شکل‌های فسفر معدنی در یک خاک آهکی

سارا حسینی[۱]، مجید حجازی مهریزی*[۲]، مهدی سرچشمه‌پور[۳]، مجید فکری[٤]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: hosseini.s1989@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mhejazi@uk.ac.ir
۳. دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: msarcheshmeh@uk.ac.ir
٤. استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mfekri@uk.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰۲/۳۰
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۲/۰۷/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰۸/۰۱

واژه‌های کلیدی:
کشاورزی پایدار،
کودهای بیولوژیک،
کیفیت خاک،
مدیریت ضایعات،
هوموس

چکیده

سابقه و هدف: به دلیل کمبود منابع آبی مناسب و کیفیت پایین خاک (شوری بالا، مواد آلی کم و کمبود عناصر غذایی گیاهی)، افزایش اراضی زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با چالش‌های جدی مواجه شده است. استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی به عنوان یک استراتژی حیاتی برای تولید محصول در چنین خاک‌هایی شناخته شده‌است. امروزه هیومیک اسید به‌عنوان یکی از کودهای سازگار با محیط زیست شناخته شده‌است که نه تنها کیفیت خاک را حفظ می‌کند، بلکه نقش به‌سزایی در افزایش تولید محصولات کشاورزی با کیفیت بالا دارد. مطالعه حاضر به منظور استخراج هیومیک اسید از دو منبع کود گاوی و گوسفندی و مقایسه اثرات آن‌ها بر ویژگی‌های رویشی ذرت و اشکال فسفر معدنی در خاک آهکی در مقایسه با هیومیک اسید تجاری انجام شد.

مواد و روش‌ها: مقدار ۲۵ کیلوگرم کود گوسفندی و گاوی از مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان جمع‌آوری و به مدت سه ماه به صورت جداگانه در شرایط کنترل شده کمپوست شد. استخراج هیومیک اسید از کود کمپوست شده با استفاده از هیدروکسید سدیم ۰/۵ نرمال در نسبت ۱ به ۱۰ (ماده آلی به استخراج‌کننده) در یک محیط تاریک و در شرایط عدم حضور اکسیژن انجام شد. برخی ویژگی‌های شیمیایی و ساختاری هیومیک اسید استخراج‌شده مانند pH، EC، ترکیب عنصری و گروه‌های عاملی تعیین شد. برای بررسی تأثیر هیومیک اسید استخراجی بر رشد ذرت و شکل‌های فسفر معدنی، یک طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار شامل سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گاوی، سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی، سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید تجاری به همراه یک

تیمار شاهد در چهار تکرار طراحی شد. نهال‌های ذرت در گلدان‌های تیمار شده با سطوح مختلف هیومیک اسید کاشت و به مدت ۷۰ روز در شرایط کنترل شده گلخانه نگهداری شدند. در زمان برداشت، وزن تازه و خشک شاخسار و ریشه اندازه‌گیری شد. شکل‌های فسفر معدنی در خاک شامل فسفر قابل‌استخراج با آب، قابل‌استخراج با بیکربنات سدیم، قابل‌استخراج با هیدروکسید سدیم و قابل‌استخراج با اسید کلریدریک نیز پس از برداشت ذرت تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که هیومیک اسید استخراجی از کود گاوی و گوسفندی دارای pH اسیدی‌تر و EC بالاتری در مقایسه با هیومیک اسید تجاری بودند. حضور گروه‌های عامل هیدروکسیل فنولی، کربوکسیل و حلقه‌های آروماتیک در اسیدهای استخراجی و هیومیک اسید تجاری بر اساس نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز به اثبات رسید. بر اساس نتایج کشت گلخانه‌ای، تنها سطح ۰/۱ درصد از هیومیک اسید تجاری تأثیری بر وزن تازه و خشک شاخسار ذرت نداشت، در حالی‌که سایر اسیدهای استخراجی، به ویژه اسید هیومیک استخراجی از کود گوسفندی، هر دو ویژگی رویشی ذرت را ارتقا دادند. در تمامی تیمارها توزیع کلی شکل‌های فسفر معدنی به صورت H_2O-P <NaOH-P < $NaHCO_3$-P<HCl-P بود. کاربرد سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید به‌ویژه اسید استخراجی از کود گوسفندی توانست سهم بخش‌های قابل دسترس‌تر فسفر معدنی در خاک شامل H_2O-P و $NaHCO_3$-P را افزایش دهد.

نتیجه‌گیری: با توجه به این که هیومیک اسیدهای استخراجی از کودهای دامی کیفیت بهتری از هیومیک اسید تجاری داشته و به طور مؤثرتری سبب افزایش رشد ذرت و شکل‌های قابل دسترس فسفر معدنی درخاک شدند، از این منابع می‌توان جهت استخراج و تولید کودهای بر پایه هیومیک اسید بهره گرفت. به‌طورکلی، سطح ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی در مقایسه با سایر تیمارها نقش مؤثرتری در افزایش شکل‌های قابل دسترس فسفر در خاک و افزایش رشد گیاه ذرت داشت.

استناد: حسینی، سارا، حجازی مهریزی، مجید، سرچشمه‌پور، مهدی، فکری، مجید (۱۴۰۲). مقایسه تأثیر هیومیک اسید استخراجی از کودهای دامی و هیومیک اسید تجاری بر رشد ذرت و شکل‌های فسفر معدنی در یک خاک آهکی. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۳ (۴)، ۱۳۲-۱۱۵.

DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21366.2101

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

وجود محدودیت‌هایی مانند کمبود منابع آب و کیفیت پایین آن‌ها، کیفیت پایین خاک‌ها از لحاظ شوری، ماده آلی، کمبود عناصر غذایی و آهکی بودن خاک‌ها، افزایش سطح زیرکشت و میزان تولید محصولات کشاورزی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک با چالش جدی مواجه کرده است. به همین دلیل حفظ سطح کافی از ماده آلی و عناصر غذایی در خاک به عنوان ارکان‌های مهم حاصلخیزی و افزایش عملکرد در واحد سطح در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد (۱). از گذشته تاکنون کاربرد کودهای دامی در اراضی کشاورزی به‌عنوان یک راهکار مؤثر در دفع صحیح این مواد و بهبود ویژگی‌های مختلف خاک از جمله حاصلخیزی خاک مطرح می‌باشد، اما این کودها می‌توانند حاوی باکتری‌های بیماری‌زای خطرناکی باشند که سلامت خاک و آب‌های سطحی و زیرزمینی را با خطر مواجه سازد. از طرفی به‌دلیل شوری بالا، مصرف کودهای دامی در اراضی خشک و نیمه‌خشک که خود به نوعی با مشکل شوری مواجه هستند باید با احتیاط صورت پذیرد. هم‌چنین کاربرد کودهای دامی به صورت خام می‌تواند سبب پراکنش وسیع علف‌های هرز در اراضی کشاورزی گردد که مبارزه با علف‌های هرز را سخت خواهدکرد. علاوه بر این، مصرف خام کودهای دامی می‌تواند از طریق فرایند آلی‌شدن[1] باعث کاهش موقت قابلیت جذب برخی از عناصر در خاک و ایجاد محددویت جهت استقرار و رشد اولیه گیاه شود.

اختلاط بقایای گیاهی به خاک عامل اصلی افزایش ترکیبات هیومیکی در خاک می‌باشد (۲)، ولی طی سالیان اخیر بخش عمده‌ای از بقایای گیاهی به دلایل مختلف از مزارع خارج می‌شوند که این امر سبب کاهش ترکیبات هیومیکی در خاک شده است. بر همین اساس امروزه جهت افزایش کیفیت و سلامت خاک، استخراج هیومیک اسید از ترکیبات آلی مختلف و کاربرد آن در خاک مورد توجه قرار گرفته است (۳، ٤). تولید ترکیبات هیومیکی از کودهای دامی می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های بهینه در مدیریت کودهای دامی مورد توجه قرار گیرد به‌ویژه که در سال‌های اخیر تمایل کشاورزان نیز به استفاده از کودهای دوستدار محیط زیست مانند هیومیک اسید و فولویک اسید به عنوان بهبوددهنده خاک و محرک رشد گیاهان، افزایش یافته است (۵، ٦، ۷). تولید ترکیبات هیومیکی از کودهای دامی نه تنها مشکلات مربوط به بیماری‌زایی و توسعه علف‌های هرز را از بین برده، بلکه مشکلات مربوط به حمل و نقل و مصرف، تولید بوی بد و تجمع حشرات ناقل بیماری را نیز برطرف می‌کند.

ترکیبات هیومیکی که باقی‌مانده تجزیه میکروبی بقایای گیاهی و جانوری مانند لیگنین، تانن، سلولز و کوتین هستند، بر اساس حلالیت‌شان در آب و محلول‌های اسیدی و قلیایی به هیومین، هیومیک اسید و فولویک اسید تقسیم‌بندی می‌شوند (۸). با توجه به ماهیت تجزیه‌ناپذیری هیومین از یک طرف و تأثیرات بالقوه و آنی هیومیک اسید و فولویک اسید در افزایش حاصلخیزی و کیفیت خاک از طرف دیگر، اغلب مطالعات به استخراج هیومیک اسید و فولویک اسید از ترکیبات هیومیکی معطوف شده است (۹). هیومیک اسید سرشار از کربن، نیتروژن، اکسیژن، هیدروژن و سولفور می‌باشد که می‌تواند مورد استفاده ریزجانداران‌ها و گیاهان قرار گیرد (۱۰). هم‌چنین هیومیک اسید می‌تواند رشد گیاهان را از طریق افزایش هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین تحت‌تأثیر قرار داده و رشد محصول را افزایش دهد (٦). هیومیک اسید نقش مؤثری در بهبود وضعیت

1- Immobilization

فیزیکی خاک، افزایش جمعیت میکروبی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی مانند فسفر و عناصر غذایی کم‌مصرف ایفا می‌کند (٤). هیومیک اسید با کاهش جذب و افزایش آزادسازی فسفر از کلوئیدهای خاک سبب افزایش غلظت فسفر در فاز محلول می‌شود (۱۱). افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز توسط ریزجانداران‌ها نیز به عنوان یکی دیگر از دلایل افزایش قابلیت دسترسی فسفر بعد از کاربرد هیومیک اسید ذکر شده است (۱۲).

با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده که بیانگر افزایش جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۹/۵ میلیارد نفر می‌باشد (۱۳)، اهمیت بخش کشاورزی در کاهش گرسنگی و تأمین امنیت غذایی بیش از پیش نمایان می‌شود. ذرت جزء پنج گیاه زراعی مهم دنیا می‌باشد و در بین غلات مقام سوم را در دنیا از لحاظ سطح زیرکشت به خود اختصاص داده است. امروزه ذرت به‌عنوان یکی از فراورده‌های زراعی اساسی نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی ایفا می‌کند. ذرت از قابلیت تولید ماده خشک بالایی برخوردار است و به‌دلیل قابلیت‌هایی مانند سازگاری در شرایط اقلیمی گوناگون، تحمل نسبت به خشکی، عملکرد زیاد، قدرت قرارگرفتن در تناوب‌های مختلف، قدرت پذیرش کامل مکانیزاسیون و موارد مصرف متعدد، در بسیاری از کشورها به طور گسترده کشت می‌شود (١٤). در ایران اگر چه تلاش‌های متعددی در زمینه افزایش تولید ذرت از طریق فعالیت‌های به‌زراعی و به‌نژادی صورت گرفته است، با این وجود میزان تولید به حدی نیست که جوابگوی نیازهای کشور باشد.

اگرچه تأثیر هیومیک اسید بر رشد و جذب عناصر غذایی در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، اما اثرات آن‌ها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و رشد گیاهان به‌طور کامل شناخته شده نیست. سطح کاربرد، ساختار شیمیایی و مولکولی هیومیک اسید و نوع ترکیب اولیه نقش قابل‌توجهی بر میزان تأثیر هیومیک اسید بر ویژگی‌های خاک و محصولات خواهد داشت (۱۵، ١٦). در ایران کیفیت هیومیک اسیدهای استخراجی از کودهای دامی و نقش آن‌ها بر وضعیت فسفر خاک و گیاه کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه با هدف استخراج و شناسایی هیومیک اسید از دو نوع کود دامی شامل کود گاوی و گوسفندی و مقایسه آن‌ها با هیومیک اسید تجاری و بررسی تأثیر سطوح مختلف اسیدهای استخراجی بر رشد ذرت و شکل‌های فسفر معدنی در یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه کمپوست: مقدار ۲۵ کیلوگرم کود گوسفندی و کود گاوی از مزرعه دامپروی دانشگاه شهید باهنر کرمان جمع‌آوری شد. کودهای خام جهت پوسیده شدن و تولید کمپوست به یونولیت‌های با ابعاد ۵۰×۳۰×۲۰ سانتی‌متری منتقل و در رطوبت ۷۰ درصد و هوادهی منظم به مدت سه ماه نگهداری شدند. در پایان دوره، شاخص هوموسی‌شدن از رابطه زیر محاسبه شد (۱۷).

$$HI=(HA/TOC)\times100 \qquad (۱)$$

که در آن، HI[1] شاخص هوموسی شدن، HA[2] مقدار هیومیک اسید استخراج‌شده و TOC[3]، مقدار کربن آلی کل کمپوست حیوانی می‌باشد که به روش تجزیه عنصری اندازه‌گیری شد.

استخراج هیومیک اسید: برای استخراج هیومیک اسید از کمپوست‌های تهیه شده از کودهای گوسفندی و گاوی، روش پیشنهادی انجمن بین‌المللی مواد هیومیکی

1- Hummification index
2- Humic acid
3- Total organic carbon

استفاده شد (۱۸). برای این منظور مقدار مشخصی از کمپوست تهیه شده از کودهای دامی با نسبت ۱ به ۱۰ (وزنی به حجمی) در یک محیط تاریک با سود ۰/۵ مولار مخلوط و تحت فشار گاز N_2 به مدت ۲٤ ساعت (زمان استخراج) با شدت ۱٦۰ دور در دقیقه تکان داده شد. بعد از این مدت، با کمک سانتریفیوژ، فاز محلول از فاز رسوب (هیومین) جداسازی شد. جهت خارج کردن هیومیک اسید از محلول، اسید کلریدریک ٦ مولار به حدی افزوده شد تا pH محلول به حدود ۱ تا ۲ رسید که تحت این شرایط هیومیک اسید در ته لوله‌های سانتریفیوژ رسوب کرد. برای حذف ناخالصی‌ها و کاهش میزان خاکستر، اسید هیومیک استخراجی با محلول رقیق HCl/HF (۰/۳ / ۰/۱ مولار) خالص‌سازی و با آب مقطر تا منفی شدن تست کلر شسته شد. در نهایت هیومیک اسید استخراجی در دمای ٤٥ درجه سلسیوس خشک و درصد استخراج هیومیک اسید محاسبه شد (جدول ۱).

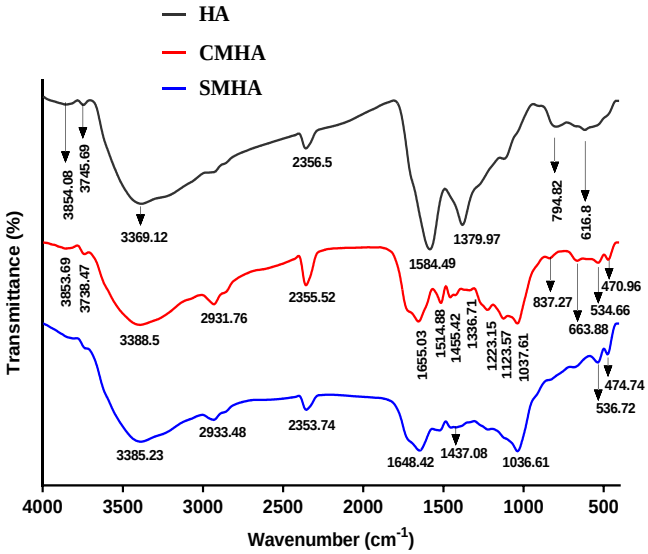
تعیین برخی ویژگی‌های شیمیایی اسیدهای استخراجی: واکنش (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) هیومیک اسید، در نسبت ۱ به ۲۰ (اسید هیومیک به آب مقطر)، به وسیله دستگاه pH متر و هدایت‌سنج الکتریکی مدل JENWAY3000 اندازه‌گیری شد (جدول ۱). درصد کربن، هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن و گوگرد موجود در اسیدهای استخراجی توسط دستگاه تجزیه عنصری مدل Elementar Analyser system GmbH vario Macro اندازه‌گیری شد (جدول ۱). جهت شناسایی گروه‌های عامل موجود در اسیدهای استخراجی از طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR) در محدوده عدد موجی شده cm^{-1} ٤۰۰۰-٤۰۰ و با استفاده از دستگاه FTIR مدل TENSOR 27 بهره گرفته شد (شکل ۱). نتایج مقایسه ویژگی‌های شیمیایی و گروه‌های عامل اسیدهای استخراجی از کمپوست کودهای دامی و هیومیک اسید تجاری در پژوهش دیگری به چاپ رسیده است (۱۹).

کشت گلخانه‌ای: یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان به صورت مرکب برداشت شد. نمونه خاک در سایه، هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به روش‌های معمول اندازه‌گیری شد. خاک مورد مطالعه آهکی (pH=۷/۸) و غیر شور ($EC=۱/۹\ dS.m^{-1}$)، دارای بافت لوم شنی، حاوی ۰/۳٦ درصد کربن آلی و فسفر قابل جذب کم‌تر از حد بهینه (۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. بذرهای ذرت رقم سینگل کراس پس از شستشو، به مدت چند دقیقه در آب با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا خفتگی بذرها از بین برود. سپس بذور در یک پارچه مرطوب پیچیده شده و به مدت ۲ روز در یخچال با دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. بذور ذرت پس از جوانه‌زنی به گلدان‌های مورد نظر انتقال و بر اساس آزمون خاک، مقادیر مناسب از عناصر مورد نیاز به گلدان‌ها افزوده شد. در این مطالعه ۷ تیمار در چهار تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی به گلدان‌ها افزوده شد. تیمارهای مورد استفاده شامل سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گاوی (CM-HA)، سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی (SM-HA)، سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید تجاری (HA) به همراه یک تیمار شاهد (CO) بود. رطوبت خاک در طول دوره رشد به روش وزنی در حد ظرفیت زراعی مزرعه حفظ شد. در انتهای دوره آزمایش (۷۰ روز)، بخش تازه شاخسار ذرت از محل طوقه جدا و توزین گردید. وزن تازه ریشه نیز پس از شستشو ریشه‌ها با آب اندازه‌گیری شد. وزن خشک شاخسار و ریشه ذرت نیز پس از خشک شدن نمونه‌های گیاهی در آون تهویه‌دار با دمای ٦۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- ویژگی‌های هیومیک اسید استخراج شده از کود گوسفندی (SM-HA)، کود گاوی (CM-HA) و هیومیک اسید تجاری (HA).

Table 1. Characteristics of humic acid extracted from sheep manure (SM-HA), cattle manure (CM-HA), and commercial humic acid (HA).

HA	CM-HA	SM-HA	واحد	ویژگی Property
-	22.9	25.6	٪	شاخص هوموسی شدن Humification index
-	7.6	8.5	٪	مقدار استخراج The amount of extraction
9.5	5.0	4.9	-	pH
10.7	8.6	9.6	dS m^{-1}	EC (1:20)
39.5	40.8	40.8	٪	اکسیژن Oxygen
2.9	4.5	4.1	٪	هیدورژن Hydrogen
46.3	37.5	33.2	٪	کربن Carbon
0.75	1.4	3.1	٪	گوگرد Sulfur
1.4	3.8	4.4	٪	نیتروژن Nitrogen
9.1	12.2	14.5	٪	Ash
33.5	9.8	7.6	-	C/N
0.85	1.1	1.2	-	O/C
0.06	0.12	0.12	-	H/C



شکل ۱- طیف‌سنجی مادون قرمز اسیدهای هیومیک استخراجی از کود گوسفندی (SM-HA) و گاوی (CM-HA) و اسید هیومیک تجاری (HA).

Figure 1. FTIR spectra of extracted humic acids from sheep manure (SM-HA) cattle manure (CM-HA) and commercial HA (HA).

تعیین شکل‌های فسفر معدنی: جهت بررسی تاثیر تیمارهای مورد مطالعه بر شکل‌های شیمیایی فسفر در خاک، از روش جزءبندی فسفر[1] استفاده شد (جدول ۲). در پایان آزمایش، یک گرم خاک از هر تیمار برداشت و پس از هوا خشک شدن، کوبیدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، به درون لوله‌های پلی‌اتیلنی با حجم ۱۵ میلی‌لیتر ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر از محلول عصاره‌گیر مربوطه به خاک‌ها اضافه شد. مطابق با مراحل ارائه شده در جدول ۲، شکل‌های شیمیایی فسفر در زمان‌های متوالی پس از تکان دادن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس داده‌ها از طریق نرم‌افزار SAS و در سطح احتمال یک درصد انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد بهره گرفته شد. رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار Graphpad prism 8.0 انجام شد.

جدول ۲- مراحل و شرایط استخراج‌کننده‌های شکل‌های فسفر معدنی خاک.

Table 2. Steps and conditions of soil inorganic P forms extractants.

مرحله Step	محلول عصاره‌گیر Extractant	زمان تعادل Equilibrium time	شکل شیمیایی فسفر P Forms
۱	آب مقطر Distilled water	۱۶ ساعت 16 h	فسفر محلول Soluble P
۲	بیکربنات سدیم ۰/۵ نرمال 0.5 N $NaHCO_3$	۱۶ ساعت 16 h	فسفر قابل دسترس Labile-P
۳	هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال 0.1 N NaOH	۱۶ ساعت 16 h	فسفات‌های آهن و آلومینیم Fe-P and Al-P
٤	اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال 0.1 N HCl	۱۶ ساعت 16 h	فسفات‌های کلسیم Ca-P

نتایج و بحث

تأثیر هیومیک اسیدها بر وزن تازه ذرت: کاربرد اسیدهای استخراجی از کود گوسفندی و گاوی و هم‌چنین هیومیک اسید تجاری سبب افزایش معنادار وزن تازه شاخسار ذرت در مقایسه با تیمار شاهد شدند ولی بین سطوح کاربرد هیومیک‌اسیدها تفاوت معنادار مشاهد نشد (جدول ۳). هیومیک اسید تجاری کم‌ترین و هیومیک اسید استخراجی از کمپوست کود گوسفندی بیش‌ترین درصد افزایش وزن تازه شاخسار ذرت را سبب شدند. کاربرد هیومیک اسید تجاری در دو سطح ۰/۱ و ۰/۲ درصد به ترتیب سبب افزایش ۲۱ و ۲۳ درصدی وزن تازه شاخسار شد در حالی‌که سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی سبب افزایش ۵۵ و ٤۸ درصدی وزن تازه شاخسار شد.

وزن تازه ریشه ذرت به کاربرد هیومیک اسید استخراجی از کودهای دامی پاسخ مثبت داد ولی در مقابل هیومیک اسید تجاری نتوانست تغییر معناداری در وزن تازه ریشه ذرت در مقایسه با تیمار شاهد ایجاد کند (جدول ۳). نتایج هم‌چنین نشان داد که تفاوت معناداری بین سطوح کاربردی هیومیک اسید از لحاظ وزن تازه ریشه ذرت وجود ندارد. کم‌ترین میزان وزن تازه ریشه ذرت (۲/۱۱ گرم در گلدان) در گلدان‌های تیمار شده با سطح ۰/۲ درصد هیومیک اسید تجاری اندازه‌گیری شد که تفاوت معناداری با

1- P Fractionation

سطح ۰/۱ درصد هیومیک اسید تجاری و شاهد نداشت. بیش‌ترین میزان وزن تازه ریشه (۲/٦۳ گرم در گلدان) در گلدان‌های تیمارشده با سطح ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی مشاهده شد که تفاوت معناداری با گلدان‌های تیمار شده با هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی نداشت.

تأثیر هیومیک اسیدها بر وزن خشک ذرت: وزن خشک شاخسار ذرت در تیمارهای مختلف هیومیک اسید در جدول ۳ نشان داده شده است. به غیر از تیمار ۰/۱ درصد هیومیک اسید تجاری، سایر تیمارها به‌طور معناداری وزن خشک شاخسار را افزایش دادند. بیش‌ترین وزن خشک شاخسار (۵/۳ گرم در گلدان) در تیمار ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی اندازه‌گیری شد که یک افزایش ۵۰ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد.

کاربرد هر دو سطح هیومیک اسید تجاری تأثیری بر وزن خشک ریشه نداشت در حالی که هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی و کود گاوی سبب افزایش معنادار وزن خشک ریشه ذرت شدند. بیش‌ترین وزن خشک ریشه (۰/۷۵ گرم در گلدان) در تیمار ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی اندازه‌گیری شد که تفاوت معناداری با تیمارهای ۰/۱ درصد و ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گاوی نداشت (جدول ۳).

تأثیر هیومیک اسید تجاری و استخراجی از منابع آلی بر ویژگی‌های رویشی گیاهان در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (۲۰، ۲۱، ۲۲). کاربرد هیومیک اسید استخراجی از ورمی‌کمپوست در غلظت‌های مناسب سبب افزایش وزن شاخسار و ریشه در گیاهان خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی شد (۲۳). در پژوهشی به اثرات مثبت کاربرد هیومیک اسید استخراجی از لیگنایت بر ویژگی‌های رویشی مختلف گندم اشاره شد (۲٤). هیومیک اسید می‌تواند از طریق افزایش تولید هورمون‌های محرک رشد مانند اکسین و سیتوکینین و هم‌چنین افزایش تولید آنزیم‌های متابولیکی، رشد شاخسار و ریشه گیاهان را افزایش دهد (٦). هم‌چنین بخشی از افزایش عملکرد گیاهان بعد از کاربرد هیومیک اسید را می‌توان ناشی از افزایش جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف دانست که سبب افزایش غلظت کلروفیل و به دنبال آن افزایش رشد شاخسار می‌شود (۱۰). نتایج این مطالعه نشان داد که اسیدهای استخراجی از کودهای دامی در مقایسه با هیومیک اسید تجاری تأثیر بیش‌تری بر عملکرد ذرت داشته است. در مطالعه دیگری نیز به تأثیر کم‌تر اسیدهای هیومیک تجاری بر رشد گیاه در مقایسه با هیومیک اسید تولیدی از ورمی‌کمپوست اشاره شده است (۲۵). هم‌چنین تأثیر هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی بر عملکرد ذرت در مقایسه با هیومیک اسید استخراجی از کود گاوی بیش‌تر بود. با توجه به این‌که منابع تولید هیومیک اسید از لحاظ ترکیب عنصری متفاوت هستند، بنابراین اسیدهای استخراجی از این منابع و تأثیر آن بر عملکرد گیاهان نیز متفاوت خواهد بود (۱۵). هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی نسبت به هیومیک اسید استخراجی از کود گاوی و هیومیک اسید تجاری از مقدار نیتروژن و گوگرد بیش‌تری برخوردار می‌باشد (جدول ۱) و بنابراین بخشی از افزایش عملکرد ذرت در تیمار هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی ناشی از این موضوع می‌باشد. ساختار شیمیایی هیومیک اسیدها از منبع اولیه نیز تأثیر می‌پذیرند و به همین دلیل پاسخ گیاهان به اسیدهای استخراجی از منابع مختلف، متفاوت خواهد بود. در پژوهش دیگری به همبستگی مثبت رشد شاخسار و ریشه سورگوم با مقدار گروه‌های کربوکسیلیک موجود در هیومیک اسید اشاره شده است (۲٦). افزایش مقدار گروه‌های عامل کربوکسیلیک در هیومیک اسید از طریق افزایش جذب نیتروژن به افزایش عملکرد گیاه کمک می‌کند (۲۷).

جدول ۳- ویژگی‌های رویشی ذرت متأثر از سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد اسیدهیومیک استخراج شده از کود گوسفندی (SM-HA)، اسیدهیومیک استخراج شده از کود گاوی (CM-HA) و اسیدهیومیک تجاری (HA).

Table 3. Maize growth characteristics affected by levels of 0.1 and 0.2% of humic acid extracted from sheep manure (SM-HA), cattle manure (CM-HA), and commercial humic acid (HA).

وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک شاخسار Shoot dry weight	وزن تازه ریشه Root fresh weight	وزن تازه شاخسار Shoot fresh weight	تیمار Treatment
گرم در گلدان $g\ pot^{-1}$				
0.53 bc	3.51 c	2.34 bc	15.9 d	CO(شاهد)
0.46 c	3.84 bc	2.18 c	19.2 c	0.1 % HA
0.49 c	4.2 b	2.11 c	19.5 c	0.2 % HA
0.71 a	4.7 b	2.47 ab	21.4 bc	0.1% CM-HA
0.65 ab	5.1 a	2.57 a	23.3 b	0.2% CM-HA
0.71 a	5.3 a	2.53 a	24.1 a	0.1% SM-HA
0.75 a	5.2 a	2.63 a	23.6 a	0.2% SM-HA

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD دارای تفاوت معنادار نیستند

In each column, the means with at least one same letters are not significant at P<0.05 of the LSD test

شکل‌های فسفر معدنی: تأثیر سطح مختلف هیومیک اسید تجاری و هیومیک اسید استخراجی از کودهای دامی در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. کاربرد هیومیک اسید تجاری و هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی و کود گاوی به‌طور معناداری سبب افزایش میزان فسفر قابل‌استخراج با آب شد (شکل ۲). کم‌ترین مقدار فسفر قابل‌استخراج با آب در تیمار شاهد (۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیش‌ترین مقدار در خاک تیمار شده با سطح ۰/۲ درصد هیومیک اسید تجاری (۹/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد که اختلاف ۲/٦ برابری با هم داشتند. در پاسخ به کاربرد سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید تجاری و استخراجی از کود گاوی و کود گوسفندی، فسفر قابل‌استخراج با بیکربنات سدیم افزایش معناداری داشت (شکل ۲). بیش‌ترین فسفر قابل‌استخراج با بیکربنات سدیم در تیمار ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی (معادل ٦۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گاوی (معادل ۵۸/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و تیمار ۰/۲ درصد هیومیک اسید تجاری (معادل ۵۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اختلاف معناداری نداشت. کم‌ترین مقدار فسفر قابل‌استخراج با بیکربنات سدیم در تیمار شاهد (معادل ۲٤/٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. افزایش فسفر قابل دسترس با آب و بیکربنات سدیم در پاسخ به کاربرد اسیدهای آلی در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (٤، ۱۲). در پاسخ به کاربرد سطوح مختلف هیومیک اسید تجاری و هیومیک اسید استخراجی از کودهای دامی، فسفر قابل‌استخراج با سدیم هیدروکسید تفاوت معناداری نسبت به تیمار

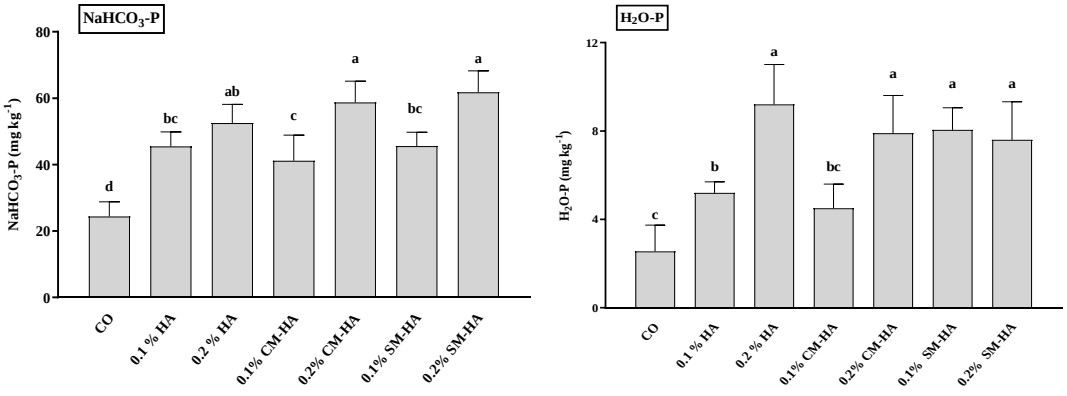
شاهد نشان نداد (شکل ۳). این نتایج با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت دارد. در مطالعه‌ای که توسط تقی‌پور و جلالی (۲۰۱۳) انجام شد، رفتار اسیدهای آلی بر فسفر قابل‌استخراج با سود متفاوت بود به‌طوری‌که اسید اگزالیک سبب کاهش فسفر قابل‌استخراج با سود شد در حالی‌که تأثیر اسید مالیک و اسید سیتریک بر این شکل فسفر معنادار نبود (۲۸).

پایدارترین شکل فسفر معدنی در خاک‌های آهکی فسفر قابل‌استخراج با اسید کلریدریک می‌باشد. نتایج نشان داد هیچ‌یک از سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید تجاری و هیومیک اسید استخراجی از کود گاوی تأثیر معناداری بر فسفر قابل‌استخراج با اسید کلریدریک نداشتند و تنها کاربرد سطوح ۰/۱ درصد و ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی به‌ترتیب سبب کاهش ۱۰ و ۱۸ درصدی فسفر قابل‌استخراج با اسید کلریدریک نسبت به تیمار شاهد شد.

برای درک بهتر تأثیر اسیدهای آلی بر وضعیت کلی شکل‌های معدنی فسفر می‌توان از توزیع نسبی آن‌ها بهره گرفت (شکل ٤). نتایج نشان داد در تمامی تیمارهای هیومیکی، بیش‌ترین مقدار فسفر معدنی به فسفر قابل‌استخراج با اسید اختصاص دارد. فسفر قابل‌استخراج با اسید که نشان‌دهنده فسفات‌های کلسیم در خاک می‌باشند به عنوان غالب‌ترین و مهم‌ترین شکل فسفر معدنی در خاک‌های آهکی ایران شناخته شده است (۲۸، ۲۹). شکل‌های مختلف فسفر از لحاظ تحرک و قابلیت دسترسی با هم متفاوت هستند و با گذشت زمان دستخوش تغییر می‌شوند (۲۹، ۳۰). با گذشت زمان فسفر از شکل‌های قابل‌دسترس‌تر مانند فسفر محلول و فسفر تبادلی به شکل پایدار فسفات‌های کلسیم در خاک رسوب می‌کنند و به همین دلیل سهم فسفر قابل‌استخراج با اسید افزایش و سهم فسفر قابل‌استخراج با آب و قابل‌استخراج با بیکربنات سدیم کاهش یافته است. در تأیید این استدلال، همبستگی منفی و معنادار بین HCl-P و قابل‌استخراج با آب و هم‌چنین فسفر قابل‌استخراج با بیکربنات سدیم مشاهده شد (جدول ٤). اگرچه در تمامی تیمارها فسفر قابل‌استخراج با اسید جزء اصلی فسفر معدنی در خاک بود ولی کاربرد هیومیک اسید استخراجی از کودهای دامی و هیومیک اسید تجاری سبب تغییر توزیع نسبی شکل‌های فسفر معدنی به نفع فسفر قابل‌استخراج با آب و قابل‌استخراج با بیکربنات سدیم شد. به‌نظر می‌رسد هیومیک اسید با تعدیل pH خاک‌های آهکی به‌طور موضعی باعث افزایش حلالیت شکل‌های پایدارتر فسفر مانند فسفر قابل‌استخراج با اسید شده است. هم‌چنین رقابت اسیدهای هیومیک با فسفر برای مکان‌های جذب سطحی روی کلوئیدهای خاک نیز می‌تواند دلیل دیگری برای افزایش شکل‌های قابل‌دسترس‌تر فسفر بعد از کاربرد هیومیک اسید باشد (۲۹).

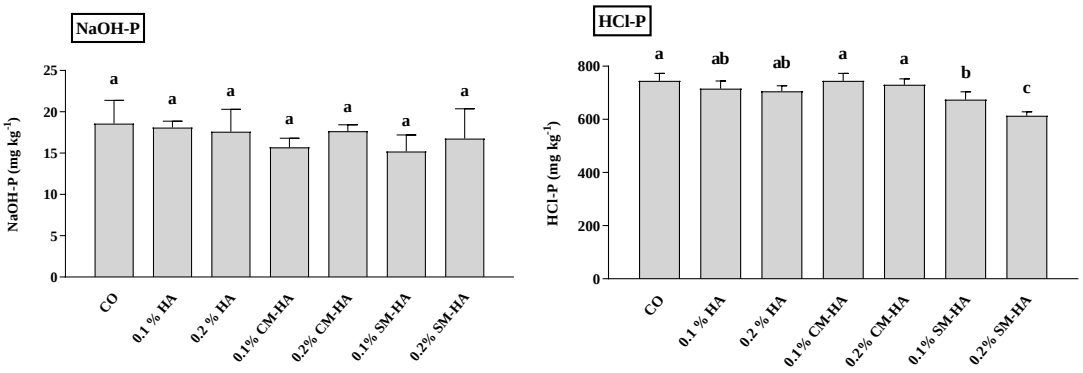
فسفر قابل دسترس خاک: به غیر از تیمار ۰/۱ درصد هیومیک اسید تجاری، کاربرد سایر هیومیک اسیدها به‌طور معناداری فسفر قابل‌دسترس خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. بیش‌ترین مقدار فسفر قابل‌دسترس خاک (۳٦/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک تیمار شده با سطح ۰/۲ درصد هیومیک اسید گوسفندی اندازه‌گیری شد که تفاوت معناداری با سطح ۰/۲ درصد هیومیک اسید گاوی و هیومیک اسید تجاری نداشت. کم‌ترین مقدار فسفر قابل‌دسترس خاک (۱۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد (شکل ۵). فرآیندهای جذب سطحی

و رسوب فسفر توسط کانی‌های کربناته کلسیم به‌عنوان ساز و کار اصلی کاهش قابلیت دسترسی فسفر در خاک‌های آهکی شناخته شده‌اند (۳۱). آنیون‌های آلی از جمله هومات‌ها (آنیون حاصل از هیومیک اسید) می‌توانند با فسفر برای مکان‌های جذب در خاک رقابت نموده و منجر به کاهش جذب سطحی فسفر در خاک شوند. هم‌چنین آنیون هومات، کمپلکس‌های پایداری با کلسیم، آهن و آلومینیوم تشکیل داده و مانع از تشکیل کانی‌های پایدار فسفات کلسیم و فسفات آهن و آلومینیوم می‌شود و از این طریق قابلیت دسترسی فسفر را افزایش می‌دهد (۲۹). آنیون‌های آلی می‌توانند جانشین فسفر جذب شده روی اکسیدهای آهن و آلومینیوم شده و از این طریق فسفر قابل‌دسترس خاک را افزایش دهند. به نظر می‌رسد هیومیک اسید می‌تواند قابلیت دسترسی فسفر خاک را از طریق کاهش پایداری کانی‌های فسفاته کلسیم و رقابت فسفر در جذب سطحی و تثبیت توسط کلوئیدهای خاک افزایش دهد (۲۸). در این پژوهش با توجه به همبستگی منفی و معنادار مشاهده شده بین فسفر قابل‌دسترس خاک و فسفر قابل‌استخراج با اسید و همچنین فسفر قابل دسترس خاک با فسفر قابل‌استخراج با سدیم هیدروکسید، بخشی از افزایش فسفر قابل‌دسترس خاک را می‌توان ناشی از افزایش حلالیت کانی‌های فسفاته کلسیم و فسفاته آهن دانست (جدول ٤). هم‌چنین با توجه به نتایج ضرایب همبستگی (جدول ٤)، ضرایب همبستگی مثبت و معنادار بین فسفر قابل‌دسترس خاک و شکل‌های قابل‌استخراج با آب و بیکربنات سدیم بیانگر این مطلب است که بخشی از افزایش فسفر قابل‌دسترس خاک ناشی از افزایش این شکل‌ها بعد از کاربرد هیومیک اسید می‌باشد.



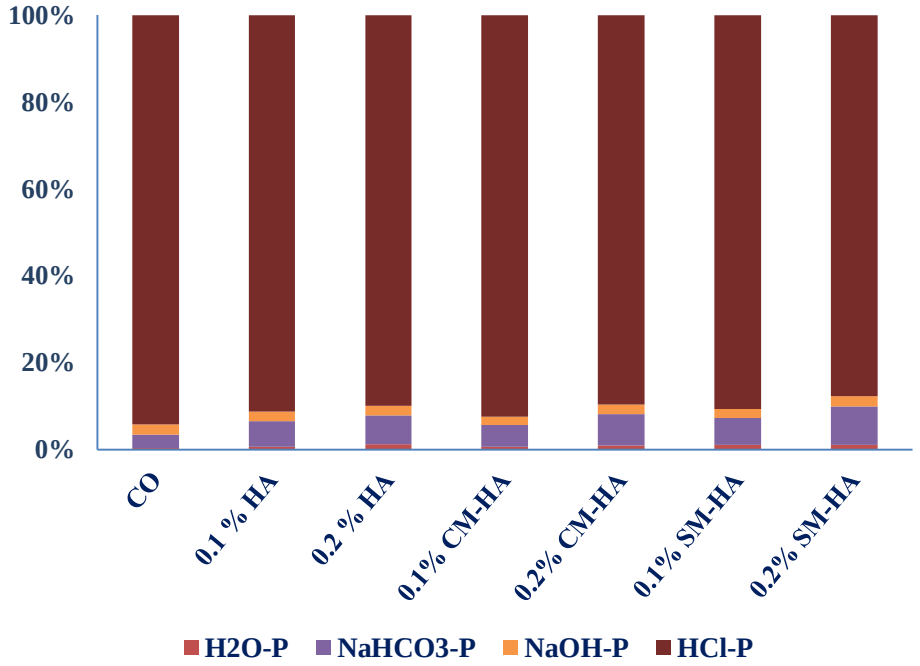
شکل ۲- تأثیر سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد اسیدهای هیومیک تجاری (HA)، استخراجی از کود گاوی (CM-HA) و کود گوسفندی (SM-HA) بر فسفر قابل‌استخراج با آب (H_2O-P) و قابل‌استخراج با بیکربنات سدیم ($NaHCO_3$-P). (ستون‌های با حروف متفاوت، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون LSD هستند).

Figure 2. The effect of 0.1 and 0.2% of commercial humic acid (HA), extracted humic acid from cattle manure (CM-HA) and sheep manure (SM-HA) on extractable H_2O-P and $NaHCO_3$-P. (The columns with different letters, are significant at P<0.05 of LSD test).



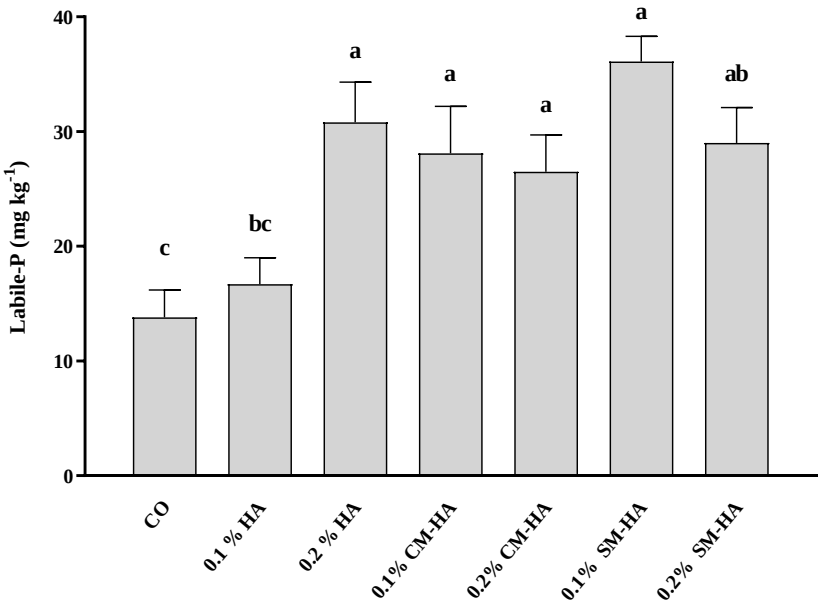
شکل ۳- تأثیر سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد اسیدهای هیومیک تجاری (HA)، استخراجی از کود گاوی (CM-HA) و کود گوسفندی (SM-HA) بر فسفر قابل‌استخراج با سدیم هیدروکسید (NaOH-P) و قابل‌استخراج با اسید کلریدریک(HCl-P). (ستون‌های با حروف متفاوت، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون LSD هستند).

Figure 3. The effect of 0.1 and 0.2% of commercial humic acid (HA), extracted humic acid from cattle manure (CM-HA) and sheep manure (SM-HA) on extractable NaOH-P and HCl-P. (The columns with different letters, are significant at P<0.05 of LSD test).



شکل ٤- توزیع نسبی شکل‌های فسفر معدنی در خاک تیمار شده با سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد اسیدهای هیومیک تجاری (HA)، استخراجی از کود گاوی (CM-HA) و کود گوسفندی (SM-HA).

Figure 4. The distribution of Pi forms in soil treated with 0.1 and 0.2% levels of commercial humic acid (HA), humic acid extracted from cattle manure (CM-HA), and sheep manure (SM-HA).



شکل ۵- تأثیر سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد هیومیک اسید تجاری (HA)، هیومیک اسید استخراجی از کود گاوی (CM-HA) و کود گوسفندی (SM-HA) بر فسفر قابل دسترس خاک.

(ستون‌های با حروف متفاوت، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون LSD هستند).

Figure 5. The effect of 0.1 and 0.2% of commercial humic acid (HA), extracted humic acid from cattle manure (CM-HA) and sheep manure (SM-HA) on Labile-P. (The columns with different letters, are significant at P<0.05 of LSD test).

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین شکل‌های مختلف فسفر در خاک تیمار شده با هیومیک اسیدها.

Table 4. Correlation coefficients between Pi forms in soil treated with humic acids.

Labile-P	HCl-P	NaOH-P	$NaHCO_3$-P	H_2O-P	
0.8**	-0.54**	-0.31^{ns}	0.83**	-	فسفر قابل استخراج با آب H_2O-P
0.82**	-0.62**	-0.21^{ns}	-	0.83**	فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم $NaHCO_3$-P
-0.57^{ns}	0.33^{ns}	-	-0.21^{ns}	-0.31^{ns}	فسفر قابل استخراج با هیدروکسید سدیم NaOH-P
-0.69**	-	0.33^{ns}	-0.62**	-0.54**	فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک HCl-P
-	-0.69**	-0.57*	0.82**	0.8**	فسفر قابل دسترس Labile-P

* معناداری در سطح ۵ درصد، ** معناداری در سطح ۱ درصد، ns عدم معناداری

* Significant at P<0.05, ** Significant at P<0.01 and ns non-significant

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان از نقش مؤثر هیومیک اسید استخراجی از کودهای دامی به ویژه هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی بر رشد ذرت در مقایسه با هیومیک اسید تجاری داشت. نتایج نشان داد که هیومیک اسید استخراجی و هیومیک اسید تجاری شکل‌های فسفر معدنی را تحت‌تأثیر قرار داد به‌طوری‌که هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی و کود گاوی توزیع شکل‌های فسفر معدنی را به نفع شکل‌های قابل دسترس‌تر فسفر شامل فسفر محلول و فسفر قابل‌استخراج با بیکربنات سدیم تغییر داد که در این بین نقش هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی مؤثرتر از بقیه تیمارهای هیومیکی بود. با توجه به این که سطح ۰/۲ درصد هیومیک اسید استخراجی از کود گوسفندی در مقایسه با سایر تیمارها تأثیر بیش‌تری درافزایش رشد ذرت و قابلیت دسترسی فسفر در خاک ایجاد کرد، کود گوسفندی می‌تواند به عنوان یک منبع پیشنهادی جهت استخراج اسید هیومیک و کاربرد آن در خاک جهت افزایش قابلیت دسترسی فسفر در خاک مورد توجه قرار گیرد.

منابع

1. Najafi, N., Ahmadinezhad, R., Aliasgharzad, N., & Oustan, Sh. (2019). Effects of urea integration with manure and two types of compost (municipal waste and sewage sludge) on concentrations of micronutrients and sodium in wheat leaf, stem and seed. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26, 1-27. [In Persian]. **doi.org/10.22069/JWSC.2019.15712.3091.**
2. Wiesler, F., Hund-Rinke, K., Gäth, S., George, E., Greef, J. M., Hölzle, L. E., Holz, F., Hülsbergen, K. J., Pfeil, R., Severin, K., Frede, H. G, Blum, B., Schenkel, H., Horst, W., Dittert, K., Ebertseder, T., Osterburg, B., Philipp, W., Pietsch, M., & Nessel, T. (2016). Use of organic fertilizers and organic wastes in agriculture. *Berichte über Landwirtschaft*, 94 (1), 1-14. **doi.org/10.12767/buel.v94i1.124.g251.**
3. Sarlaki, E., Sokhandan Toomaj, M., Sharif Paghaleh, A., Kianmehr, M., & Nikousefat, O. (2019). Extraction of humic acid from lignite coals using stirred tank reactors (STRs): Assessment of process parameters and final product characterization. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50, 1111-1125. [In Persian]. **doi.org/10.22059/IJSWR.2018.260201.667947.**
4. Yang, X., Kong, Y., Guo, E., Chen, X., & Li, L. (2021). Organic acid regulation of inorganic phosphorus release from Mollisols with different organic matter contents. *Soil Use and Management*. 38, 576-583. **doi.org/10.1111/sum.12710.**
5. Gerke, J. (2018). Concepts and misconceptions of humic substances as the stable part of soil organic matter: a review. *Agronomy*, 8: 76 p. **doi.org/10.3390/agronomy8050076.**
6. Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., & Cavagnaro, T. R. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: Practical implications for agriculture. *Advances in Agronomy*, 124, 37-89. **doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4.**
7. Shahbazi, S., Fateh, E., & Aynehband, A. (2015). Evaluation of the effect of humic acid and vermicompost on yield and yield components of three wheat cultivars in tropical regions. *Plant Productions*, 38, 99-110. [In Persian]. **doi.org/ 10.22055/ppd.2015.11323.**
8. De Melo, B. A. G., Motta, F. L., & Santana, M. H. A. (2016). Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Materials Science and Engineering*, 62, 967-974. **doi.org/ 10.1016/j.msec.2015.12.001.**

9. Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4(10), 1-14. **doi.org/10.3389/ fagro.2022. 848621.**
10. Sible, C. N., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2021). Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy*, 11, 1297 p. **doi.org/10.3390/agronomy11071297.**
11. Zhu, J., Li, M., & Whelan, M. (2018). Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: a review. *Science of the Total Environment*. 612, 522-537. **doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.095.**
12. Sharma, S., Kumar, V., & Tripathi, R. B. (2011). Isolation of phosphate solubilizing microorganisms (PSMs) from soil. *Journal of microbiology and Biotechnology Research*, 1, 90-95.
13. Brown, M. E., Hintermann, B., & Higgins, N. (2009). Markets, climate change, and food security in West Africa. *Environmental Science and Technology*, 43, 8016-8020. **doi.org/ 10.1021/es901162d.**
14. Goldani, M., Rezvani Moghaddam, P., Nasiri mahalati, M., & Kafi, M. (2011). Response of hybrids of maize (*Zea may* L.) to density in the five phenological stages. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9, 139-150. [In Persian]. **doi.org/10.22067/GSC.V9I2.10985.**
15. García, A. C., van Tol de Castro, T. A., Santos, L. A., Tavares, O. C. H., Castro, R. N., Berbara, R. L. L., & García-Mina, J. M. (2019). Structure–property–function relationship of humic substances in modulating the root growth of plants: A review. *Journal of Environmental Quality*, 48, 1622-1632. **doi.org/10.2134/jeq2019.01.0027.**
16. Nardi, S., Ertani, A., & Francioso, O. (2017). Soil-root cross-talking: the role of humic substances. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180, 5-13. **doi.org/10.1002/jpln.201600348.**
17. Amir, S., Benlboukht, F., Cancian, N., Winterton, P., & Hafidi, M. (2008). Physico-chemical analysis of tannery solid waste and structural characterization of its isolated humic acids after composting. *Journal of Hazardous Materials*, 160, 448-455. **doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.017.**
18. Piccolo, A., Nardi, S., & Concheri, G. (1992). Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 24, 373-380. **doi.org/10.1016/0038-0717(92)90197-6.**
19. Hosseini, S., Hejazi-Mehrizi, M., Sarcheshmehpour, M., & Fekri, M. (2022). Comparison of the characteristics and effects of commercial humic acid extracted from cattle and sheep manures on soybean growth. *Iranian Journal of Soil Research*, 36, 289-304. [In Persian]. **doi.org/10. 22092/IJSR.2022.358279.658.**
20. Ebrahimi, Z., Sarcheshmehpour, M., & Hejazi Mehrizi, M. (2016). The effects of humic substances and mycorrhiza fungus on Fe and Zn uptake and some soybean growth characteristics under greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 10, 7(1), 99-110. [In Persian]. **doi.org/10.18869/ acadpub. ejgcst.7.1.99.**
21. Fan, H. M., Wang, X. W., Sun, X., Li, Y. Y., Sun, X. Z., & Zheng, C. S. (2014). Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 177, 118-123. **doi.org/10.1016/j.scienta. 2014.05.010.**
22. Nasiroleslami, E., Mozafari, H., Sadeghi-Shoae, M., Habibi, D., & Sani, B. (2021). Changes in yield, protein, minerals, and fatty acid profile of wheat (*Triticum aestivum* L.) under fertilizer management involving application of nitrogen, humic acid, and seaweed extract. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 2642-2651. **doi.org/10.1007/s42729-021-00552-7.**
23. Maji, D., Misra, P., Singh, S., & Kalra, A. (2017). Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by

improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. *Applied Soil Ecology*, 110, 97-108. **doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.10.008.**

24. Arjumend, T., Abbasi, M. K., & Rafique, E. (2015). Effects of lignite-derived Humic acid on some selected soil properties, growth, and nutrient uptake of wheat (*Triticum Aestivum* L.) grown under greenhouse conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 47, 2231-2238.
25. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Lee, S., & Byrne, R. (2006). Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology*, 42, 65-69. **doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.06.004.**
26. Hamad, M. M., & Tantawy, M. F. A. (2018). Effect of different humic acids sources on the plant growth, calcium and iron utilization by sorghum. Egyptian Journal of Soil. Science, 58, 291-307. **doi.org/10.21608/EJSS.2018.3559. 1173.**
27. Swift, R. S. 1996. Organic matter characterization. p.1018-1020. In: D. L. Sparks et al. (ed.). Methods of Soil Analysis, Agron, Part 3: Chemical Methods. American Society. Agronomy. Madison WI, USA. **doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c35**.
28. Taghipour, M., & Jalali, M. (2013). Effect of low-molecular-weight organic acids on kinetics release and fractionation of phosphorus in some calcareous soils of western Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 5471-5482. **doi.org/10.1007/s10661-012-2960-y.**
29. Hejazi-Mehrizi, M., Sarcheshmehpour, M., & Ebrahimi, Z. (2015). The effects of some humic substances and vermicompost on phosphorus transformation rate and forms in a calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 15, 249-260. **doi.org/10.4067/S0718.95162015005000020.**
30. Braos, L. B., Cruz, M. C. P. D., Ferreira, M. E., & Kuhnen, F. (2015). Frações do fósforo orgânico em solo adubado com esterco bovino. Revista *Brasileira de Ciência do Solo*, 39, 140-150. **doi.org/10.1590/01000683rbcs20150137.**
31. Tunesi, S., Poggi, V., & Gessa, C. (1999). Phosphate adsorption and precipitation in calcareous soils: the role of calcium ions in solution and carbonate minerals. *Nutrient Cycling Agroecosystem*, 53, 219-227. **doi.org/10.1023/A:1009709005147.**