



Investigating the effect of biochar and humic acid application on nutrient content and grain yield of chickpea

Hamid Naserinejad¹ | Masoumeh Naeemi² | Ali Nakhzari Moghaddam³ | Mehdi Zarei⁴

1. Department of Crop Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: hamid_naseri@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Crop Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: Naeemi_701@yahoo.com
3. Department of Crop Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: a_nakhzari@yahoo.com
4. Department of Crop Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: m_zarei_63@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Sep. 24, 2024

Revised: Jan. 22, 2025

Accepted: Feb. 15, 2025

Published online: May. 2025

Keywords:

Biochar,
Chickpea,
Grain Protein,
Humic Acid.

ABSTRACT

To investigate the effect of humic acid and biochar application on the quantitative and qualitative characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.), a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications at the research farm of Gonbad Kavous University during the 2018-2019 growing season. The factors studied included biochar at two levels (no application and application of 20 tons per hectare) and humic acid at three levels (no application, application with irrigation water at a concentration of 10 kg per hectare, and application with irrigation water along with two foliar applications at a concentration of 250 cc in 100 liters of water). The results showed that the main effects of biochar and humic acid on various traits, including the number of seeds, total plant weight, 100-seed weight, harvest index, grain yield, and levels of nitrogen, protein, potassium, calcium, and magnesium, were significant. Additionally, the interaction effect of these two factors on 100-seed weight, harvest index, and grain yield was significant. The use of humic acid and biochar improved all the traits studied. The highest grain yield (2983 kg.ha⁻¹) was obtained from the treatment of humic acid application once in the soil and twice as foliar spray along with biochar, while the lowest grain yield (1368 kg.ha⁻¹) was related to the treatment without humic acid and biochar application. Moreover, the highest protein and nitrogen content and the concentrations of calcium, potassium, and magnesium were observed in the treatment with humic acid and biochar application. Therefore, for increasing the yield of chickpea, it is recommended to use humic acid once in the soil and twice as foliar spray along with biochar.

Cite this article: Naseri Nejad, H., Naeemi, M., Nakhzari Moghadam, A., & Zarei, M. (2025). Investigating the effect of biochar and humic acid application on nutrient content and grain yield of chickpea, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (3), 807-823. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.382702.669796>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.382702.669796>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

To investigate the effect of humic acid and biochar on the quantitative and qualitative characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.), a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications at the farm of Gonbad Kavous University during the 2018-2019 growing season. The study aimed to assess how different levels of biochar and humic acid applications influence the growth, yield, and nutrient composition of chickpea plants.

Objectives

The factors studied included biochar at two levels (no application and application of 20 tons per hectare) and humic acid at three levels (no application, application with irrigation water at a concentration of 10 kg per hectare, and application with irrigation water along with two foliar applications at a concentration of 250 cc in 100 liters of water). The main objective was to determine how these treatments affect key agronomic traits such as the number of seeds per plant, total plant weight, 100-seed weight, harvest index, grain yield, and the content of essential nutrients like nitrogen, protein, potassium, calcium, and magnesium.

Materials and Methods

The experimental design was a randomized complete block design with three replications. The biochar was applied at a rate of 20 tons per hectare, while the humic acid was applied in three different ways: no application, application with irrigation water at 10 kg per hectare, and application with irrigation water plus two foliar applications at 250 cc in 100 liters of water. These treatments were aimed at evaluating their individual and combined effects on the growth and nutritional quality of chickpea plants.

Results

The results showed that the main effects of biochar and humic acid were significant on various traits. The application of biochar and humic acid individually improved the number of seeds per plant, total plant weight, 100-seed weight, and harvest index. Specifically, the application of biochar at 20 tons per hectare significantly increased the number of seeds, total plant weight, and 100-seed weight compared to the control. Similarly, humic acid application, especially when combined with both soil and foliar treatments, led to marked improvements in plant growth and grain yield.

The interaction effect of biochar and humic acid was also significant on several traits. The combined application of biochar and humic acid resulted in the highest improvements. The treatment involving humic acid application once in the soil and twice as a foliar spray along with biochar yielded the highest grain yield of 2983 kg/ha. In contrast, the lowest grain yield of 1368 kg/ha was observed in the treatment without any humic acid or biochar application. In terms of nutrient composition, the highest protein and nitrogen content, along with the highest concentrations of calcium, potassium, and magnesium, were recorded in the treatment with both humic acid and biochar. This indicates that these amendments not only enhance growth and yield but also improve the nutritional quality of chickpea plants.

Conclusion

The study concludes that the integrated use of humic acid and biochar is highly effective in enhancing the growth, yield, and nutrient content of chickpea. The recommended practice for achieving optimal results is to apply humic acid once in the soil and twice as a foliar spray in combination with biochar at 20 tons per hectare. This approach can significantly boost chickpea production and improve its nutritional value, making it a valuable strategy for farmers aiming to increase productivity and crop quality. Further research could explore the long-term effects of these amendments and their impact on soil health and sustainability.

Author Contributions

Masoumeh Naeemi and Mehdi Zarei conceived of the presented idea and developed the theory and the computations. Hamid Naseri Nejad and Ali Nakhzari Moghadam carried out the experiment. Masoumeh Naeemi verified analytical methods and performed the computations. Ali Nakhzari Moghadam investigated and supervised the findings of this work. All authors discussed the results and contributed to the final manuscript, but Masoumeh Naeemi wrote the final version of manuscript. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript. All authors contributed according their name place to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data is available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the research council of Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran for the financial support of this research.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

بررسی تاثیر کاربرد بیوجار و اسید هیومیک بر محتوای عناصر غذایی و عملکرد دانه نخود زراعی (Cicer arietinum L.)

حمید ناصری نژاد^۱ | معصومه نعیمی^۲ | علی نخزری مقدم^۳ | مهدی زارعی^۴^۱. گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: hamid_naseri@yahoo.com^۲. نویسنده مسئول، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: Naeemi_701@yahoo.com^۳. گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: a_nakhzari@yahoo.com^۴. گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: m_zarei_63@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	به منظور بررسی تأثیر اسید هیومیک و بیوجار بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه نخود (Cicer arietinum L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه گنبد کاووس در سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸ انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل کاربرد بیوجار در دو سطح (عدم کاربرد و کاربرد ۲۰ تن در هکتار) و اسید هیومیک در سه سطح (عدم مصرف، مصرف با آب آبیاری با غلظت ۱۰ کیلوگرم در هکتار و مصرف با آب آبیاری به همراه دو بار محلول‌پاشی با غلظت ۲۵۰ سی‌سی در ۱۰۰ لیتر آب) بود. نتایج نشان داد که اثرات ساده بیوجار و اسید هیومیک بر صفات مختلف از جمله تعداد دانه، وزن کل بوته، وزن صد دانه، شاخص برداشت، عملکرد دانه، محتوای پروتئین و میزان عناصر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل این دو عامل بر وزن صد دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه معنی‌دار شد. استفاده از اسید هیومیک و بیوجار منجر به بهبود تمامی صفات مورد بررسی گردید. بیشترین عملکرد دانه (۲۹۸۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار مصرف اسید هیومیک به صورت یک‌بار خاک مصرف و دوبار محلول‌پاشی به همراه بیوجار به دست آمد و کمترین میزان دانه (۱۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار عدم مصرف اسید هیومیک و بیوجار بود. همچنین بیشترین میزان پروتئین و نیتروژن و غلظت عناصر کلسیم، پتاسیم و منیزیم نیز در تیمار مصرف اسید هیومیک و بیوجار مشاهده شد. بنابراین، برای افزایش عملکرد گیاه نخود، استفاده از اسید هیومیک به صورت یک‌بار خاک مصرف و دوبار محلول‌پاشی به همراه بیوجار توصیه می‌شود.
واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، بیوجار، پروتئین دانه، نخود.	
استناد: ناصری نژاد؛ حمید، نعیمی؛ معصومه، نخزری مقدم؛ علی، زارعی؛ مهدی، (۱۴۰۴). بررسی تاثیر کاربرد بیوجار و اسید هیومیک بر محتوای عناصر غذایی و عملکرد دانه نخود زراعی (Cicer arietinum L.)، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۳)، ۸۰۷-۸۲۳.	
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.	
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.382702.669796	



مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از محصولات مهم لگوم در جهان است که به دلیل ارزش غذایی و اقتصادی خود کاشته می‌شود. این گیاه منبع مهمی از پروتئین، ویتامین‌ها و مواد معدنی است که آن را به جزء ضروری رژیم غذایی در بسیاری از مناطق تبدیل کرده است. حدود ۹۸ درصد کشت نخود در ایران به صورت دیم صورت می‌گیرد که این امر نشانگر اهمیت تولید این محصول از لحاظ مطابقت با محدودیت‌های آبی کشور می‌باشد. در سال ۱۴۰۱ بیش از ۳۷۹ هزار هکتار از اراضی کشور (در مجموع ۱/۵ درصد سطح زیر کشت محصولات زراعی کشور) زیر کشت نخود رفته است و حدود ۱۷۳ هزار تن تولید صورت گرفته است (باغستانی و طوسی، ۱۴۰۳). بهره‌وری و کیفیت محصول نخود غالباً تحت تأثیر عوامل مختلف زیست‌محیطی و مدیریتی قرار می‌گیرد (Kaur and Prasad, 2021).

یکی از راه‌های بهبود رشد و عملکرد گیاهان، استفاده از مواد اصلاح‌کننده خاک و کودهای آلی مانند بیوپچار و اسید هیومیک است. بیوپچار به عنوان یک ماده کربنی پایدار، توانایی بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را دارد و می‌تواند به افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی کمک کند (Das, et al 2020). از سوی دیگر، اسید هیومیک به عنوان یک محرک زیستی، می‌تواند فرآیندهای متابولیکی گیاه را تحریک کرده و جذب مواد مغذی را افزایش دهد (Datta, et al 2022).

تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که ترکیب بیوپچار و اسید هیومیک می‌تواند تأثیرات مثبتی بر رشد، عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی داشته باشد. در این پژوهش، تأثیرات این دو فاکتور بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه نخود مورد بررسی قرار گرفت تا بهترین روش کاربردی برای افزایش تولید و بهبود کیفیت این محصول مهم کشاورزی شناسایی شود (Datta, et al 2022).

پیشینه پژوهش

نخود به دلیل داشتن پروتئین بالا و ارزش غذایی غنی، نقش حیاتی در تغذیه انسان‌ها و حیوانات دارد. این گیاه به عنوان منبع اصلی پروتئین برای میلیون‌ها نفر در سراسر جهان محسوب می‌شود و به ویژه در کشورهای در حال توسعه که منابع پروتئینی حیوانی محدود است، اهمیت زیادی دارد. نخود به دلیل توانایی‌اش در تثبیت نیتروژن و بهبود خاک، همچنین در سیستم‌های کشاورزی پایدار اهمیت دارد (Kaur and Prasad, 2021). نخود دارای مزایای اقتصادی قابل توجهی نیز می‌باشد. این گیاه به کشاورزان امکان تولید محصولی با ارزش افزوده بالا را می‌دهد که می‌تواند به کاهش فقر و بهبود وضعیت اقتصادی خانواده‌های کشاورزی کمک کند. علاوه بر این، نخود به عنوان یک محصول سازگار با شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک، در مناطق مختلف جهان به ویژه در مناطق خشک مورد کشت و کار قرار می‌گیرد و به پایداری کشاورزی در این مناطق کمک می‌کند (Dürdane, et al 2022). نخود همچنین در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی و دارویی کاربردهای متنوعی دارد. از نخود در تولید غذاهای آماده، خوراکی‌های سالم و محصولات دارویی استفاده می‌شود. این کاربردهای گسترده نخود، اهمیت آن را در زنجیره تامین غذا و سلامت انسان افزایش داده است (Wang, et al 2021 a).

بیوپچار یکی از مواد اصلاحی مهم خاک است که در سال‌های اخیر به دلیل توانایی‌اش در بهبود خصوصیات خاک و افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. بیوپچار به عنوان یک ماده پایدار کربنی از طریق فرآیند پیروژنیک از مواد آلی مانند ضایعات کشاورزی تولید می‌شود. این ماده با افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی در خاک، بهبود ساختار خاک و افزایش فعالیت میکروبی، می‌تواند به بهبود رشد و عملکرد نخود کمک کند (Schmidt, et al 2021). در اغلب مطالعات، تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و بیوپچار بر قابلیت فراهمی فسفر بررسی شده است، اما هنوز درک و اطلاعات کافی از چگونگی تغییر شکل فسفر در نتیجه کاربرد باکتری‌های بومی حل‌کننده فسفات در دسترس نیست. از طرفی علاوه بر هزینه‌بر بودن تولید و مصرف بیوپچار در خاک، افزایش pH و EC خاک‌های آهکی و متاثر از نمک از جمله مسائل کاربرد بیوپچار در این خاک‌هاست. از این رو باید سعی شود با غنی‌سازی بیوپچار بوسیله باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سنگ فسفات به بررسی تأثیر آن بر قابلیت فراهمی، تثبیت و تغییر اشکال شیمیایی فسفر در خاک‌ها پرداخته شود (Mousavi, et al 2022).

بیوپچار همچنین به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند. این ماده با تثبیت کربن در خاک به مدت طولانی، به کاهش میزان دی‌اکسید کربن در جو کمک کرده و به عنوان یک راه‌کار پایدار در مقابله با تغییرات اقلیمی مطرح است. استفاده از بیوپچار در کشاورزی نه تنها در بهبود کیفیت خاک و افزایش محصول موثر است، بلکه به کاهش تأثیرات منفی زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی نیز کمک می‌کند (Lehmann, et al 2021). یکی دیگر از مزایای بیوپچار، توانایی آن در کاهش نیاز به کودهای شیمیایی است. بیوپچار با افزایش کارایی جذب مواد مغذی توسط گیاهان، می‌تواند به کاهش مصرف کودهای شیمیایی کمک کند که این امر هم از نظر اقتصادی برای

کشاورزان مقرون به صرفه است و هم در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی نقش دارد (Tauqueer, et al 2022).

اسید هیومیک یکی از اجزای اصلی ماده آلی خاک است که نقش مهمی در بهبود رشد و توسعه گیاهان دارد. این ماده به طور طبیعی در خاک‌های آلی یافت می‌شود و به عنوان یک اصلاح کننده طبیعی خاک، به بهبود ساختار خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی و افزایش فعالیت میکروبی کمک می‌کند (Datta, et al 2022). اسید هیومیک با تأثیر مثبت بر سیستم ریشه‌ای گیاهان، می‌تواند به افزایش رشد و عملکرد نخود کمک کند (Kahraman, 2017). استفاده از اسید هیومیک در کشاورزی به دلیل مزایای متعدد آن در بهبود سلامت خاک و گیاهان، به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. این ماده با افزایش قابلیت دسترسی گیاهان به مواد مغذی و تقویت سیستم ایمنی گیاه، به کاهش نیاز به استفاده از کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی کمک می‌کند. این امر نه تنها به کاهش هزینه‌های تولید کشاورزان کمک می‌کند، بلکه به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز کمک شایانی می‌نماید (Khan, et al 2020). علاوه بر این، اسید هیومیک با بهبود فعالیت میکروبی خاک و افزایش تولید هورمون‌های گیاهی، به بهبود رشد و توسعه ریشه‌ها و افزایش تحمل گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی کمک می‌کند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که اسید هیومیک به عنوان یک ماده مؤثر در بهبود عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی، به ویژه نخود، مورد استفاده قرار گیرد (Hosseini, et al 2022). بر این اساس، در این پژوهش اثرات استفاده از بیوپار و اسید هیومیک بر رشد و محصول نخود مورد ارزیابی قرار گرفته است.

روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس انجام شد. مختصات جغرافیایی محل اجرای آزمایش ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی است و ارتفاع آن ۴۵ متر از سطح دریا می‌باشد. برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، نمونه‌هایی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری زمین آزمایش جمع‌آوری شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شدند (جدول ۱).

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری)

قابلیت هدایت الکتریکی ds/m	اسیدیته	موادخثی شونده (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیترژن کل (درصد)	فسفر ppm	پتاسیم ppm	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)
۱/۱۹	۷/۹	۸/۹	۰/۶۸	۰/۰۷	۱۳/۴	۳۵۶	۱۵	۶۴	۲۱

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل بیوپار در دو سطح: عدم مصرف (شاهد) و مصرف ۲۰ تن در هکتار و مصرف اسید هیومیک در سه سطح: عدم مصرف (شاهد)، مصرف با آب آبیاری (۱۰ کیلوگرم در هکتار) و مصرف با آب آبیاری (۱۰ کیلوگرم در هکتار) به علاوه دو بار محلول‌پاشی (غلظت ۲۵۰ سی‌سی در ۱۰۰ لیتر آب) بودند. بیوپار مصرفی از شرکت داخلی کربن اکتیو بشل تهیه شد. این بیوپار حاصل از بقایای درختان جنگلی بود که در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت دو ساعت تولید شده بود. اسید هیومیک از برند Humikey تولید کشور چین استفاده شد که حاوی ۶۵ درصد اسید هیومیک، ۲۰-۱۵ درصد اسید فولویک و ۸ درصد پتاسیم بود. ابتدا عملیات شخم و دیسک‌زنی زمین انجام شد و سپس نقشه آزمایش روی زمین پیاده‌سازی گردید. در مرحله بعد، کرت‌بندی صورت گرفت و بعد از افزودن بیوپار به کرت‌های مورد نظر، دیسک‌زنی ثانویه انجام شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۲۵ سانتی‌متر تعیین شد. میزان کود مصرفی شامل ۲۵ کیلوگرم نیترژن از منبع اوره به عنوان آغازگر در زمان کاشت، ۲۵ کیلوگرم نیترژن در زمان پر شدن دانه و ۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در زمان کاشت بود. کرت‌هایی با ابعاد ۱/۶ در ۳ متر ایجاد شد و در هر کرت ۴ ردیف برای کاشت نخود رقم آزاد در نظر گرفته شد. کاشت در آذر ماه به صورت دستی بر اساس عرف منطقه به شکل دیم صورت گرفت، ولی با توجه به کمبود بارندگی در فصل بهار، یک مرحله آبیاری به میزان ۲۰۰ مترمکعب در زمان پر شدن دانه انجام شد. پس از اعمال تیمارهای اسید هیومیک، محصول به صورت دستی در خرداد ماه برداشت شد و با حذف اثر حاشیه، عملکرد دانه در یک متر مربع محاسبه گردید. قبل از برداشت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی پس از حذف اثر حاشیه از هر کرت انتخاب شدند و صفاتی مانند تعداد دانه در بوته، وزن کل بوته و وزن صد دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری وزن دانه و غلاف از ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم استفاده شد. خصوصیات بیوپار استفاده شده در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های بیوچار مورد استفاده

خصوصیت	خاکستر (درصد)	چگالی	رطوبت (درصد)	کربن (درصد)	منیزیم (ppm)	کلسیم (ppm)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	نیتروژن (درصد)	مواد آلی (درصد)	کربن آلی (درصد)	قابلیت هدایت الکتریکی (1:2/5)	اسیدیته (1:2/5)
مقدار	۴-۶	۰/۴	۸-۱۰	۸۴-۸۸	۱۳۲	۱۴۰	۵۰۲۰	۵۲	۰/۳۸	۶/۱۱	۳/۵۱	۳/۹۲	۱۰-۱۲

اندازه‌گیری نیتروژن و پروتئین دانه

اندازه‌گیری نیتروژن و پروتئین دانه به روش کج‌دال انجام شد. بدین صورت که ۰/۱ گرم از نمونه آسیاب شده همراه با ۰/۲ گرم کاتالیزور (شامل ۹۶ درصد استات پتاسیم، ۳/۵ درصد سولفات مس و ۰/۵ درصد سلنیوم) و ۱۰ سی‌سی اسید سولفوریک در بالن ریخته شده و روی هیتر قرار گرفت تا محلول شفاف و هضم انجام شود. سپس محلول هضم شده همراه با ۷۵ سی‌سی آب مقطر و ۴۰ سی‌سی سود داخل بالن ریخته شد و روی حرارت ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه قرار گرفت و بخار حاصل تقطیر شد. مایع به دست آمده با ۴۰ سی‌سی اسید بوریک ۰/۹ مولار مخلوط و با کلرید هیدروژن ۰/۲ مولار تیترا شد (Kjeldahl, 1883).

اندازه‌گیری پتاسیم، کلسیم و منیزیم اندام هوایی

حدود ۲ گرم از اندام هوایی گیاه که در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده بود، آسیاب شده و در بوتله چینی قرار گرفت و در کوره با حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت کلسینه شد. نمونه خارج شده از کوره در دسیکاتور قرار داده شد تا سرد شود. با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ مولار، تمامی خاکستر هضم و به بشر منتقل گردید و روی هیتر با حرارت ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه هضم شد. محلول هضم شده پس از سرد شدن با کاغذ صافی صاف و محلول صاف شده به ارلن ۱۰۰ سی‌سی منتقل و به حجم رسانده شد. سپس با دستگاه Flame Photometer قرائت شد و مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم برآورد گردید (Jones, 2001).

تجزیه آماری داده‌ها

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. میانگین صفات مورد مطالعه نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح ۵ درصد مقایسه شد. نمودارهای مورد نیاز نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نیتروژن دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده اسید هیومیک و بیوچار بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده اسید هیومیک نشان داد که بیشترین غلظت نیتروژن مربوط به تیمار مصرف خاکی + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک بود. کمترین غلظت نیتروژن دانه مربوط به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک بود (شکل ۱). بر اساس نتایج به دست آمده، تیمار مصرف خاکی + دوبار محلول‌پاشی نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک، ۵۰/۳ درصد غلظت نیتروژن دانه را افزایش داد. همچنین، تیمار مصرف خاکی اسید هیومیک باعث افزایش ۲۲/۳ درصدی غلظت نیتروژن دانه نسبت به تیمار عدم کاربرد شد. اسید هیومیک با افزایش سطح ریشه می‌تواند موجب افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه شود (De Hita et al 2020). محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک باعث افزایش ۷۴ درصدی جذب نیتروژن در گیاه جو شد. همچنین، کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش غلظت نیتروژن در گیاه اسفناج شد (Ayas and Gulser, 2005 ; Ayuso, et al 1996).

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده بیوچار (شکل ۲) نشان داد که بیشترین غلظت نیتروژن دانه مربوط به تیمار کاربرد بیوچار بود، در حالی که کمترین غلظت نیتروژن (۷ درصد) به تیمار عدم کاربرد بیوچار تعلق داشت. همچنین، نتایج نشان داد که گیاهانی که با بیوچار تیمار شده بودند، در مقایسه با گیاهان تیمار نشده، ۴۲ درصد افزایش غلظت نیتروژن در دانه داشتند. استفاده از بیوچار می‌تواند فعالیت میکروبی را که باعث افزایش یا کاهش نیتریفیکاسیون می‌شود، تحت تأثیر قرار دهد. این تأثیر بیشتر به دلیل تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های تثبیت‌کننده است که باعث افزایش فراهمی این عنصر و در نتیجه افزایش میزان نیتروژن قابل دسترس برای گیاه می‌شود. (Sheikhi et al. (2020 گزارش کردند که کاربرد بیوچار در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد بیوچار) به طور معنی‌داری غلظت نیتروژن را در گیاه اسفناج افزایش داد. همچنین، استفاده از بیوچار باعث افزایش غلظت نیتروژن در گیاه ذرت شد (Rajkovich, et al 2012).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای اسید هیومیک و بیوجار بر صفات مورد بررسی نخود

منیزیم	کلسیم	پتاسیم	پروتئین	نیتروژن	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱/۳۸	۰/۱۵	۲۰/۷۵	۱۲/۶۶	۰/۴۰	۲	تکرار
۱۵/۳۵**	۲/۰۳**	۱۲۶۹/۳۰**	۱۱۶/۴۸**	۱۷/۷۱**	۲	اسید هیومیک
۱۳/۱۷**	۱۶/۱۳**	۴۱۹۲/۵۰**	۳۲۹/۶۰**	۳۸/۷۴**	۱	بیوجار
۰/۱۸ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۲۱۴۵/۳۰ ^{ns}	۱/۵۹ ^{ns}	۰/۵۴ ^{ns}	۲	اسید هیومیک × بیوجار
۰/۳۴	۰/۱۴	۱۵۷۶/۸۰	۵/۷۲	۰/۵۵	۱۰	خطا
۹/۹۵	۸/۰۵	۴/۶۷	۸/۴۵	۸/۷۸	-	ضرب تغییرات

ns، **، * به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح ۱ و ۵ درصد



شکل ۱- مقایسه میانگین محتوای نیتروژن دانه تحت تأثیر اسید هیومیک



شکل ۲- مقایسه میانگین محتوای نیتروژن دانه تحت تأثیر بیوجار

پتاسیم اندام هوایی

اثرات بیوجار و اسید هیومیک بر پتاسیم اندام هوایی گیاه معنی دار شد (جدول ۳). بر این اساس، تیماری که اسید هیومیک به آن افزوده شده (با استفاده از روش خاک مصرف+دوبار محلول پاشی) دارای بیشترین غلظت پتاسیم بوده است، که با تیمار خاک مصرف اختلاف معنی داری نداشته است. در مقابل، تیماری که اسید هیومیک به آن افزوده نشده (تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک) دارای کمترین غلظت پتاسیم بوده است. به عنوان یکی از عناصر مهم مغذی، پتاسیم نقش مهمی در فعالیتهای زیستی گیاهان ایفا می کند، از جمله کاتالیزور برخی از فرآیندهای بیولوژیکی ضروری در گیاهان. به طور کلی، کاربرد بیوجار و اسید هیومیک می تواند بهبودی مهمی در جذب و استفاده از پتاسیم توسط گیاهان داشته باشد، که این امر به دلیل بهبود ساختار خاک و افزایش قدرت تبادل کاتیونی و همچنین افزایش سطح ریشه ها و جذب بهتر عناصر غذایی از خاک می باشد (Pandey and Mahiwal, 2020). بنابراین، استفاده از بیوجار و اسید هیومیک می تواند به عنوان راهکارهایی مؤثر برای بهبود محتوای پتاسیم در گیاهان و در نتیجه بهبود عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر ساده بیوجار که در جدول ۴ نمایش داده شده است، مشخص شده است که بیشترین میزان پتاسیم در گیاهان مربوط به تیماری است که بیوجار به آن افزوده شده است. این نتیجه نشان می دهد که استفاده از بیوجار به طور معنی داری

می تواند منجر به افزایش غلظت پتاسیم در گیاهان شود. در مقابل، کمترین میزان پتاسیم مربوط به تیماری است که بدون استفاده از بیوجار بوده است. این نشان می دهد که عدم استفاده از بیوجار باعث کاهش محتوای پتاسیم در گیاهان می شود.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات پتاسیم، کلسیم و منیزیم اندام هوایی تحت تأثیر نحوه کاربرد اسید هیومیک

تیمار اسید هیومیک	پتاسیم (ppm)	کلسیم (ppm)	منیزیم (ppm)
عدم کاربرد اسید هیومیک	۷۹۹/۶۸ ^b	۴/۰۶ ^b	۴/۳۹ ^c
خاک مصرف	۸۶۱/۰۷ ^a	۴/۷۸ ^a	۵/۷۹ ^b
خاک مصرف + دوبار محلول پاشی	۸۸۹/۷۳ ^a	۵/۲۱ ^a	۷/۵۸ ^a
LSD 5%	۵۱/۰۸	۰/۴۸	۰/۷۵

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف غیر مشابه هستند دارای تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ می باشند

کلسیم اندام هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) می توانیم نتیجه بگیریم که هر دو ماده، یعنی اسید هیومیک و بیوجار، به طور معنی داری بر غلظت کلسیم در اندام های هوایی گیاهان تأثیر گذارند. بیشترین غلظت کلسیم مربوط به تیماری است که اسید هیومیک به آن افزوده شده است (جدول ۴)، به صورت خاک مصرف + دوبار محلول پاشی. این تیمار با تیمار خاک مصرف اختلاف معنی داری ندارد، اما از تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک به طور معنی داری بیشتر است. کمترین غلظت کلسیم متعلق به تیماری است که اسید هیومیک به آن اضافه نشده است (تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک). افزایش میزان کلسیم در حضور اسید هیومیک ممکن است به دلیل افزایش قابلیت جذب یون ها توسط ریشه ها باشد که این امر از طریق افزایش سطح ریشه ها و بهبود ساختار خاک ممکن می شود. اسید هیومیک می تواند باعث افزایش فعالیت آنزیمی شود که منجر به سنتز حامل های پروتئینی یونی می شود، که در نتیجه این فرایند، جذب کلسیم نیز افزایش می یابد. بیشترین غلظت کلسیم مربوط به تیماری است که بیوجار به آن افزوده شده است. این تیمار نسبت به تیمار عدم کاربرد بیوجار دارای افزایش معنی داری در میزان کلسیم است. کمترین غلظت کلسیم نیز مربوط به تیماری است که بیوجار به آن اضافه نشده است (جدول ۵). بیوجار به دلیل دارا بودن عناصر غذایی و افزایش قدرت تبادل کاتیونی در خاک، باعث بهبود دسترسی گیاه به کلسیم و سایر عناصر مغذی می شود. بهبود ساختار خاک به واسطه بیوجار می تواند منجر به افزایش جذب کلسیم توسط گیاه شود. به طور کلی، استفاده

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات پتاسیم، کلسیم و منیزیم اندام هوایی تحت تأثیر بیوجار

بیوجار	پتاسیم (ppm)	کلسیم (ppm)	منیزیم (ppm)
عدم کاربرد بیوجار	۸۰۱/۹۰ ^b	۳/۷۳ ^b	۵/۰۶ ^b
کاربرد بیوجار	۸۹۸/۴۲ ^a	۵/۶۳ ^a	۶/۷۷ ^b
LSD 5%	۴۱/۷۰	۰/۳۹	۰/۶۱

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف غیر مشابه هستند دارای تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ می باشند

از اسید هیومیک و بیوجار می تواند بهبودی معنی داری در جذب و استفاده از کلسیم توسط گیاهان داشته باشد، که این امر به عنوان یک راهکار مؤثر در بهبود عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی مطرح می شود.

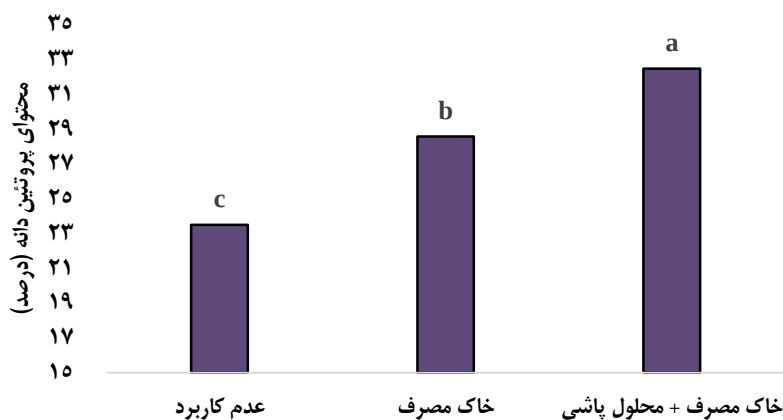
منیزیم اندام هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، می توان نتیجه گرفت که اسید هیومیک و بیوجار به طور معنی داری بر غلظت منیزیم اندام هوایی گیاه تأثیر می گذارند (جدول ۳). بیشترین غلظت منیزیم مربوط به تیماری است که اسید هیومیک به آن افزوده شده است، به صورت خاک مصرف + دوبار محلول پاشی. این تیمار نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک با افزایش ۷۲/۶۶ درصدی در غلظت منیزیم متمایز می شود. کمترین غلظت منیزیم مربوط به تیماری است که اسید هیومی ک به آن اضافه نشده است (تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک). افزایش قابلیت جذب یون های منیزیم توسط ریشه ها به دلیل افزایش سطح ریشه ها و بهبود ساختار خاک توسط اسید هیومیک ممکن است منجر به افزایش غلظت منیزیم در گیاه شود (جدول ۴). اسید هیومیک می تواند فعالیت آنزیمی را افزایش دهد که به سنتز حامل های

پروتئینی یونی کمک می‌کند، که این فرایند می‌تواند منجر به افزایش جذب منیزیم توسط گیاه شود. بیشترین غلظت منیزیم مربوط به تیماری است که بیوپار به آن اضافه شده است. این تیمار نسبت به تیمار عدم کاربرد بیوپار با افزایش ۳۳/۸ درصدی در غلظت منیزیم متمایز می‌شود (جدول ۵). بیوپار با تأثیر بر افزایش قدرت تبادل کاتیونی در خاک، می‌تواند بهبود دسترسی گیاه به منیزیم و سایر عناصر مغذی را فراهم کند. افزایش غلظت منیزیم در گیاهان به دلیل بهبود ساختار خاک و افزایش فراهمی عناصر غذایی توسط بیوپار، که به‌وسیله افزودن آن به خاک تسهیل می‌شود، از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین، استفاده از اسید هیومیک و بیوپار می‌تواند به‌طور موثری به افزایش میزان منیزیم در گیاهان کمک کند، که این موضوع می‌تواند در بهبود عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی مؤثر باشد.

پروتئین دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اسید هیومیک و بیوپار به‌طور معنی‌داری بر میزان پروتئین دانه تأثیر دارند (جدول ۳). بیشترین میزان پروتئین مربوط به تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک بود که نسبت به تیمار یک‌بار خاک مصرف افزایش ۷/۱۳ درصدی داشت. در مقابل، کمترین میزان پروتئین مربوط به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک بود (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر اسید هیومیک

احتمالاً اسید هیومیک تأثیر مثبت خود را از طریق افزایش قابلیت جذب عناصر توسط ریشه‌ها و همچنین از طریق مداخله در فعالیت‌های آنزیمی که به فراهمی عناصر غذایی برای گیاه کمک می‌کند، اعمال می‌کند. این اثرات منجر به افزایش توانایی سنتز پروتئین در گیاه و انتقال آن به دانه‌ها می‌شود (Canellas et al 2020). این نتایج با تحقیقات دیگری که اثر مثبت اسید هیومیک بر محتوای پروتئین در گیاهان مختلف را نشان داده‌اند، مانند Nasiroleslami et al. (2021) در گندم و Oktem and Oktem, (2020) در نخود سازگاری دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که استفاده از اسید هیومیک می‌تواند بهبود محتوای پروتئین گیاه را افزایش دهد و در نهایت باعث افزایش کیفیت و بازده اقتصادی محصولات کشاورزی شود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر ساده بیوپار که در شکل ۴ نمایش داده شده است، بیشترین میزان پروتئین در گیاهان مربوط به تیماری است که بیوپار به آن افزوده شده است.

این نتیجه نشان می‌دهد که استفاده از بیوپار به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش محتوای پروتئین دانه شده است. بیوپار به عنوان یک افزودنی آلی به خاک، می‌تواند بهبودی مهمی در ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین در تغذیه گیاهان ایجاد کند. این اثرات بهبود دهنده ممکن است جذب و استفاده از مواد مغذی توسط گیاه را تسهیل کند و در نتیجه، میزان پروتئین و دیگر مواد مغذی در گیاهان را افزایش دهد، که این نتایج با گزارشات موجود در این زمینه تطابق دارند (Hossein, et al 2020). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت استفاده از بیوپار به‌عنوان یک افزودنی موثر می‌تواند به بهبود محتوای پروتئین و کیفیت نهایی محصولات کشاورزی کمک کند.



شکل ۴- مقایسه میانگین محتوای پروتئین دانه تحت تأثیر بیوجار

تعداد دانه در بوته

نتایج تحلیل واریانس (جدول ۶) نشان داد که اثرات ساده اسید هیومیک و بیوجار بر تعداد دانه در بوته معنادار بود، اما اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت. همان‌طور که در جدول ۷ آمده است، بیشترین تعداد دانه در بوته از تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌دست آمد و کمترین تعداد دانه مربوط به تیمار عدم استفاده از اسید هیومیک بود که اختلاف معناداری با تیمار خاک مصرف نداشت. همچنین، نتایج نشان داد تیمار خاک مصرف اسید هیومیک نسبت به عدم استفاده از اسید هیومیک باعث افزایش ۵/۸۲ درصدی تعداد دانه در بوته شد. در بررسی Khan et al. (2020) استفاده از اسید هیومیک تعداد دانه در بوته نخود را به طور چشمگیری نسبت به تیمار عدم استفاده از اسید هیومیک افزایش داد.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای اسید هیومیک و بیوجار بر صفات مورد بررسی نخود

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد دانه در بوته	وزن کل بوته	وزن صد دانه	شاخص برداشت	عملکرد دانه
تکرار	۲	۹۶/۰۱	۱۵/۱۷	۶/۲۲	۶/۲۵	۶۱۵۸۸
اسید هیومیک	۲	۲۶۳/۳۶**	۲۵۰/۱۷**	۱۵۵/۰۵**	۱۷۸/۸۹**	۱۲۷۶۵۴۵**
بیوجار	۱	۱۳۵۲/۰۰**	۸۸/۹۴**	۲۲۷/۲۲**	۴۴۱/۰۴**	۳۴۵۷۵۷۳**
اسید هیومیک × بیوجار	۲	۳۲/۳۹ ^{ns}	۵/۰۵ ^{ns}	۲۵/۷۲**	۴۷/۳۳ ^{ns}	۲۴۵۳۷۶*
خطا	۱۰	۱۶/۵۵	۱۵/۶۳	۳/۰۸	۹/۳۲	۴۴۴۵۸
ضریب تغییرات	-	۵/۵۷	۳/۰۴	۶/۱۵	۹/۸۰	۱۰/۲۸

ns، **، * به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد

جدول ۷- مقایسه میانگین تعداد دانه در بوته و وزن کل بوته تحت تأثیر نحوه کاربرد اسید هیومیک

تیمار اسید هیومیک	تعداد دانه در بوته	وزن کل بوته (گرم)	شاخص برداشت (درصد)
عدم کاربرد اسید هیومیک	۶۷/۳۳ ^b	۱۲۳/۶۶ ^c	۲۳/۵۰ ^a
خاک مصرف	۷۱/۲۵ ^b	۱۲۸/۸۳ ^b	۲۸/۵۶ ^b
خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی	۸۰/۲۵ ^a	۱۳۶/۵۰ ^a	۳۳/۶۷ ^c
LSD 5%	۵/۲۳	۵/۰۸	۵/۰۸

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف غیر مشابه هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند

جدول ۸- مقایسه میانگین تعداد دانه در بوته و وزن کل بوته تحت تأثیر بیوجار

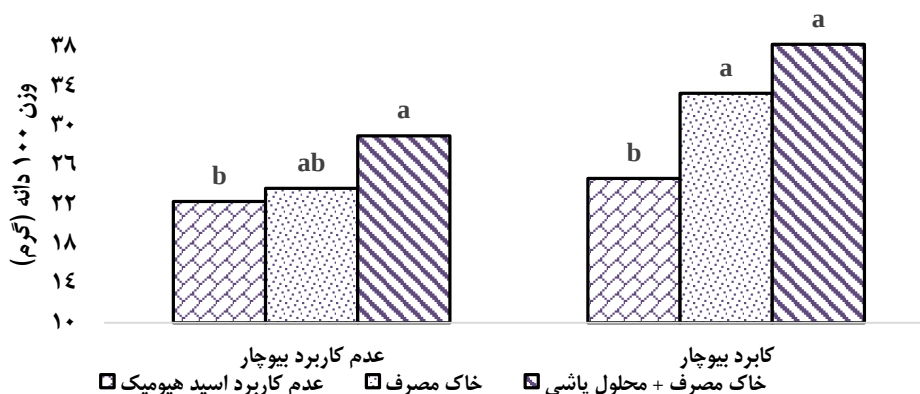
تیمار بیوجار	تعداد دانه در بوته	وزن کل بوته (گرم)	شاخص برداشت (درصد)
عدم کاربرد بیوجار	۶۴/۲۸ ^b	۱۲۲/۴۴ ^b	۲۵/۰۱ ^b
کاربرد بیوجار	۸۱/۶۱ ^a	۱۳۶/۸۸ ^a	۳۲/۱۱ ^a
LSD 5%	۴/۲۷	۴/۱۵	۱/۸۵

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف غیر مشابه هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند

به نظر می‌رسد اسید هیومیک با افزایش قدرت جذب مواد غذایی باعث افزایش تعداد دانه در بوته می‌شود. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بیوپچار نیز نشان داد که بیشترین تعداد دانه در بوته از تیمار استفاده از بیوپچار به‌دست آمد (جدول ۸). کمترین تعداد دانه در بوته مربوط به تیمار عدم استفاده از بیوپچار بود که نسبت به تیمار استفاده از بیوپچار ۲۱/۲۴ درصد کاهش نشان داد. Pradhan et al. 2022 گزارش کردند که استفاده از بیوپچار با مصرف ۱۰ تن در هکتار بیشترین تعداد دانه در بوته را در گیاه سیاه‌دانه به خود اختصاص داد و کمترین تعداد دانه مربوط به تیمار شاهد بود.

وزن صد دانه

نتایج حاصل از تجزیه داده‌ها نشان داد که اسید هیومیک، بیوپچار و اثر متقابل این دو بر وزن صد دانه نخود تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۶). بر اساس نتایج اثرات متقابل، با استفاده از بیوپچار، بیشترین وزن صد دانه متعلق به تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار مصرف خاکی اسید هیومیک نداشت، در این شرایط، کمترین وزن صد دانه مربوط به تیمار عدم استفاده از اسید هیومیک بود که نسبت به تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک، ۳۵/۷ درصد کاهش وزن داشت. در شرایط استفاده از بیوپچار، تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی نسبت به تیمار مصرف خاکی اسید هیومیک باعث افزایش ۱۵ درصدی وزن صد دانه شد. همچنین، در تیمار عدم استفاده از بیوپچار، بیشترین وزن صد دانه متعلق به تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار مصرف خاکی اسید هیومیک نداشت. در این شرایط، کمترین وزن صد دانه مربوط به تیمار عدم استفاده از اسید هیومیک بود (شکل ۵). این پژوهش نشان می‌دهد که گیاه در شرایط استفاده توأم اسید هیومیک و بیوپچار به دلیل تأمین مناسب رطوبت، با تولید بیشتر فرآورده‌ها مواجه شده و توانسته مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه‌ها منتقل کند که در نتیجه وزن صد دانه گیاه نخود افزایش یافته است.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوپچار و اسید هیومیک بر وزن صد دانه

به نظر می‌رسد اسید هیومیک تأثیر مثبتی بر عملکرد جذب عناصر پرمصرف داشته و نتایج پژوهش نشان می‌دهد جذب عناصر پرمصرف همچون پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم افزایش یافته و همین امر منجر به افزایش وزن صد دانه و در نهایت افزایش عملکرد شده است. (Kadhim and Hamza, 2021). طی بررسی دیگری مشاهده گردید مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک موجب افزایش وزن هزار دانه در گیاه گندم شد (Chandio et al 2021). (Roudgarnejad et al. (2022). گزارش کردند که اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار وزن صد دانه در لوبیا شد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

وزن کل بوته

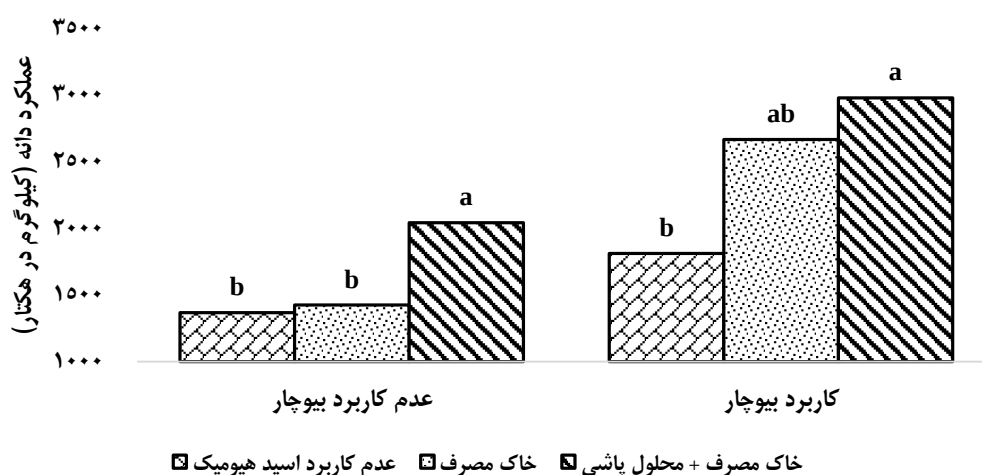
تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات ساده اسید هیومیک و بیوپچار بر وزن کل بوته اثر معنی‌داری داشت (جدول ۶). بر اساس نتایج گزارش شده در جدول ۷، مقایسه میانگین اثر ساده اسید هیومیک نشان داد که بیشترین وزن کل بوته مربوط به تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک بود و کمترین وزن کل بوته مربوط به تیمار عدم استفاده از اسید هیومیک بود. کاربرد اسید هیومیک اثر مثبت و معنی‌داری بر این صفت داشت، به‌طوری‌که با استفاده از اسید هیومیک به‌صورت یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی و مصرف خاکی، وزن کل بوته به‌ترتیب ۱۰/۴ و ۴/۲ درصد نسبت به تیمار عدم استفاده از اسید هیومیک افزایش یافته است.

(جدول ۷). گروهی از پژوهشگران اظهار داشتند اسید هیومیک از طریق تأمین و فراهم کردن عناصر کم مصرف و پرمصرف و بهبود وضعیت فتوسنتز در گیاه باعث افزایش وزن کل بوته می شود (Chen et al 2022). (de Castro et al. 2021) نیز گزارش کردند که وزن خشک بوته برنج تحت تأثیر اسید هیومیک بیشترین مقدار مربوط به تیمار ۳۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک بود و کمترین وزن خشک بوته در تیمار شاهد (عدم استفاده از اسید هیومیک) مشاهده شد.

نتایج اثرات اصلی بیوپار نشان داد که بیشترین وزن کل بوته مربوط به تیمار استفاده از بیوپار بود (جدول ۸). در تیمار استفاده از بیوپار بیشترین وزن کل بوته به دست آمد که ۱۱/۸ درصد نسبت به تیمار عدم استفاده از بیوپار افزایش داشت. به نظر می رسد افزایش وزن کل بوته نخود در اثر استفاده از بیوپار می تواند به دلیل افزایش دسترسی به عناصر غذایی در خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و بهبود شرایط رشدی باشد. در پژوهشی مشخص شد که افزودن بیوپار به طور معناداری وزن خشک اندام هوایی ذرت را افزایش داد (Wang et al 2021 b).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۶ نشان داد که تمامی اثرات ساده و متقابل بر میزان عملکرد دانه معنی دار بودند. بر اساس نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل تیمارها، بیشترین عملکرد دانه (۲۹۸۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار اسید هیومیک خاک مصرف + دوبار محلول پاشی همراه با کاربرد بیوپار بود (شکل ۶). در شرایط کاربرد بیوپار، تیمار خاک مصرف + دوبار محلول پاشی نسبت به تیمار مصرف خاکی اسید هیومیک ۱۱/۷۲ درصد افزایش عملکرد دانه نشان داد. کمترین عملکرد دانه (۱۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار عدم مصرف اسید هیومیک در شرایط عدم کاربرد بیوپار بود. همچنین، نتایج نشان داد که تیمار خاک مصرف + دوبار محلول پاشی نسبت به تیمارهای مصرف خاکی و عدم کاربرد اسید هیومیک به ترتیب ۴۳/۳۷ و ۴۹/۳۴ درصد باعث افزایش عملکرد دانه در شرایط عدم مصرف بیوپار شد.



شکل ۶- مقایسه میانگین برهم کنش بیوپار و اسید هیومیک بر عملکرد دانه

به نظر می رسد بارندگی بسیار مطلوب در دوره رشد به خصوص طی دوره رشد رویشی گیاه (۸۱، ۱۵۲ و ۱۶۷ میلی متر بارندگی به ترتیب در ماه های دی، بهمن و اسفند) باعث افزایش تاثیرگذاری بیوپار و هیومیک اسید شده که نتیجه آن رشد بسیار خوب گیاهان قبل از رشد زایشی و در نتیجه آن عملکرد بالای دانه بود. گزارشات متعددی در خصوص تأثیر مثبت اسید هیومیک بر عملکرد در گیاهان گوناگون وجود دارد (Ampong et al 2022). در پژوهشی که توسط Wang et al. (2022) روی سیب زمینی انجام شد، کاربرد اسید هیومیک به طور معنی داری بر عملکرد دانه تأثیر داشت و موجب افزایش چشمگیر آن نسبت به شاهد گردید. همچنین در مطالعات دیگر، اثر مثبت اسید هیومیک بر عملکرد دانه در گیاه نخودفرنگی (El-Hak, et al 2012) و نخود (Kahraman, 2020) گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر هم خوانی دارد. به نظر می رسد اسید هیومیک با کلات کردن عناصر ضروری، باعث افزایش جذب آن ها و در نتیجه افزایش باروری خاک و عملکرد گیاهان می شود (Liu and Cooper. 2000). همچنین در خصوص تاثیر اسید هیومیک گزارش شده است که اسید هیومیک با بهبود جذب نیتروژن، افزایش میزان آنزیم ها و پروتئین های مختلف، به خصوص آنزیم ها و پروتئین های شرکت کننده در چرخه فتوسنتزی

مانند سیتوکرومها، فردوکسینها، پلاستوسیانین و آنزیم رایبیسکو، عملکرد و اجزای عملکرد را افزایش می‌دهد (Dordas and Sioulas, 2008).

بیوپار نیز به عنوان منبعی حاصل‌خیزکننده و نگهدارنده تعادل غذایی در اکوسیستم خاکی، با فراهم آوری و نگهداری عناصر مغذی از جمله نیتروژن، سبب افزایش رشد و بازدهی محصولات می‌شود (Farrell, et al 2014). بیوپار قادر است به‌عنوان کود کدرها عمل کند و موجب بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی و بهبود عملکرد اقتصادی می‌شود (Major, et al 2010). افزایش عملکرد دانه سورگوم با مصرف بیوپار گزارش شده است (Steiner, et al 2007). همچنین گزارش شده است که در گیاه برنج، با کاربرد بیوپار عملکرد نسبت به شاهد (عدم کاربرد بیوپار) ۱۴ درصد افزایش یافته است (Zhang, et al 2007). برخی گزارشات حاکی از آن است که تیمارهای حاوی بیوپار باعث افزایش عملکرد گندم می‌شوند و دلیل این امر نگهداری بهتر آب و عناصر غذایی توسط بیوپار و تغذیه بهتر گیاه می‌باشد (Gebremedhin, et al 2015).

شاخص برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای اسید هیومیک، بیوپار بر شاخص برداشت گیاه نخود تأثیر معنی‌داری داشتند ولی اثر متقابل اسید هیومیک و بیوپار معنی‌دار نشد (جدول ۶). مقایسه میانگین برهم‌کنش اسید هیومیک و بیوپار نشان داد که بیشترین میزان شاخص برداشت (۴۱/۲۲ درصد) مربوط به تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک همراه با کاربرد بیوپار بود، که با تیمار مصرف خاکی اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۷). در شرایط استفاده از بیوپار، کمترین میزان شاخص برداشت (۲۷/۹۳ درصد) مربوط به تیمار عدم استفاده از اسید هیومیک بود که نسبت به تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک ۳۲/۲۴ درصد کاهش نشان داد (جدول ۷).

نتایج همچنین نشان داد که در شرایط عدم استفاده از بیوپار، بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۱/۸۸ درصد) از تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌دست آمد. کمترین میزان شاخص برداشت (۲۳/۳۴ درصد) مربوط به تیمار عدم استفاده از اسید هیومیک بود که با تیمار مصرف خاکی اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸). نتایج نشان داد که تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی نسبت به تیمارهای مصرف خاکی و عدم استفاده از اسید هیومیک در شرایط عدم استفاده از بیوپار به‌ترتیب ۳۶/۲۳ و ۳۶/۶ درصد شاخص برداشت را افزایش داد. اسید هیومیک با اثرات مثبت فیزیولوژیکی، از جمله تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیل برگ، باعث افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Nardi, et al 2002). کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش شاخص برداشت در گیاه لوبیا شد (Kaya, et al 2005). Anaz et al. (2021) نیز در بررسی اثر اسید هیومیک بر ژنوتیپ‌های مختلف گیاه کلزا به این نتیجه رسیدند که اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار شاخص برداشت شد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از اسید هیومیک و بیوپار در کشاورزی می‌تواند به‌طور قابل توجهی به بهبود عملکرد گیاهان، به‌ویژه گیاه نخود، کمک کند. این دو ماده به دلیل اثرات فیزیولوژیکی متفاوت خود، کمک شایانی به بهره‌وری تولید نخود داشته‌اند. بر اساس مقایسه میانگین‌ها، بهترین تیمار تولیدی از تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌همراه بیوپار به‌دست آمد. کمترین مقادیر به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک و بیوپار تعلق داشتند. این دو ماده با هم تأثیرات متقابلی بر وزن صد دانه، شاخص برداشت و عملکرد تک بوته داشتند که این تأثیرات معنی‌دار بوده و می‌توانند بهبود عملکرد نهایی گیاهان را تسهیل کنند. به‌طور خاص، استفاده از تیمار یک‌بار خاک مصرف + دوبار محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌همراه بیوپار برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه نخود پیشنهاد می‌شود. این استفاده می‌تواند نه تنها بهبود عملکرد و کیفیت محصولات را به‌دنبال داشته باشد، بلکه می‌تواند به کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آلودگی محیط زیست نیز کمک کند، زیرا این مواد به‌عنوان منابع طبیعی مورد تأیید قرار می‌گیرند. بنابراین، استفاده هوشمندانه از اسید هیومیک و بیوپار در کشاورزی می‌تواند به‌طور چشمگیری به بهبود پایداری و افزایش تولید محصولات زراعی کمک کند و همچنین نقش مثبتی در حفظ محیط زیست ایفا نماید. برای تعمیم نتایج به شرایط مختلف اقلیمی و خاکی، پیشنهاد می‌شود که این تحقیق در مناطق و شرایط مختلف زراعی تکرار شود. این کار می‌تواند به شناسایی بهتر تأثیرات طولانی‌مدت و تطابق‌پذیری این روش‌ها کمک کند. بررسی تأثیرات بیوپار و اسید هیومیک بر ویژگی‌های مختلف خاک و تأثیرات محیطی آنها بر سایر محصولات زراعی نیز می‌تواند به بهبود درک ما از کاربرد این مواد کمک کند و نتایج کارایی آنها را در مقیاس وسیع‌تر روشن‌تر نماید. بررسی هزینه و منافع اقتصادی استفاده از

بیوپچار و اسید هیومیک در تولید نخود، شامل تجزیه و تحلیل هزینه‌های مرتبط با کاربرد این مواد و افزایش تولید، می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های بهینه در مدیریت کشاورزی کمک کند. پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری بر روی تأثیرات بیوپچار و اسید هیومیک بر ویژگی‌های سلامت خاک و قابلیت‌های آن برای نگهداری آب و مواد مغذی انجام شود. این اطلاعات می‌تواند به بهبود مدیریت خاک و پایداری سیستم‌های کشاورزی کمک کند.

تحلیل اقتصادی

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، استفاده از اسید هیومیک به صورت تیمار خاک مصرف + محلول‌پاشی به همراه بیوپچار برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه نخود پیشنهاد می‌شود. چرا که کاربرد بیوپچار به تنهایی موجب افزایش ۳۲ درصدی عملکرد دانه (۱۸۱۲) کیلوگرم در هکتار در مقابل ۱۳۶۸ کیلوگرم در هکتار تیمار عدم کاربرد بیوپچار) گردید. همچنین در مورد کاربرد هر دو عامل مشخص شد عملکرد دانه نخود در تیمار عدم مصرف بیوپچار و اسید هیومیک ۱۳۶۸ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف بیوپچار و اسید هیومیک به صورت خاک مصرف + محلول‌پاشی عملکرد دانه حاصل به ۲۹۸۳ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت که با توجه به هزینه مصرفی این دو ترکیب و همچنین اثرات بلندمدت آنها می‌تواند صرفه اقتصادی مطلوبی در کشاورزی داشته باشد. این کار علاوه بر بهبود عملکرد، کیفیت و سلامت محصولات تولیدی، می‌تواند به کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آلودگی محیط زیست نیز کمک کند، زیرا بیوپچار مصرفی چندین سال در خاک باقی مانده و ضمن اثرات مثبت بر وضعیت عناصر غذایی و محتوای رطوبت، موجب کاهش مصرف نهاده‌ها و کاهش هزینه‌های تولید در بلند مدت نیز می‌شود. بنابراین، با استفاده هوشمندانه از نهاده‌های آلی همچون اسید هیومیک و بیوپچار در کشاورزی، می‌توان با افزایش تولید محصولات زراعی و همچنین کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در جهت نیل به کشاورزی پایدار گام‌های موثری برداشت.

سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله از دانشگاه گنبد کاووس به جهت حمایت مالی و مساعدت در مراحل مختلف انجام این پژوهش، تقدیر و تشکر می‌نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Ampong, K., Thilakarathna, M.S. and Gorim, L.Y., 2022. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4, p.848621.
- Anaz, N., Morteza, S.D., AmirHossein, S.R., AmirAbbas, M. and Hamid, J., 2021. The response of growth and yield of canola genotypes to humic acid application in different plant densities. *Gesunde Pflanzen*, 73(1), pp.17-27.
- Ayas, H. and Gulser, F. 2005. The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach. *Journal of Biological Sciences*. 5(6): 801-804.
- Ayuso, M., Hernandez, T., Garsia, C. and Pascual, G. A. 1996. Stimulation of barley growth and nutrients observation by humic substances organization from various organic materials. *Bio Resource Technology*. 57: 261-267.
- Baghestany, A.A. and Tousi, M., 2023. Study on Market Structure and Global Trade of Chickpea. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 12(2): 204-215.
- Canellas, L.P., Canellas, N.O., da S. Irineu, L.E.S., Olivares, F.L. and Piccolo, A., 2020. Plant chemical priming by humic acids. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7, pp.1-17.
- Chandio, W.A., Pirzada, T., Majid, A. and Rashid, F., 2021. Extraction and characterization of humic acid from agriculture soil and its effect on wheat (*Triticum Indicum*) seed growth. *Journal of Innovation. Science*, 7, p.205.
- Chen, Q., Qu, Z., Ma, G., Wang, W., Dai, J., Zhang, M., Wei, Z. and Liu, Z., 2022. Humic acid modulates growth, photosynthesis, hormone and osmolytes system of maize under drought conditions. *Agricultural Water Management*, 263, p.107447.
- Das, S.K., Ghosh, G.K. and Avasthe, R., 2020. Application of biochar in agriculture and environment, and its safety issues. *Biomass Conversion and Biorefinery*, pp.1-11.
- Datta, A., Choudhury, M., Sharma, P.C., Jat, H.S., Jat, M.L. and Kar, S., 2022. Stability of humic acid carbon under conservation agriculture practices. *Soil and Tillage Research*, 216, 105240.



- De Castro, T.A.V.T., Berbara, R.L.L., Tavares, O.C.H., da Graca Mello, D.F., Pereira, E.G., de Souza, C.D.C.B., Espinosa, L.M. and García, A.C., 2021. Humic acids induce a eustress state via photosynthesis and nitrogen metabolism leading to a root growth improvement in rice plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, pp.171-184.
- De Hita, D., Fuentes, M., Fernández, V., Zamarreño, A.M., Olaetxea, M. and García-Mina, J.M., 2020. Discriminating the short-term action of root and foliar application of humic acids on plant growth: emerging role of jasmonic acid. *Frontiers in plant science*, 11, p.493.
- Dordas, C. and Sioulas, S. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis and water efficiency plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 34: 1527–1536.
- Dürdane, M.A.R.T., 2022. Chickpea (*Cicer arietinum* L.): A current review. *MAS Journal of Applied Sciences*, 7(2), pp.372-379.
- El-Hak, S. G., Ahmed, A. and Moustafa, Y. 2012. Effect of foliar application with two antioxidants and humic acid on growth, yield and yield components of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 4(3): 318-328.
- Farrell, M., Macdonald, L. M., Butler, G., Chirino-Valle, I. and Condron, L. M. 2014. Biochar and fertilizer applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 169–178.
- Gebremedhin, G. H., Haileselassie, B., Berhe, D. and Belay, T. 2015. Effect of biochar on yield and yield Components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. *Journal of Fertilizers and Pesticides*, 6:158-162.
- Hosseini, M., Aamani, A. and Najafzadeh, N., 2023. The role of bio-fertilizer in combination with different NPK fertilizer treatments on growth characteristics and yield responses of chicken pea (*Cicer arietinum* L.). *Journal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 11(2), pp.124-133.
- Jones, J.B., 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC press.
- Kadhim, J.J. and Hamza, J.H., 2021, November. Study of seed soaking and foliar application of ascorbic acid, citric acid and humic acid on growth, yield and active components in maize. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 910, No. 1, p. 012076). IOP Publishing.
- Kahraman, A., 2017. Effect of humic acid applications on the yield components in chickpea. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 34(1), pp.218-222.
- Kahraman, A., 2020. Managing the humic acid fertilizing of chickpea and protein status. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 34(1), pp.107-110.
- Kaur, R. and Prasad, K., 2021. Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*)-A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109, pp.448-463.
- Kaya, M., Atak, M., Khawar, Kh., Cifteci, C. Y. and Ozcan, S. 2005. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International journal of agriculture and biology*, 7(6), 875-878.
- Kjeldahl, J. (1883). A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22, 366-382.
- Khan, A., Khan, R.U., Khan, S., Khan, M.Z. and Hussain, F., 2020. Effect of plant derived humic substances on the yield of chickpea grown in greenhouse. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 33(2), pp.321-326.
- Lehmann, J., Cowie, A., Masiello, C.A., Kammann, C., Woolf, D., Amonette, J.E., Cayuela, M.L., Camps-Arbestain, M. and Whitman, T., 2021. Biochar in climate change mitigation. *Nature Geoscience*, 14(12), pp.883-892.
- Liu, C. and Cooper, R. J. 2000. Humic substances influence creeping bent grass growth. *Golf Course Management*, pp. 49-53.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J. and Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a *Colombian savanna* oxisol. *Plant Soil*. 333:117–128.
- Mousavi, S.M., Srivastava, A.K., Cheraghi, M., 2022. Soil health and crop response of biochar: an updated analysis. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 69 (7):1085-1110;
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34 (11): 1527-1536.
- Nasiroleslami, E., Mozafari, H., Sadeghi-Shoae, M., Habibi, D. and 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(4), pp.2642-2651.

- Oktem, A.G. and Oktem, A., 2020. Effect of humic acid application methods on yield and some yield characteristics of corn plant (*Zea mays* L. indentata). *Journal of Applied Life Sciences International*, 23(11), pp.31-37.
- Pandey, G.K. and Mahiwal, S., 2020. *Role of potassium in plants* (Vol. 49). Cham, Switzerland: Springer.
- Pradhan, S., Mackey, H.R., Al-Ansari, T.A. and McKay, G., 2022. Biochar from food waste: a sustainable amendment to reduce water stress and improve the growth of chickpea plants. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(10), pp.4549-4562.
- Rajkovich, S., Enders A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R. and Lehmann, J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochar with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3): 271-284.
- Roudgarnejad, S., Samdeliri, M., Mirkalaei, A.M. and Moghaddam, M.N., 2022. Improving faba bean seed yield, protein and chlorophyll content by foliar application of humic acid. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 21(2), pp.115-121.
- Schmidt, H.P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T.D., Sánchez Monedero, M.A. and Cayuela, M.L., 2021. Biochar in agriculture—A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*, 13(11), pp.1708-1730.
- Sheikhi, J., Hosseini, H.M., Etesami, H. and Majidi, A., 2020. Biochar counteracts nitrification inhibitor DMPP-mediated negative effect on spinach (*Spinacia oleracea* L.) growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 191, p.110243.
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macedo, J. L. V., Blum, W. E. H. and Zech, W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered central amazonian upland soil. *Plant Soil*, 291: 275-290.
- Tauqeer, H.M., Turan, V., Farhad, M. and Iqbal, M., 2022. Sustainable agriculture and plant production by virtue of biochar in the era of climate change. In *Managing plant production under changing environment* (pp. 21-42). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Wang, D., Chen, X., Tang, Z., Liu, M., Jin, R., Zhang, A. and Zhao, P., 2022. Application of humic acid compound fertilizer for increasing sweet potato yield and improving the soil fertility. *Journal of Plant Nutrition*, 45(13), pp.1933-1941.
- Wang, J., Li, Y., Li, A., Liu, R.H., Gao, X., Li, D., Kou, X. and Xue, Z., 2021 a. Nutritional constituent and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *Food Research International*, 150, p.110790.
- Wang, S., Zheng, J., Wang, Y., Yang, Q., Chen, T., Chen, Y., Chi, D., Xia, G., Siddique, K.H. and Wang, T., 2021 b. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and yield of peanut in response to biochar application. *Frontiers in Plant Science*, 12, p.650432.
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng, J. and Crowley, D. 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139(4): 469-475.