Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 769-787

Improving the Quantitative, Qualitative, and Agronomic Phosphorus Efficiency of Soybean (*Glycine max* L.)

Sadegh Vahdat Masoud[1] and Mohammad Ali Aboutalebian[2*]

1- Former M.Sc. Student of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2- Associated Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
(*- Corresponding author Email: m.aboutalebian@basu.ac.ir)

Received: 19-02-2022
Revised: 05-06-2022
Accepted: 07-06-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Vahdat Masoud, S., & Aboutalebian, M.A. (2024). Improving the quantitative, qualitative, and agronomic phosphorus efficiency of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Agroecology*, *15*(4), 769-787.
DOI: 10.22067/agry.2022.75382.1097

Introduction

One of the most important issues in improving the growth and increasing the yield of oil plants is proper nutrition and providing the nutrients the plant needs during the growing season. Today, using biofertilizers in agriculture is considered an effective way to reduce the consumption of chemical inputs to increase the quantitative and qualitative yield of plants using beneficial soil microorganisms. Among these organisms, phosphate-solubilizing bacteria, which can increase the phosphorus uptake efficiency of plants, can be mentioned. According to reports, humic acid is a plant growth stimulant mainly by changing the root structure and growth dynamics, increasing the root size, branching and density.

Materials and Methods

A field experiment was conducted at the agricultural research station, Bu-Ali Sina University, in the 2020 growing season. The employed soybean cultivar was Habit. This factorial experiment was performed based on a randomized complete blocks design with three replications. Experiment factors were two levels of phosphorus fertilizer, including application and non-application, biophosphate, including inoculated and non-inoculated, and foliar application of humic acid, including 0, 2, and 4 $g.l^{-1}$ (during two stages of 15 and 30 days after emergence at the rate of 250 liters per hectare). In the present study, the interaction effect of humic acid and phosphate solubilizing biofertilizer was evaluated on phosphorus agronomic efficiency, water use efficiency, yield, yield components, and quality characteristics of soybean. In this study, after checking the residual normality of the data, SAS software (Ver. 9.1) was used to analyze the data variance. Also, to compare the means, Duncan's multiple range test at the level of 5% probability was used.

Results and Discussion

The results showed that with phosphorus fertilizer application, simultaneous use of biophosphate and humic acid increased plant height (19.2%), biological yield (28.8%), and number of pods per plant (20.4%)

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// DOI: 10.22067/agry.2022.75382.1097

compared to the lack of biophosphate and humic acid conditions. For the treatment level of non-use of phosphorus fertilizer and use of biophosphate, foliar application of 4 g/l of humic acid compared to 2 g/l increased the biological yield of soybean by 13.9%. The 1000-grain weight of soybeans in phosphorus fertilizer application conditions showed no no significant difference between humic acid levels. However, in non-phosphorus fertilizer conditions, foliar application of 4 g/l of humic acid caused a significant increase in 1000-grain weight compared to non-humic acid treatment. It seems that the application of humic acid has strengthened the relationship of the plant with phosphate-solubilizing bacteria. Also, the number of grains per pod of soybean increased by 14.6% with biophosphate and 16.8% with the foliar application of 4 g/l of humic acid compared to the conditions of no application of any of them. The application of 4 g/.l^{-1} of humic acid and the application of biophosphate increased grain yield by 27.3% and 26.4%, respectively. The highest percentage of seed oil (23.21) was obtained in the absence of phosphorus fertilizer and simultaneous application of 4 $g.l^{-1}$ of humic acid and biophosphate. In contrast, the highest percentage of grain protein (51.3) was obtained in the presence of phosphorus fertilizer, 4 $g.l^{-1}$ of humic acid, and no biophosphate. In the absence of available phosphorus in the soil, the application of biophosphate takes precedence over the foliar application of humic acid. This is evident as, without biophosphate application, there was no significant difference in seed oil percentage across various levels of humic acid. When biophosphate and humic acid were used in combination, compared to the sole use of biophosphate, the individual application of 4 $g.l^{-1}$ and 2 $g.l^{-1}$ of humic acid increased phosphorus agronomic efficiency by 21.1%, 35.7%, and 48.3%, respectively. The results indicate that the combined use of biophosphate and foliar application of 4 g/l of humic acid, in comparison to their absence, improved the water use efficiency of soybean by 25% and 26%, respectively.

Conclusion

Therefore, simultaneous application of 4 $g.l^{-1}$ of humic acid and biophosphate can improve growth yield, and increase soybean phosphorus agronomic and water use efficiency. However, to achieve a higher percentage of seed oil, 4 $g.l^{-1}$ of humic acid alone is recommended.

Keywords: Grain oil percent, grain protein percent, grain yield, pods number per plant, water use efficiency

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ۷۸۷-۷٦۹

بهبود خصوصیات کمی، کیفی و کارایی زراعی فسفر در سویا (*Glycine max* L.)

صادق وحدت مسعود[۱] و محمد علی ابوطالبیان[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر اسید هیومیک، بیوفسفات و کود فسفر بر خصوصیات کمّی، کیفی و کارایی زراعی فسفر سویا (*Glycine max* L.) رقم هابیت، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار و تابستان سال ۱۳۹۹ در همدان انجام شد. کود فسفر و بیوفسفات هرکدام در دو سطح مصرف و عدم مصرف و محلول‌پاشی اسید هیومیک در سه سطح ۰، ۲ و ۴ گرم در لیتر (طی دو مرحله ۱۵ و۳۰ روز پس از سبز شدن به‌میزان ۲۵۰ لیتر در هکتار)، عوامل این آزمایش بودند. نتایج نشان داد که در شرایط مصرف کود فسفر، کاربرد همزمان بیوفسفات و اسید هیومیک باعث افزایش ارتفاع بوته (۱۹/۲ درصد)، عملکرد زیستی (۲۸/۸ درصد) و تعداد غلاف در بوته (۲۰/۴ درصد) نسبت به عدم مصرف آن‌ها شد. مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک و بیوفسفات به‌ترتیب عملکرد دانه را ۲۷/۳ و ۲۶/۴ درصد و کارایی مصرف آب را ۲۶ و ۲۵ درصد افزایش داد. بالاترین درصد روغن دانه (۲۳/۲۱) با عدم مصرف فسفر و کاربرد همزمان چهار گرم در لیتر اسید هیومیک و بیوفسفات حاصل شد، درحالی‌که بیشترین درصد پروتئین دانه (۵۱/۳) در حضور فسفر، چهار گرم در لیتر اسید هیومیک در نبود بیوفسفات به‌دست آمد. مصرف توأم بیوفسفات و اسید هیومیک نسبت به مصرف جداگانه بیوفسفات، چهار و دو گرم در لیتر اسید هیومیک به‌ترتیب باعث افزایش ۲۱/۱، ۳۵/۷ و ۴۸/۳ درصدی کارایی زراعی فسفر شد. بنابراین، مصرف همزمان اسید هیومیک و بیوفسفات افزایش عملکرد کمّی و کیفی سویا را در پی دارد.

واژه‌های کلیدی: تعداد غلاف در بوته، درصد پروتئین، درصد روغن، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب

مقدمه

بخش قابل توجهی از نیاز داخلی کشور به روغن از طریق واردات تأمین می‌شود، این در حالی است که قیمت جهانی آن هر ساله رو به افزایش بوده و سالانه باعث خروج مقادیر قابل توجهی ارز از کشور می‌شود. بنابراین، افزایش تولید گیاهان روغنی در کشور و حرکت به سمت خودکفایی در تولید روغن، امکان‌پذیر و امری ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، گیاه سویا (*Glycine max* L.) با دارا بودن ۲۵-۱۸ درصد روغن، ۵۰ -۳۰ درصد پروتئین، تولید کنجاله مرغوب، دارا بودن انواع ویتامین و همچنین به‌دلیل قابلیت بالای هضم روغن آن و وجود اسیدهای چرب غیر اشباع، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Khan et al., 2020). به‌طوری‌که این گیاه اهمیت به‌سزایی در تغذیه انسان، دام، طیور و مصارف متعدد صنعتی داشته و در حال حاضر، از جهت آمار تولید و تجارت بین‌المللی، مهم‌ترین دانه بقولات به‌شمار می‌رود (Mohammadi et al., 2015).

یکی از مهم‌ترین مسائل در بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاهان روغنی، تغذیه مناسب و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد می‌باشد (Ghaly et al., 2020). در سال‌های اخیر،

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: m.aboutalebian@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2022.75382.1097

افزایش روز افزون قیمت کودهای شیمیایی در جهان، آلودگی آب‌های زیر زمینی و تخریب ساختمان خاک در اثر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، ضرورت بازنگری در نحوه و میزان مصرف این دسته از نهاده‌های شیمیایی را ایجاب کرده است، به‌طوری‌که امروزه استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی به‌عنوان یک راهکار مؤثر در کاهش مصرف این نهاده‌های شیمیایی در جهت افزایش عملکرد کمّی و کیفی گیاهان مطرح است (Nadir et al., 2014). از جمله کودهای زیستی مهم، باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاهان هستند که با فعالیت خود باعث افزایش ضریب جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر (Liu et al., 2020)، افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل نامساعد محیطی (Ali et al., 2021) و افزایش حاصلخیزی و بهبود ساختار خاک (Zaki et al., 2017) می‌شوند. این موجودات در اطراف ریزوسفر گیاه باعث بهبود رشد گیاه شده (Lombardo & Lamattina, 2012) و عملکرد کمّی و کیفی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Sarwar et al., 2014).

فسفر، دومین عنصر محدودکننده رشد گیاهان پس از نیتروژن محسوب می‌شود و سالانه مقادیر زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی بعد از ورود به خاک به‌فرم نامحلول درآمده و از دسترس گیاه خارج می‌شود. این مسئله به‌ویژه در خاک‌های آهکی شیوع زیادی دارد (Khan et al., 2020) و متأسفانه اغلب مزارع و باغات ایران دارای خاک آهکی و قلیایی (pH > ۷/۵) هستند (Malakouti, 2014). بر طبق نتایج تحقیقات متعدد، یکی از راهکارهای افزایش حلالیت و جذب فسفر خاک استفاده از انواعی کودهای زیستی به‌ویژه از نوع باکتریایی آن‌ها است که می‌تواند کارایی جذب فسفر گیاهان را افزایش دهد (Siswana et al., 2019; Dehsheikh et al., 2020). محققین در تلقیح بذور نوعی لوبیا (*Phaseolus radiatus* L.) با باکتری‌های حل‌کننده فسفات گزارش نموده‌اند که سطح برگ و محتوی فسفر گیاه از طریق تلقیح با باکتری *Burkholderia cepacia* افزایش معنی‌داری داشته است (Siswana et al., 2019). در پژوهش دیگری بر روی گیاه ماش (*Vigna radiata*) کاربرد دو باکتری حل‌کننده فسفات *Pseudomonas striata* و *Bacillus polymyxa* منجر به افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد غلاف در بوته، افزایش وزن هزار دانه و کلروفیل‌های a و b گیاه گردید (Hassan et al., 2017).

راهکار دیگر بهبود توسعه رشد ریشه از طریق القای ساخت ترکیبات هورمونی و شبه هورمونی در گیاه است که می‌تواند با کاربرد ترکیبات اسید هیومیک انجام گیرد (Jindo et al., 2020). گزارش شده است که اسید هیومیک به‌عنوان محرک رشد گیاه عمدتاً با تغییر در ساختار و افزایش انشعابات ریشه و پویایی رشد، سبب گستردگی ریشه و تراکم تارهای کشنده آن می‌شود. همچنین با تحریک فعالیت پمپ پروتون در غشای سلولی به‌ویژه سلول‌های ریشه و تقویت گرادیان الکتروشیمیایی در سراسر غشای سلولی، جذب عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد (Canella & Olivares, 2014). در گیاه ذرت (*Zea mays*) گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش بیان ساخت پمپ پروتون غشای سلولی شده است (Quaggiotti et al., 2004) که این خود در فرایند گسترش سلول‌های ریشه و افزایش کارایی جذب تارهای کشنده، بسیار مهم است و کارکرد اسید هیومیک در ریشه‌زایی مشابه هورمون اکسین در غلظت‌های کم بوده است (Zandonadi et al., 2007). بر اساس نتایج پژوهشی، کاربرد اسید هیومیک در آناناس (*Ananas comosus*) از طریق بهبود توسعه ریشه منجر به افزایش غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم برگ‌ها به ترتیب به‌میزان۵۲، ۷۱، ۵۰، ۵۸ و ۵۹ درصد شده است (Baldotto et al., 2009). همچنین گزارش شده است که اسید هیومیک می‌تواند سبب القای ساخت نیتریک اکسید (NO) در مکان‌های خروج ریشه‌های جانبی شود (Zandonadi et al., 2007) که جزئی از فرایندهای فیزیولوژیکی توسعه ریشه محسوب می‌شود (Lombardo & Lamattina, 2012). بر این اساس، در پژوهش حاضر برهم‌کنش سه عامل کود فسفر، اسید هیومیک و کود زیستی حل‌کننده فسفات (بیوفسفات) بر کارایی زراعی فسفر، کارایی مصرف آب، عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی دانه سویا مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهر همدان (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۸۰ متر از سطح دریا) به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول کود فسفات در دو سطح مصرف (۸۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات) و عدم مصرف، عامل دوم مصرف و عدم مصرف کود

زیستی حل‌کننده فسفات (بارور ۲) و عامل سوم اسید هیومیک در سه سطح عدم مصرف، محلول‌پاشی دو و چهار گرم در لیتر (طی دو مرحله ۱۵ و۳۰ روز پس از سبز شدن به‌میزان ۲۵۰ لیتر در هکتار) بود.

جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه برداری شد که نتایج آن در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of experimental soil

رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت Texture	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	نیتروژن کل Total N (%)	pH	هدایت الکتریکی E.C. (dS.m^{-1})	کربن آلی Organic C (%)
43	46	11	Loam	9.2	350	0.1	7.6	0.402	0.72

هر واحد آزمایشی شامل شش خط کاشت به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر و طول شش متر بود و تراکم کشت ۴۰ بوته در مترمربع تنظیم شد. بین کرت‌ها دو خط نکاشت و بین هر بلوک نیز دو متر فاصله در نظر گرفته شد. عملیات تهیه زمین شامل یک شخم و یک روتیواتور قبل از کاشت بود. کود فسفر در تیمارهای لازم به‌صورت نواری هنگام کاشت در زیر بذر مصرف شد. بعد از آماده‌سازی زمین، کشت بذرها بر اساس حداقل دمای مورد نیاز برای جوانه‌زنی سویا (۱۵ درجه سلسیوس) در دهم خرداد انجام شد. رقم هابیت بذر سویا که رقمی زودرس و رشد محدود است، در این طرح استفاده گردید. کود زیستی حل‌کننده فسفات (بارور ۲) از شرکت زیست فناور سبز تهیه شد که بنابر توصیه شرکت سازنده نیم لیتر در هکتار هنگام کاشت با بذرها تلقیح گردید. این کود حاوی باکتری‌های *Pseudomonas putida* strain P13 و *Pantoea agglomerans* strain P5 با ۱۰۷ تا ۱۰۸ واحد تشکیل‌دهنده کلونی بر میلی‌لیتر بود که ضمن توجه به تاریخ مصرف درج شده روی محصول از محیط کشت پلیت کانت آگار نیز برای اطمینان از تعداد فعال ریزجانداران استفاده شد (Maes et al., 2020). در تمام تیمارها از مایه تلقیح تثبیت‌کننده نیتروژن اختصاصی سویا (*Bradyrhizobium japonicum*) استفاده شد. مایه تلقیح برادی‌ریزوبیوم نیز به‌شکل مایع بود و بر اساس گزارش مؤسسه آب و خاک کرج که تولیدکننده این محصول می‌باشد، در هر میلی‌لیتر آن $۱۰^{۱۱} \times$ ۸/۵ سلول زنده و فعال باکتری وجود داشت که با نسبت یک لیتر در هکتار مصرف شد. کود نیتروژن تنها در زمان کاشت به‌عنوان شروع‌کننده به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره مصرف شد. اسید هیومیک مورد استفاده نیز لیگنوهیومکس پودری شرکت G. P. P. W تولید کشور سوئیس بود. در طول فصل رشد، آبیاری به‌صورت قطره‌ای انجام شد. متوسط آب مصرف شده در هر بار آبیاری با دور تقریباً هفت روز حدود ۳۱۰ مترمکعب در هکتار بود که بر اساس رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی با استفاده از معادله ۱ (Mazaheri & Majnon Hoseini, 2001) محاسبه و انجام شد.

$$d = [(F_c-P_0)/100]\times A_S\times D \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، d: ارتفاع آب آبیاری بر حسب سانتی‌متر، Fc: درصد رطوبت وزنی خاک در مرحله ظرفیت زراعی (۲۶ درصد)، P_0: درصد رطوبت وزنی خاک هنگام آبیاری، A_S وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۳۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و D: عمق توسعه ریشه (۳۵ سانتی‌متر) بود که با ضرب ارتفاع آبیاری در ۱۰۰، عدد به‌دست آمده بر حسب متر مکعب در هکتار می‌شود. حجم آب محاسبه شده در معادله ۱ بر اساس متوسط دبی خروجی آب قطره چکان‌ها در ساعت، به‌مدت زمان لازم در هر بار آبیاری تبدیل شد تا بتوان کارایی آب مصرف شده را اندازه‌گیری کرد.

برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد در زمان رسیدن محصول، با رعایت اثر حاشیه‌ای، در سوم مهرماه حدود سه مترمربع از هر کرت انتخاب و نمونه‌هایی شامل ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر واحد آزمایشی برای ارزیابی اجزای عملکرد استفاده شدند. در این پژوهش، عملکرد دانه برحسب ۱۴ درصد رطوبت اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد اقتصادی بر عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد. محاسبه کارایی زراعی فسفر از معادله ۲ (Sadeghi & Aboutalebian, 2019) (بر حسب کیلوگرم افزایش دانه بر کیلوگرم فسفات مصرف شده) و کارایی مصرف آب نیز از نسبت عملکرد دانه بر آب مصرف شده در کل دوره رشد (بر حسب کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب)، محاسبه شد (Parvizi & Nabati, 2004).

معادله (۲)

$$\text{کارایی زراعی فسفر} = \frac{\text{عملکرد دانه در تیمار شاهد} - \text{عملکرد دانه در تیمار کودی}}{\text{میزان کود مصرفی فسفات}}$$

درصدهای روغن و پروتئین نیز به‌ترتیب با سوکسله و کجلدال اندازه‌گیری شد. در روش کجلدال برای محاسبه درصد پروتئین خام، درصد نیتروژن نمونه‌ها در عدد ۶/۲۵ ضرب شد (Parvizi & Nabati, 2004). در این تحقیق، پس از کنترل نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها، برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS Ver. 9.1 و برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. ضمناً برای مقایسه میانگین اثرات متقابل نیز از نرم‌افزار MSTAT-C استفاده شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر طبق نتایج، کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش دوگانه بیوفسفات و اسید هیومیک و برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین ارتفاع سویا از تیمار مصرف کود فسفر و مصرف همزمان بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد. در تمام سطوح تیماری، کاربرد چهار گرم در لیتر اسید هیومیک توانست با افزایش قابل توجه ارتفاع بوته برتری خود را حتی نسبت به کاربرد دو گرم در لیتر آن (به‌جز در شرایط عدم مصرف کود فسفر و عدم کاربرد بیوفسفات) نشان دهد (شکل ۱). به نظر می‌رسد، اسید هیومیک غلیظ‌تر (چهار گرم در لیتر) با افزایش تولید هورمون گیاهی ایندول استیک اسید منجر به افزایش ارتفاع بوته شده باشد (Ali et Matuszak-Slamani et al., 2017; al., 2021; Mahmood et al., 2020). تحت شرایط نبود کود فسفر و عدم تلقیح با بیوفسفات حتی در حضور کود فسفر، از آنجا که توسعه ریشه و جذب فسفر محدودتر می‌شود (Ghasemi et al., 2012)، محلول‌پاشی با اسید هیومیک دو گرم در لیتر نتواست اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته بگذارد (شکل ۱). همچنین در نبود فسفر، کاربرد بیوفسفات در هر سه سطح اسید هیومیک مصرف شده، اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گذاشته است که ممکن است دلیل آن القای ساخت ترکیبات شبه هورمونی در گیاه به‌علت فعالیت باکتری‌های حل‌کننده فسفر موجود در بیوفسفات باشد (Niazy et al., 2016; Manzoor et al., 2021). اثر مثبت کاربرد توأم اسید هیومیک و بیوفسفات بر ارتفاع بوته را می‌توان به افزایش جذب فسفر به‌ویژه در خاک‌های آهکی نسبت داد (Malakouti, 2014). طبق نتایج پژوهش‌های متعدد، کودهای زیستی باعث حل شدن فسفر موجود در خاک شده و در کنار آن، اسید هیومیک با تحریک رشد ریشه می‌تواند در افزایش جذب فسفر مؤثر باشد (De Hita et al., 2020; Zandonadi et al., 2007; Winarso et al., 2017).

عملکرد زیستی

در تحقیق حاضر، عملکرد زیستی سویا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تمام اثرات اصلی و برهم‌کنش‌ها قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های عملکرد زیستی سویا تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین عملکرد زیستی سویا از تیمار مصرف کود فسفر و مصرف همزمان بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک و مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نداشت (شکل ۲). همچنین تیمار عدم مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک با تیمارهای مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک و مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک در یک گروه آماری قرار داشتند که می‌تواند بیانگر تأثیر جبران‌کنندگی فقدان هر یک از عوامل کود فسفر یا بیوفسفات توسط محلول‌پاشی اسید هیومیک چهار گرم در لیتر است (شکل ۲). مصرف توأم بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به عدم مصرف آن‌ها، در دو حالت مصرف و عدم مصرف کود فسفر به‌ترتیب باعث افزایش ۳۴/۲۳ و ۴۰/۵۶ درصدی عملکرد زیستی سویا شد.

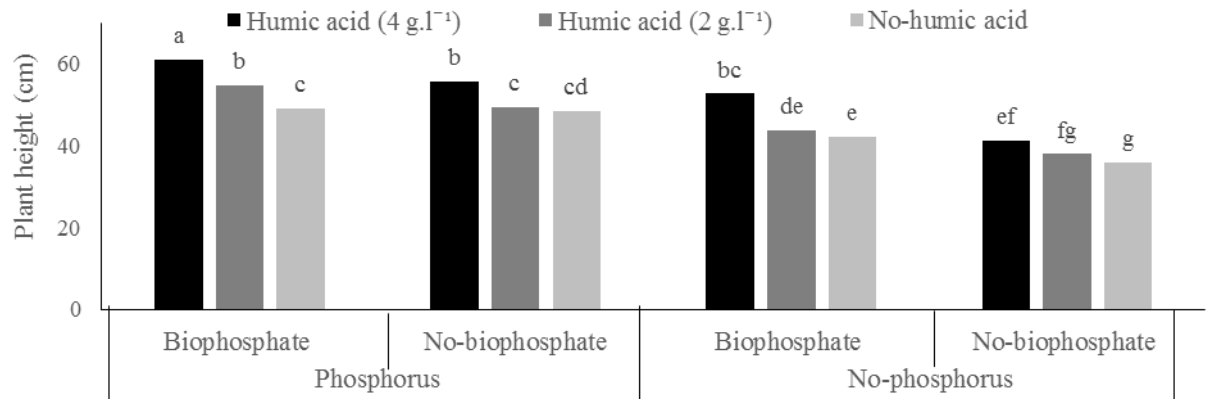
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات زراعی و مرتبط با عملکرد سویا تحت تأثیر کود فسفر، بیوفسفات و اسیدهیومیک

Table 2- Results of analysis of variance (mean of squares) of some agronomic traits of soybean affected by phosphorus fertilizer, biophosphate and humic acid

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد زیستی Biological yield	تعداد غلاف در بوته Pod No. per plant	تعداد دانه در غلاف Seed No. per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب Water use efficiency	درصد پروتئین Seed protein percent	درصد روغن Seed oil percent
بلوک Block	2	11.88^{ns}	289^{ns}	0.43^{ns}	1.68^{**}	556.54^{**}	4928^{**}	5.93^{ns}	0.02^{**}	0.0006^{ns}	0.47^{**}
کود فسفر (P) Phosphorus fertilizer	1	803.72^{**}	132715^{**}	105.54^{**}	1.73^{**}	465.96^{**}	44229^{**}	147.42^{**}	0.18^{**}	25.31^{**}	3.44^{**}
بیوفسفات (BP) Biophosphate	1	270^{**}	41131^{**}	28.40^{**}	0.94^{**}	457.14^{**}	36155^{**}	123.44^{**}	0.14^{**}	30.38^{**}	1.26^{**}
اسید هیومیک (H) Humic acid	2	164.30^{**}	30902^{**}	14^{**}	0.47^{**}	139.85^{*}	13596^{**}	19.50^{**}	0.05^{**}	10.05^{**}	0.49^{*}
P × BP	1	9.30^{ns}	8220^{**}	1.02^{ns}	0.004^{ns}	3.91^{ns}	0.54^{ns}	1.41^{ns}	0.00002^{ns}	74.28^{**}	6.02^{**}
P × H	2	15.86^{ns}	3681^{*}	0.58^{ns}	0.003^{ns}	463.83^{**}	64^{ns}	2.25^{ns}	0.0002^{ns}	65.90^{**}	4.55^{**}
BP × H	2	65.78^{**}	3489^{*}	3.21^{*}	0.003^{ns}	577.09^{**}	98^{ns}	21.73^{*}	0.0004^{ns}	6.91^{**}	2.61^{**}
P × BP × H	2	31^{*}	5548^{**}	2.78^{*}	0.02^{ns}	14.23^{ns}	1369^{ns}	17.03^{**}	0.0007^{ns}	61.31^{**}	6.06^{**}
خطای آزمایشی Error	22	9	839	0.62	0.06	43.2	444	4.43	0.004	0.21	0.13
ضریب تغییرات C.V. (%)		6.19	5.15	5.16	10.7	4.27	7.54	5.26	7.5	1.03	1.17

**، * و ns: به‌ترتیب، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار

**, *, and ns: are significant at 1% and 5% probability levels and non-significant, respectively

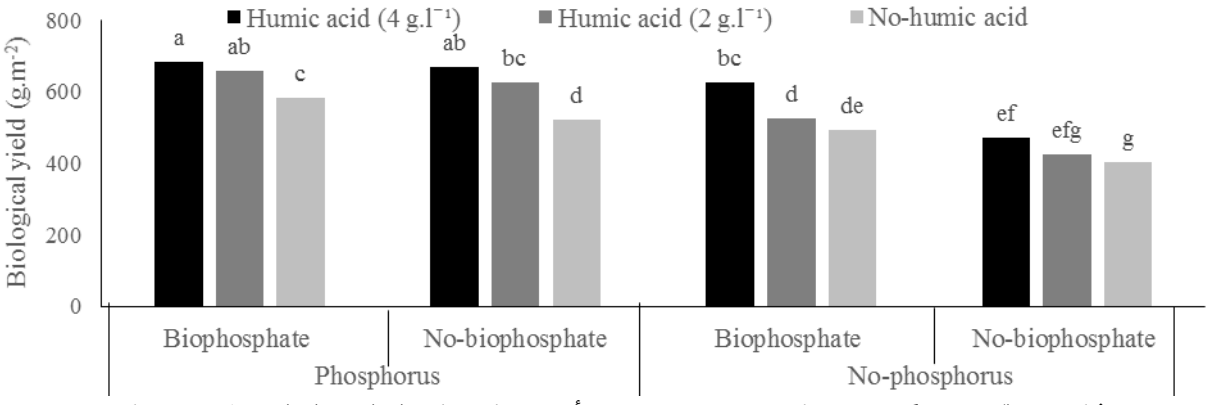


شکل ۱- مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 1- Means comparison of soybean plant height affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های عملکرد زیستی سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 2- Means comparison of soybean biological yield affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

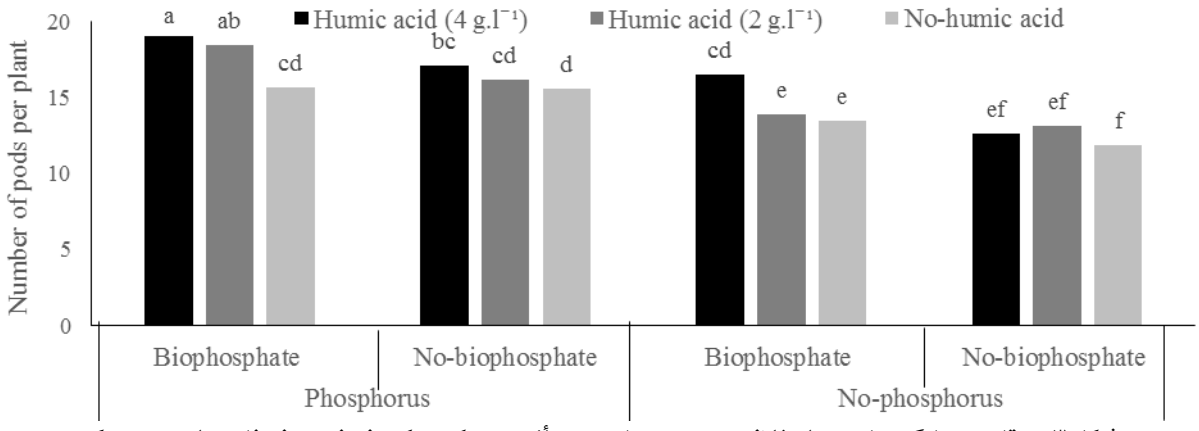
همچنین در سطح تیماری عدم مصرف کود فسفر و مصرف بیوفسفات، محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به دو گرم در لیتر آن، عملکرد زیستی سویا را ۱۳/۹ درصد افزایش داد (شکل ۲). علت برتری محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به دو گرم آن را می‌توان به اثر تقویتی بیوفسفات با غلظت بالاتر اسید هیومیک بر القای بیشتر ساخت هورمون‌های ریشه‌زایی مثل سیتوکنین و اکسین نسبت داد (Lingaraju et al., 2016).

در تحقیقات متعددی ثابت شده است که مصرف بیوفسفات‌ها، همزیستی گیاهان لگوم را با باکتری *ریزوبیوم*، تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش تعداد گره‌های تثبیت نیتروژن و وزن خشک این گره‌ها می‌شود (Hassan et al., 2017;Yousefi et al., 2020). بنابراین، وجود یک رابطه سه جانبه و مثبت بین گیاه، *ریزوبیوم* و بیوفسفات‌ها، عملکرد زیستی سویا را تحت تأثیر قرار داده است. بر اساس یافته‌ها، کاربرد اسید هیومیک، محتوی عناصر پرمصرف و همچنین برخی از ریزمغذی‌های گیاه را افزایش معنی‌داری داده است و همین امر باعث افزایش سطح برگ گیاه و افزایش تولید ماده خشک شده است

; El-Sheshtawy et al., Matuszak-Slamani et al., 2017)
.(2019; Jindo et al., 2020

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس تعداد غلاف در بوته سویا نشان داد که کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته‌ها داشتند. برهم‌کنش دوگانه بیوفسفات و اسید هیومیک نیز در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته سویا از تیمار مصرف کود فسفر و مصرف همزمان بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک نداشت. همچنین، نتایج نشان داد که تعداد غلاف در بوته‌ها در تیمارهای مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک و مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳). تیمار عدم مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف اسید هیومیک (در هر دو غلظت) نیز از نظر تولید تعداد غلاف در بوته در سطح قابل قبولی قرار داشت، یعنی در شرایط کمبود فسفر قابل جذب خاک، می‌توان با کاربرد توأم بیوفسفات و محلول‌پاشی با غلظت چهار گرم در لیتر اسید هیومیک تعداد غلاف در بوته را حدود ۲۲ درصد نسبت به بقیه تیمارها افزایش داد. (شکل ۳). در تحقیق حاضر، کمترین تعداد غلاف در بوته سویا بدون توجه به مصرف یا عدم مصرف اسید هیومیک در شرایط عدم کاربرد کود فسفر و عدم تلقیح با بیوفسفات به‌دست آمد (شکل ۳) یعنی در نبود فسفر و بیوفسفات، محلول‌پاشی اسید هیومیک اثری بر تعداد غلاف در بوته سویا نداشته است. در پژوهشی به اثر هم‌افزایی کودهای فسفری و زیستی بر کارایی اسید هیومیک روی خصوصیات زراعی جو تأکید شده است (El-Sheshtawy et al., 2019). براساس نتایج تحقیقات مختلف، عنصر فسفر و عناصر ریزمغذی از جمله روی و آهن و همچنین فیتوهورمون‌ها نقش مهمی در رشد زایشی گیاه و افزایش تعداد گل‌های بارور در گیاه دارند (Malakouti, 2014). در یک تحقیق گزارش شد که مصرف کودهای زیستی از جمله باکتری‌های حل‌کننده فسفات به‌طور معنی‌داری تعداد دانه و تعداد غلاف در بوته ماش را افزایش داد (Hassan et al., 2017).



شکل ۳ - مقایسه میانگین‌های تعداد غلاف در بوته سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 3- Means comparison of the number of pods per soybean plant affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

تعداد دانه در غلاف

تجزیه واریانس تعداد دانه در غلاف سویا نشان داد که تنها اثر اصلی عوامل مورد بررسی در سطح یک درصد بر روی این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های تعداد دانه در غلاف سویا

تحت تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف از کاربرد کود فسفر، مصرف بیوفسفات و محلول‌پاشی اسید هیومیک بدون توجه به غلظت آن، به‌دست آمد (جدول ۳). مصرف کود فسفر نسبت به عدم مصرف آن، ۱۹/۴درصد، مصرف بیوفسفات نسبت به عدم مصرف آن، ۱۴/۶ درصد و همچنین مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به عدم مصرف آن، ۱۶/۸ درصد تعداد دانه در غلاف سویا را افزایش دادند. یکی از عناصر غذایی مهم در رشد زایشی گیاهان، فسفر می‌باشد که نقش مهمی در فرآیندهای تلقیح و رشد لوله گرده دارد (Khan et al., 2020). بنابراین، تأمین فسفر برای گیاه چه از طریق کوددهی و چه از طریق روش تثبیت زیستی، می‌تواند تعداد دانه در غلاف سویا را افزایش دهد. در بررسی اثر سطوح مختلف کودهای فسفاته بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا، گزارش شد که مصرف کودهای فسفاته باعث افزایش تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف شد (Turuko et al., 2014). همچنین گزارش شده است که اسید هیومیک با افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، فرآیند دانه‌بندی در گیاه را بهبود می‌بخشد (El-Sheshtawy et al., 2019).

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های تعداد دانه در غلاف سویا، تحت تأثیر اثر اصلی کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Table 3- Means comparison of seed per pod affected by phosphorus fertilizer, biophosphate and humic acid

کود فسفر Phosphorus fertilizer		بیوفسفات Biophosphate		اسید هیومیک Humic acid (g.l^{-1})		
عدم مصرف No-use	مصرف Use	عدم مصرف No-use	مصرف Use	0	2	4
2.21 ^{b}	2.64 ^{a}	2.26 ^{b}	2.59 ^{a}	2.2 ^{b}	2.51 ^{a}	2.57 ^{a}*

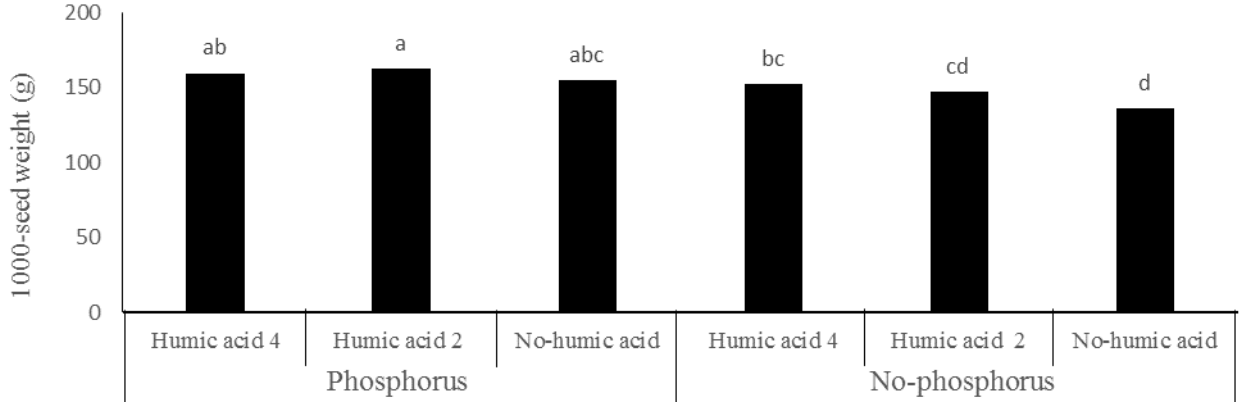
* میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در هر عامل، تفاوت معنی‌داری بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

* Means in each factor, with at least one similar letter, are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس وزن هزار دانه سویا نشان داد که کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند. برهم‌کنش دوگانه کود فسفر و اسید هیومیک و همچنین بیوفسفات و اسید هیومیک نیز در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه سویا داشتند. این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه فاکتورهای مورد بررسی قرار نگرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه سویا تحت تأثیر برهم‌کنش دوگانه کود فسفر و اسید هیومیک نشان داد که وزن هزار دانه سویا در شرایط مصرف کود فسفر اختلاف معنی‌داری در بین سطوح اسید هیومیک نشان نداد، ولی در شرایط عدم مصرف کود فسفر، محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک سبب افزایش قابل توجه وزن هزار دانه نسبت به عدم مصرف اسیدهیومیک گردید (شکل۴). به نظر می‌رسد در شرایط کمبود فسفر، ساخت مواد فتوسنتزی کمتر شده و به‌دلیل رقابت بین دانه‌ها برای دریافت این مواد، وزن دانه کاهش می‌یابد (Khan et al., 2020)، امّا با محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک، احتمالاً با گسترش بیشتر ریشه و تولید بیشتر آنزیم‌هایی مانند فسفاتازها، جذب فسفر افزایش یافته و سبب بهبود عرضه ترکیبات فتوسنتزی به دانه‌های در حال پر شدن می‌شود (Lingaraju et al., 2016).

مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه سویا تحت تأثیر برهم‌کنش دوگانه بیوفسفات و اسید هیومیک نیز نشان داد که در سطح مصرف بیوفسفات، بین سطوح عامل اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری بر وزن هزار دانه وجود نداشت، امّا در شرایط عدم کاربرد بیوفسفات محلول‌پاشی اسید هیومیک فارغ از غلظت آن، منجر به افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با عدم مصرف آن گردید (شکل ۵)، این نتیجه می‌تواند بیان‌کننده اثر مثبت اسید هیومیک بر بهبود جذب فسفر در شرایط محدودیت این عنصر باشد. به‌نظر می‌رسد که مصرف اسید هیومیک با تحریک فتوسنتز و افزایش ترشحات ریشه بر رابطه همزیستی گیاه با باکتری‌های حل‌کننده فسفات اثر مثبت گذاشته است (Liu et al., 2020). محققین در بررسی برهم‌کنش کودهای زیستی و محلول‌پاشی اسید هیومیک گزارش نمودند که مصرف توأم آن‌ها نسبت به مصرف منفرد و عدم مصرف آن‌ها باعث افزایش معنی‌داری در تعداد دانه و وزن هزار دانه سویا شد (Lingaraju et al., 2016).

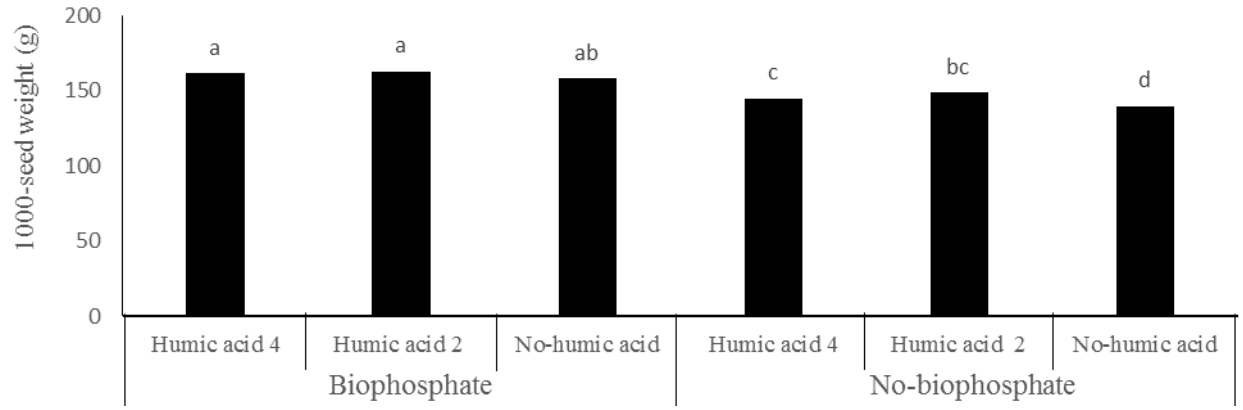


شکل ٤- مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر و اسید هیومیک (۲ و ٤ گرم در لیتر اسید هیومیک است)

Fig. 4- Means comparison of 1000 seed weight of soybeans affected by phosphorus fertilizer and humic acid interaction (2 and 4 are grams per liter of humic acid)

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.



شکل ٥- مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 5- Means comparison of 1000 seed weight of soybeans affected by phosphorus fertilizer and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

عملکرد دانه

تجزیه واریانس عملکرد دانه سویا نشان داد که اثرات اصلی کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک، در سطح یک درصد بر این صفت مهم معنی‌دار شده است. در این پژوهش، عملکرد دانه تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل مورد بررسی قرار نگرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه سویا تحت تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از کاربرد کود فسفر، مصرف بیوفسفات و مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به سایر سطوح در هر عامل به‌دست آمد (جدول ۴). مصرف کود فسفر نسبت به عدم مصرف آن، ۲۸/۶۷ درصد، مصرف بیوفسفات نسبت به عدم مصرف آن، ۲۶/۴ درصد و همچنین مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به دو گرم در لیتر و عدم مصرف اسید هیومیک به‌ترتیب ۱۲/۲۲ و ۲۷/۳۶ درصد عملکرد دانه سویا را افزایش دادند (جدول ۴). تامین فسفر به‌دلیل تحرک کم و همچنین واکنش با بیکربنات‌ها و تثبیت آن در خاک، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رسیدن گیاهان به حداکثر پتانسیل

عملکرد دانه محسوب می‌شود (Malakouti, Khan et al., 2020 ; 2014). استفاده از کودهای زیستی و باکتری‌های حل‌کننده فسفات به نظر می‌رسد از طریق ترشح اسیدهای آلی در محل ریزوسفر باعث افزایش حلالیت فسفر می‌شوند (Nadir et al., 2014). در بررسی اثر بیوفسفات بر جذب فسفر و افزایش عملکرد ماش گزارش شد که مصرف ۴۵ کیلوگرم فسفر از منبع شیمیایی به همراه مصرف باکتری‌های حل‌کننده فسفات اثر معنی‌داری بر افزایش جذب فسفر، پتاسیم و نیتروژن گیاه داشته و بیشترین عملکرد را تولید نمود (Sarwar et al., 2014). در تحقیق دیگری، محققین بیان داشتند که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش عملکرد دانه ذرت شد. این محققین دلیل این امر را به افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی نسبت دادند (Manzoor et al., 2021). از طرفی، پتانسیل تولید سیدروفورهای مختلف به‌وسیله باکتری‌های حل‌کننده فسفات، در افزایش قابلیت جذب عناصر ریزمغذی از جمله Fe، Zn و Mo از دیگر دلایل بهبود عملکرد بیان شده است (Narula et al., 2000). شایان ذکر است که بررسی میانگین‌های عملکرد دانه تحت کاربرد اسید هیومیک نشان داد که محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به دو گرم در لیتر آن، اثر بیشتری بر افزایش عملکرد دانه داشت که می‌توان نتیجه گرفت، غلظت بالاتر اسید هیومیک با القای بیشتر ساخت هورمون‌های گیاهی، بهبود ظرفیت فتوسنتزی و افزایش جذب عناصر غذایی مؤثرتر عمل کرده است (Lingaraju et al., 2016).

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه سویا، تحت تأثیر اثر اصلی کود فسفر، بیوفسفات و مصرف اسید هیومیک

Table 4- Means comparison of soybean seed yield affected by the main effects of phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid

عملکرد دانه سویا Soybean seed yield ($g.m^{-2}$)						
اسید هیومیک Humic acid ($g.l^{-1}$)			بیوفسفات Biophosphate		کود فسفر Phosphorus fertilizer	
4	2	0	مصرف Use	عدم مصرف No-use	مصرف Use	عدم مصرف No-use
313.34 a*	279.22 b	246.02 c	313.22 a	247.83 b	314.58 a	244.47 b

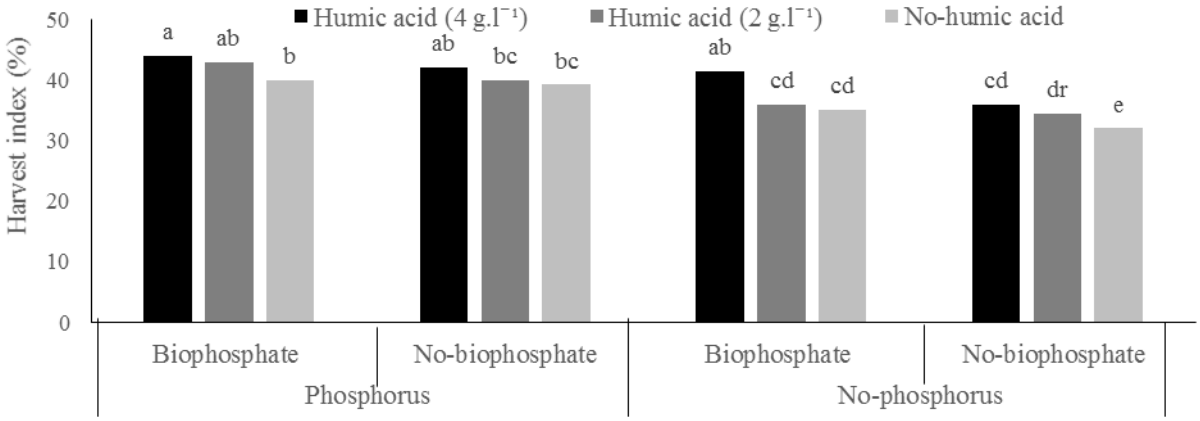
*میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در هر عامل، تفاوت معنی‌داری بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

* Means in each factor, with at least one similar letter, are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس شاخص برداشت سویا نشان داد که کود فسفر، بیوفسفات در سطح یک درصد و اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشتند. برهم‌کنش دوگانه بیوفسفات و اسید هیومیک و برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نیز در سطح پنج درصد بر شاخص برداشت سویا معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های شاخص برداشت تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین شاخص برداشت سویا از تیمار مصرف کود فسفر و مصرف همزمان بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک، مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک و عدم مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نداشت. همچنین نتایج نشان داد که در تیمارهای عدم مصرف کود فسفر، مصرف همزمان بیوفسفات + چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به مصرف منفرد بیوفسفات و اسید هیومیک اختلاف بسیار معنی‌داری داشت که البته این میزان اختلاف در سطح مصرف کود فسفر کمتر بود (شکل ۶). در پژوهش حاضر، مصرف توأم بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک نسبت به عدم مصرف آن‌ها، در شرایط مصرف کود فسفر باعث افزایش ۹/۵ درصدی شاخص برداشت، و در شرایط عدم مصرف کود فسفر منجر به افزایش ۱۹ درصدی شاخص برداشت شد. لذا، به‌نظر می‌رسد که در شرایط کمبود فسفر قابل جذب خاک، کاربرد همزمان بیوفسفات و محلول‌پاشی اسید هیومیک در غلظت بالاتر می‌تواند عامل مهمی در افزایش شاخص برداشت باشد. مطالعه

تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک در کنار کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و مایکوریزا نشان داد که فراهمی عنصر غذایی فسفر نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت سویا داشته است (Lingaraju et al., 2016).



شکل ٦- مقایسه میانگین‌های شاخص برداشت سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 6- Means comparison of soybean harvest index affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

کارایی مصرف آب

تجزیه واریانس کارایی مصرف آب نشان داد که سطوح مختلف عامل‌های کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک، در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر این شاخص داشتند، امّا برهم‌کنش عوامل مورد بررسی اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف کود فسفر، کارایی مصرف آب را ۲۸ درصد افزایش داد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد که افزایش فراهمی فسفر با کوددهی از طریق افزایش عملکرد دانه سویا باعث افزایش کارایی مصرف آب گردیده است. در یک تحقیق که با هدف بهبود کارایی مصرف آب در نخود در خاک‌هایی با بافت مختلف انجام شده است، محققین بیان داشتند که مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر نسبت به عدم مصرف آن با افزایش عملکرد دانه و رشد ریشه، کارایی مصرف آب را نیز افزایش داد (Lusiba et al., 2018). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مصرف کود زیستی فسفر نیز اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب سویا داشت و این صفت را به‌میزان ۲۵ درصد بهبود بخشید (جدول ۵). باکتری‌های حل‌کننده فسفات با افزایش جذب عناصر غذایی، تحریک فتوسنتز گیاه و افزایش زیست‌توده گیاه باعث افزایش عملکرد نهایی محصول می‌شوند (Matuszak-Slamani et al., 2017) مجموع این عوامل می‌تواند به گیاه کمک نموده تا به‌ازای آب مصرفی، ماده خشک بیشتری تولید نموده و کارایی مصرف آب افزایش یابد. در یک تحقیق که اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات در سطوح مختلف آبیاری در گیاه گندم (*Triticum aestivum*) مورد ارزیابی قرار گرفت، گزارش شد که این ریزجانداران چه به‌صورت منفرد و چه در کنار مصرف کود فسفر، کارایی مصرف آب را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (Azami-Atajan et al., 2020). در پژوهش حاضر، محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌میزان چهار و دو گرم در لیتر نیز نسبت به عدم مصرف آن، کارایی مصرف آب را به‌ترتیب ۲۶ و ۱۷ درصد افزایش داد (جدول ۵). همان‌طور که در بررسی صفات قبلی ذکر شد، اسید هیومیک اثر مثبتی بر عملکرد زیستی (شکل ۲) و عملکرد دانه (جدول ۴) سویا داشت؛ بنابراین می‌توان بیان نمود که این ماده محرک رشد با بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تحریک رشد ریشه (Dehsheikh et al., 2020; De Hita et al., 2020; Lingaraju et al., 2016; Nadir et al., 2014)، رشد و عملکرد سویا را بهبود و باعث افزایش کارایی مصرف آب گردیده است.

کارایی زراعی فسفر

طبق نتایج تجزیه واریانس، کارایی زراعی فسفر در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر بیوفسفات، اسید هیومیک و برهم‌کنش دوگانه آن‌ها قرار گرفت (جدول ۶).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های کارایی مصرف آب، تحت تأثیر اثر اصلی کود فسفر، بیوفسفات و مصرف اسید هیومیک

Table 5- Means comparison of water use efficiency of soybean affected by the main effect of phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid

کارایی مصرف آب سویا Soybean water use efficiency ($kg.m^{-3}$)						
اسید هیومیک Humic acid ($g.l^{-1}$)			بیوفسفات Biophosphate		کود فسفر Phosphorus fertilizer	
4	2	0	مصرف Use	عدم مصرف No-use	مصرف Use	عدم مصرف No-use
0.681 a	0.607 b	0.514 c	0.676 a	0.538 b	0.683 a	0.491 b

* میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در هر عامل، تفاوت معنی‌داری بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند

* Means in each factor, with at least one similar letter, are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس کارایی زراعی فسفر

Table 6- Results of analysis of variance of phosphorus agronomic efficiency

منبع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares
بلوک Block	2	3.42^{*}
بیوفسفات (BP) Biophosphate	1	77.76^{**}
اسید هیومیک (H) Humic acid	2	22.96^{**}
BP × H	2	34.89^{**}
خطای آزمایشی Error	10	1.69
ضریب تغییرات C.V. (%)		4.48

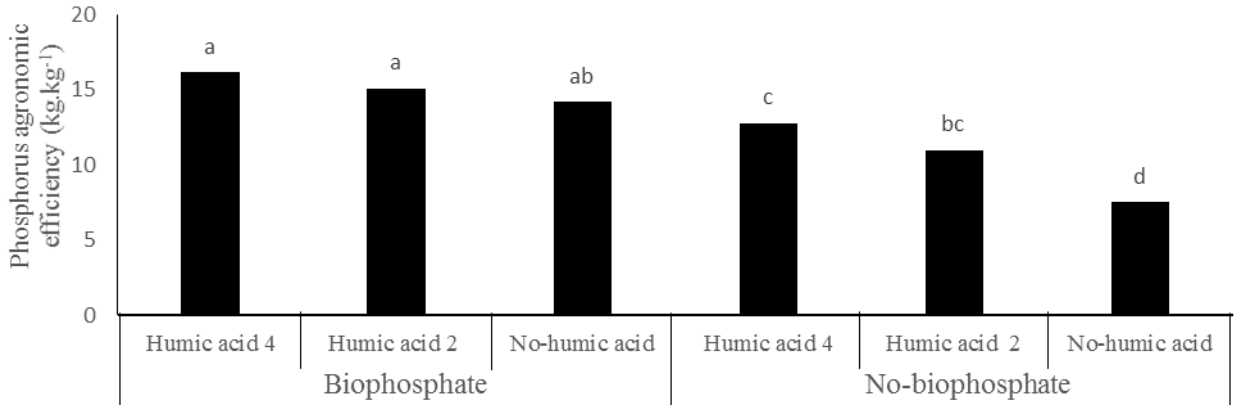
**، * و ns: به‌ترتیب، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار

**,*, and ns: are significant at 1% and 5% probability levels and non-significant, respectively.

مقایسه میانگین‌های کارایی زراعی فسفر تحت تأثیر برهم‌کنش دوگانه بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین مقدار این صفت از تیمار مصرف بیوفسفات + محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد که با تیمار مصرف بیوفسفات + محلول‌پاشی دو گرم در لیتر اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۷). محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر اسید هیومیک در سطح بدون بیوفسفات توانست کارایی زراعی فسفر را در حد حضور بیوفسفات و حتی کاربرد دو گرم در لیتر اسید هیومیک (در شرایط حضور بیوفسفات) افزایش دهد، لذا می‌توان به نقش قابل توجه اسید هیومیک غلیظ (چهار گرم در لیتر) در بهبود کارایی جذب فسفر سویا پی برد. در بررسی برهم‌کنش باکتری‌های حل‌کننده فسفات و مصرف اسید هیومیک در سطوح مختلف کود فسفر گزارش شد که بیشترین کارایی زراعی فسفر از تلقیح بذور ماش با باکتری‌های حل‌کننده فسفات به همراه مصرف خاکی اسید هیومیک به‌دست آمد (Sarwar et al., 2014). در گندم نیز تلقیح بذور با بیوفسفات و محلول‌پاشی اسید هیومیک افزایش قابل توجهی در کارایی استفاده از فسفر ایجاد کرده است (Niazy et al., 2016).

درصدهای روغن و پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس‌ها نشان داد که کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر درصدهای روغن و پروتئین دانه سویا داشتند. تمامی برهم‌کنش‌های دوگانه و برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد بر درصدهای روغن و پروتئین دانه معنی‌دار شدند (جدول ۲).



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های کارایی زراعی فسفر، تحت تأثیر مصرف بیوفسفات و اسید هیومیک (۲ و ٤ گرم در لیتر اسید هیومیک است)

Fig. 7- Mean comparison of phosphorus agronomic efficiency affected by humic acid and biophosphate (2 and 4 are grams per liter of humic acid)

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

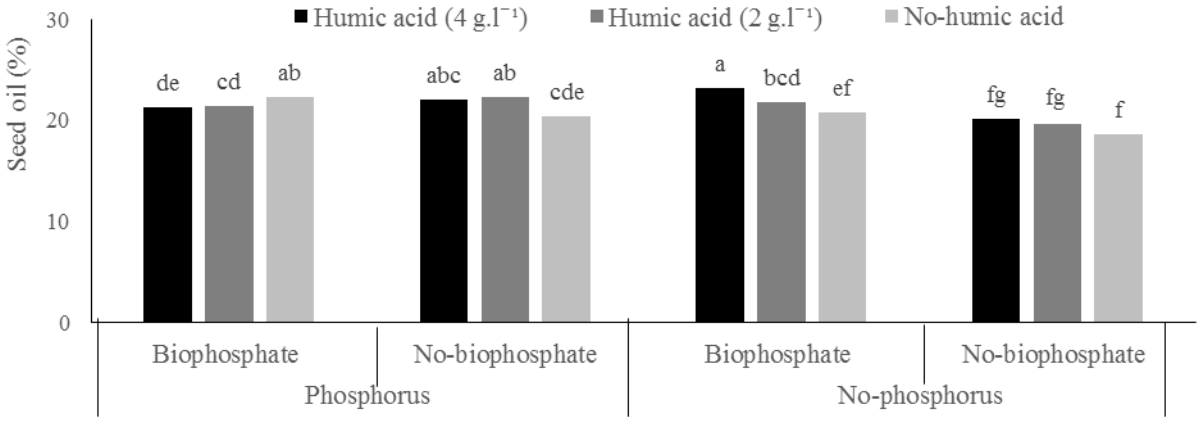
* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

مقایسه میانگین‌ها، تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین درصد روغن و پروتئین دانه در تیمار عدم مصرف کود فسفر و مصرف همزمان بیوفسفات و چهار گرم در لیتر اسید هیومیک تولید شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف چهار گرم در لیتر اسید هیومیک، مصرف کود فسفر + عدم مصرف بیوفسفات + مصرف دو گرم در لیتر اسید هیومیک و مصرف کود فسفر + مصرف بیوفسفات + عدم مصرف اسید هیومیک نداشت (شکل‌های ۸ و ۹). طبق شکل ۸ در شرایط کمبود فسفر قابل جذب در خاک، مصرف بیوفسفات اهمیت بیشتری از محلول‌پاشی اسید هیومیک دارد، زیرا در شرایط عدم مصرف بیوفسفات، تفاوت معنی‌داری بین درصد روغن دانه در سطوح مختلف اسید هیومیک مشاهده نمی‌شود. تحت شرایط مصرف کود فسفر و بیوفسفات، محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به کاهش درصد روغن دانه شد (شکل ۸) که به نظر می‌رسد، علت آن افزایش بیشتر عملکرد دانه باشد که در شکل ۶ به‌صورت شاخص برداشت بالاتر در این تیمار رخ داده است. نتایج تحقیقات مختلف ثابت نموده است که تأمین عناصر غذایی و افزایش فراهمی آن نقش مهمی در بهبود صفات کیفی گیاه از جمله محتوای روغن و پروتیین دانه‌ها دارد. در بین عناصر غذایی، گزارش شده است که عنصر فسفر نقش ضروری و معنی‌داری در تولید و افزایش روغن در رقم‌های مختلف سویا دارد (Khan et al., 2020). در بررسی برهم‌کنش اسید هیومیک و کودهای زیستی نسبت به تیمار شاهد بیان شده است که درصد پروتئین و عملکرد کیفی سویا افزایش داشته است (Lingaraju et al., 2016). این محققین بیان داشتند که تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی، جذب عناصر غذایی از جمله، پتاسیم، فسفر و نیتروژن افزایش یافته و در پی این امر، عملکرد، اجزای عملکرد و صفات کیفی گیاه سویا از جمله درصد روغن و پروتئین دانه‌ها افزایش یافت. در تحقیق دیگری نیز گزارش شد که بیشترین مقدار روغن سویا در تیمار تلقیح کودهای زیستی فسفر به‌دست آمد (Ghaly et al., 2020). در ذرت (Manzoor et al., 2021) و ماش (Hassan et al., 2017) نیز تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات منجر به افزایش درصد پروتئین دانه شد. محلول‌پاشی اسید هیومیک نیز به‌عنوان یک ماده محرک رشد، با بهبود فعالیت فتوسنتزی، سنتز آنزیم‌ها و تحریک افزایش رشد ریشه و باعث افزایش تولید پروتئین در گیاه شده است (Lingaraju et al., 2016). افزایش درصد و عملکرد پروتئین تحت تأثیر مصرف اسید

هیومیک در سورگوم (*Sorghum bicolor*) نیز گزارش شده است (Ali et al., 2021).

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست آمده در مورد صفات ارتفاع بوته، عملکرد زیستی، تعداد غلاف در بوته و شاخص برداشت، نبود فسفر و بیوفسفات، سودمندی محلول‌پاشی با اسید هیومیک را به‌شدت کاهش داد. البته محلول‌پاشی اسید هیومیک و تلقیح با بیوفسفات، هرکدام به‌طور جداگانه در افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب مؤثر بودند و غلظت چهار گرم در لیتر اسید هیومیک در مجموع بهتر از دو گرم در لیتر عمل نمود.

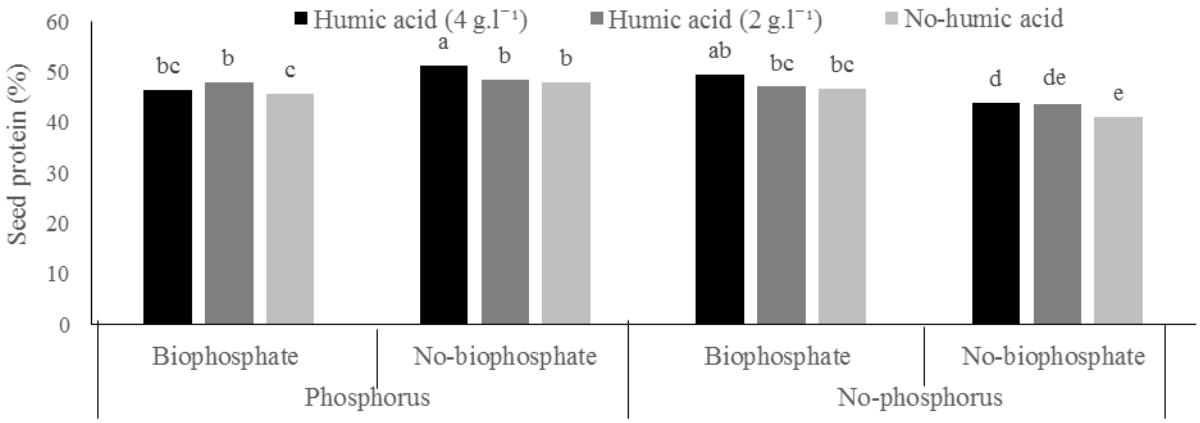


شکل ۸- مقایسه میانگین‌های درصد روغن دانه سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 8- Means comparison of soybean seed oil percent, affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.



شکل ۹- مقایسه میانگین‌های درصد پروتئین دانه سویا، تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر، بیوفسفات و اسید هیومیک

Fig. 9- Means comparison of soybean seed protein percent affected by phosphorus fertilizer, biophosphate, and humic acid interaction

* میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means showed with the same letter are not significantly different based on the Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

در شرایط نبود فسفر، محلول‌پاشی اسید هیومیک با هر دو غلظت به‌کار رفته، سبب افزایش وزن هزار دانه گردید. کارایی زراعی فسفر

نیز با مصرف اسید هیومیک افزایش یافت و تلقیح همزمان با بیوفسفات میزان افزایش کارایی زراعی فسفر را بیشتر کرد. در این پژوهش، درصد روغن دانه در شرایط کمبود فسفر به محلول‌پاشی اسید هیومیک و تلقیح با بیوفسفات واکنش مثبت نشان داد، امّا در حضور فسفر و بیوفسفات این واکنش منفی شد. واکنش درصد پروتئین دانه نیز به بیوفسفات و محلول‌پاشی اسید هیومیک کم بود. در مجموع، برای رسیدن به عملکرد مطلوب کمّی و کیفی سویا، محلول‌پاشی توأمان اسید هیومیک (چهار گرم در لیتر) و کاربرد بیوفسفات توصیه می‌شود.

References

1. Ali, A.Y.A., Ibrahim, M.E.H., Zhou, G., Elsiddig, A.M.I., Jiao, X., Zhu, G., & Gabralla, E. (2021). Humic acid and jasmonic acid improves the growth and antioxidant defense system in salt stressed-forage sorghum plants. *Research Journal Agriculture Biotechnology Science, 22*, 771-782. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-490134/v1 .
2. Azami-Atajan, F., Hammami, H., & Yaghoubzadeh, M. (2020). The application of plant growth promoting microorganisms and phosphate fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of wheat at levels of irrigation water. *Journal of Crop Production, 12*(4), 1-24. (In Persian). DOI: 10.22069/EJCP.2020.17166.2268
3. Baldotto, L.E.B., Baldotto, M.A., Giro, V.B., Canellas, L.P., Olivares, F.L., & Bressan-Smith, B. (2009). Performance of 'vitória' pineapple in response to humic acid application during acclimatization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33*, 979-990.
4. Canellas, L.P., & Olivares, F.L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 1*, 3. https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3 .
5. De Hita, D., Fuentes, M., Zamarreno, A.M., Ruiz, Y., & Garcia-Mina, J.M. (2020). Culturable bacterial endophytes from sedimentary humic acid-treated plants. *Frontiers in Plant Science, 11*, 837. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00837 .
6. Dehsheikh, A.B., Sourestani, M.M., Zolfaghari, M., & Enayatizamir, N. (2020). Changes in soil microbial activity, essential oil quantity, and quality of Thai basil as response to biofertilizers and humic acid. *Journal of Cleaner Production, 256*, 120439. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120439 .
7. El-Sheshtawy, A.A., Hager, M.A., & Shawer, S.S. (2019). Effect of bio-fertilizer, phosphorus source and humic substances on yield, yield components and nutrients uptake by barley plant. *Journal of Biological Chemistry and Environmental Sciences, 14*, 279-300.
8. Ghaly, F.A., Abd-Elhamied, A.S., & Shalaby, N.S. (2020). Effect of bio-fertilizer, organic and mineral fertilizers on soybean yield and nutrients uptake under sandy soil conditions. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 11*(11), 653-660. DOI: 10.21608/jssae.2020.135739 .
9. Ghasemi, E., Tavakoli, M.R., & Zabihi, H.R. (2012). The effect of nitrogen, potassium and humic acid on vegetative growth, uptake of nitrogen and potassium in potato mini-tubers under greenhouse conditions. *Journal of Agriculture and Plant Breeding, 8*(1), 56-39.
10. Quaggiotti, S., Ruperti, B., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tugnoli, V., & Nardi, S. (2004). Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany*, 55(398), 803-13. DOI: 10.1093/jxb/erh085 .
11. Hassan, W., Bashir, S., Hanif, S., Sher, A., Sattar, A., Wasaya, A., & Hussain, M. (2017). Phosphorus solubilizing bacteria and growth and productivity of mung bean (*Vigna radiata*). *Pakistan Journal of Botany, 49*(3), 331-336.
12. Jindo, K., Canellas, L.P., Albacete, A., Figueiredo dos Santos, L., Frinhani Rocha, R.L., Carvalho Baia, D., & Olivares, F.L. (2020). Interaction between humic substances and plant hormones for phosphorous acquisition. *Agronomy, 10*(5), 640. https://doi.org/10.3390/agronomy10050640 .
13. Khan, B.A., Hussain, A., Elahi, A., Adnan, M., Amin, M.M., Toor, M.D. & Ahmad, R. (2020). Effect of phosphorus on growth, yield and quality of soybean (*Glycine max* L.); A review. *International Journal of Applied Research, 6*(7), 540-545.

14. Lingaraju, N.N., Hunshal, C.S., & Salakinkop, S.R. (2016). Effect of biofertilizers and foliar application of organic acids on yield, nutrient uptake and soil microbial activity in soybean. *Legume Research, 39*(2), 123-134. DOI: 10.18805/lr.v0iOF.6784 .
15. Liu, J., Qi, W., Li, Q., Wang, S.G., Song, C., & Yuan, X.Z. (2020). Exogenous phosphorus-solubilizing bacteria changed the rhizosphere microbial community indirectly. *3 Biotech, 10*(4), 1-11. DOI: 10.1007/s13205-020-2099-4
16. Lombardo, M.C., & Lamattina, L. (2012). Nitric oxide is essential for vesicle formation and trafficking in arabidopsis root hair growth. *Journal of Experimental Botany, 63*, 4875-4885. https://doi.org/10.1093/jxb/ers166 .
17. Lusiba, S., Odhiambo, J., & Ogola, J. (2018). Growth, yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*): response to biochar and phosphorus fertilizer application. *Archives of Agronomy and Soil Science, 64*(6), 819-833. DOI: 10.1080/03650340.2017.1407027 .
18. Maes, Sh., De Reu, K., Van Weyenberg, S., Lories, B., Heyndrickx, M., & Steenackers, H. (2020). *Pseudomonas putida* as a potential biocontrol agent against *Salmonella Java* biofilm formation in the drinking water system of broiler houses. *BMC Microbiology, 20*, 373. https://doi.org/10.1186/s12866-020-02046-5.
19. Mahmood, Y.A., Ahmed, F.W., Mohammed, I.Q., & Wheib, K.A. (2020). Effect of organic, mineral fertilizers and foliar application of humic acid on growth and yield of corn (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Ecology, 47*(10), 39-44.
20. Malakouti, M.J. (2014). Optimal Fertilizer Use Recommendation for Agricultural Products in Iran. Mobaleghan Press, 318 p. ISBN: 9789642614950.
21. Manzoor, S., Rasheed, M., Jilani, G., Ullah, M.A., Hussain, S.S., Asadullah, M., & Shaheer, G. (2021). Integration of phosphate solubilising bacteria, sulphur oxidizing bacteria with NPK on maize (*Zea mays*). *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences, 64*(1), 43-48. DOI: 10.52763/PJSIR.BIOL.SCI.64.1.2021.43.48 .
22. Matuszak-Slamani, R., Bejger, R., Ciesla, J., Bieganowski, A., Koczanska, M., Gawlik, A., & Golębiowska, D. (2017). Influence of humic acid molecular fractions on growth and development of soybean seedlings under salt stress. *Plant Growth Regulation, 83*(3), 465-477. DOI: 10.1007/s10725-017-0312-1.
23. Mazaheri, D., & Majnon Hoseini, N. (2001). Fundamental of Agronomy. Tehran University Press, 320 p. (In Persian)
24. Mohammadi, G.R., Chatrnour, S., Jalali-honarmand, S., & Kahrizi, D. (2015). The effects of planting arrangement and phosphate biofertilizer on soybean under different weed interference periods. *Acta Agriculturae Slovenica, 105*(2), 313-322. DOI: 10.14720/aas.2015.105.2.14.
25. Nadir, B., Muhammad, Y., Wajid, P. A., Shah, F., Bashir, U., Ghulam, Q., & Ahmed, Z.I. (2014). Integrated effect of phosphate solubilizing bacteria and humic acid on physiomorphic attributes of maize. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 3*(6), 549-554.
26. Narula, N., Kumar, V., Bel, R.K., Deubel, A., Gransee, A., & Merbach, W. (2000). Effect of P-solubilizing *Azotobacter chroococcum* on N, P and K uptake in P-responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition, 163*, 393-398. https://doi.org/10.1002/1522-2624 .
27. Niazy, M., Khafagy, H., & Helal, R. (2016). Phosphorus efficiency in wheat as affected by foliar spray with zinc, humic acid and biofertilizer (*Bacillus megatherium* sp.) addition under calcareous soil conditions. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 7*(8), 529-539. DOI: 10.21608/JSSAE.2016.39767.
28. Parvizi, Y., & Nabati, E. (2004). The effect of irrigation cycle and livestock manure on water use efficiency and quantitative and qualitative yield of grain corn. *Journal of Research and Construction, 63*, 21-29.
29. Quaggiotti, S., Ruperti B., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tugnoli, & V., Nardi, S. (2004). Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany, 55*(398), 803-813.
30. Sadeghi, F., & Aboutalebian, M.A. (2019). Response of seed and oil yields and phosphorus agronomic efficiency of soybean to simultaneous placement of nitrogen with phosphorus under drought stress. *Journal of Crop*

Production and Processing, *9*, 191-204. (In Persian). DOI: 10.47176/jcpp.9.3.26305.

31. Sarwar, M., Hyder, S.I., Akhtar, M.E., Tabassam, T., & Malik, S.R. (2014). Integrated effects of humic acid and biofertilizer on yield and phosphorus use efficiency in mungbean under rainfed condition. *World Journal of Agricultural Sciences*, *2*(3), 040-046.
32. Siswana, S.R., Sembiring, M., & Hanum, H. (2019). The effect of phosphate solubilizing microbes and chicken manure in increasing the P availability and growth of green beans (*Phaseolus radiatus* L.) on Andisol. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 260(1), 012160. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/260/1/012160.
33. Turuko, M., & Mohammed, A. (2014). Effect of different phosphorus fertilizer rates on growth, dry matter yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *World Journal of Agricultural Research*, *2*(3), 88-92. DOI: 10.12691/wjar-2-3-1.
34. Winarso, S., Sulistyanto, D., & Eko, H. (2017). Effects of humic compounds and phosphate-solubilizing bacteria on phosphorus availability in an acid soil. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, *3*(7), 232-240.
35. Yousefi, A., Mirzaeitalarposhti, R., Aghamir, F.S., & Nabati, J. (2020). Effect of nitrogen fixating, potassium and phosphorus solubilizing bacteria on mungbean (*Vigna radiata*) yield and components yield. *Environmental Sciences*, *18*(3), 1-14. https://doi.org/10.29252/envs.18.3.1.
36. Zaki, N.M., Hassanein, A.G.A.M., & Mohamed, M.H. (2017). Effect of organic and bio-fertilizer on yield and some chemical composition of two peanut cultivars under newly reclaimed sandy soil condition. *Middle East Journal of Applied Sciences*, *7*(4), 937-943.
37. Zandonadi, D.B., Canellas, L.P., & Façanha, A.R. (2007). Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H^+ pumps activation. *Planta*, *225*, 1583-1595. DOI: 10.1007/s00425-006-0454-2.