J. Soil Plant Interact. 2025; 16(4): 17–33. https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.21721

Journal of Soil and Plant Interactions

Journal homepage: https://jspi.iut.ac.ir/

ISSN: 2783-5014 EISSN: 2783-5286

Research Article

Impacts of Humic Acid and Zinc Sulfate Application on Yield, Yield Components, and Uptake of Nutrients in Rainfed Chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Mansour)

Shahram Rashidi, Faranak Ranjbar* and Sareh Nezami

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran
* Corresponding author, Email: f_ranjbar1980@yahoo.com; f.ranjbar@razi.ac.ir

(Received: 10 August 2025; Revised: 20 September 2025; Accepted: 11 October 2025)

Abstract

Background and Objective: Chickpea (*Cicer arietinum* L.) occupies the largest cultivated area among legumes in Iran. Therefore, this research was conducted to investigate the efficiency of soil application and foliar spraying of zinc sulfate and humic acid in dryland chickpea production.

Methods: This field experiment was carried out using a split-plot design within a randomized complete block framework. The land was divided into 4 blocks, and each block had 28 plots. The main plots included the control, soil application of zinc sulfate, humic acid, and zinc sulfate + humic acid. The sub-plots included the control (without foliar application), foliar spraying of zinc sulfate, humic acid, and zinc sulfate + humic acid in a single application at pod formation and in two applications before and after flowering.

Results: The highest zinc content was obtained in the soil treatment of zinc sulfate along with foliar application of zinc sulfate before and after flowering, which showed a significant difference with the control. The highest pod number per plant (12.5), grain number per pod (1.1), plant height (67.8 cm), 100-grain weight (34.9 g), root dry weight (12.3 g per plant), node dry weight (4.6 g per plant), nodule number per root (11.4), grain yield (1431 kg ha^{-1}), biological yield (3365 kg ha^{-1}), grain nitrogen (3.6%), and grain protein (22.5%) were achieved through soil application and foliar spraying of zinc sulfate and humic acid before and after flowering.

Conclusion: Among the soil application treatments, the application of zinc sulfate + humic acid, and among the foliar spraying treatments, two-stage application of zinc sulfate + humic acid before and after flowering, had the greatest impact on the yield and yield components of chickpeas. Grain yield in these treatments increased by 34 and 55%, respectively, and biological yield increased by 30 and 32%, respectively, compared to the control.

Keywords: Biological yield, Foliar spraying, Grain protein, Grain yield, Soil application.

How to Cite: Rashidi, S., Ranjbar, F., Nezami, S., 2025. Impacts of humic acid and zinc sulfate application on yield, yield components, and uptake of nutrients in rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Mansour). J. Soil Plant Interact. 16(4), 17–33 (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.21721

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.21721 ،۱۷-۳۳ :(۴)۱۶ ،روابط خاک و گیاه ۱۴۰۴؛

روابط خاک و گیاه

صفحه خانگی فصلنامه: https://jspi.iut.ac.ir/

شاپا: ۲۷۸۳-۵۰۱۴ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۸۶

مقاله پژوهشی

تأثیر کاربرد اسید هیومیک و سولفات روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب عناصر غذایی در نخود دیم رقم منصور (*Cicer arietinum* L. cv. Mansour)

شهرام رشیدی، فرانک رنجبر* و ساره نظامی

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: f_ranjabr1980@yahoo.com; f.ranjbar@razi.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۱۹؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۶/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۱۹)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: نخود (*Cicer arietinum* L.)، بیشترین سطح زیر کشت را در بین حبوبات در ایران به خود اختصاص داده است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی کارایی مصرف خاکی و محلول‌پاشی سولفات روی و اسید هیومیک در تولید نخود دیم انجام شد.

روش‌ها: این آزمایش مزرعه‌ای با استفاده از طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. زمین به چهار بلوک تقسیم شد و هر بلوک دارای ۲۸ کرت بود. کرت‌های اصلی شامل شاهد (بدون سولفات روی و اسید هیومیک)، کاربرد خاکی سولفات روی، اسید هیومیک و سولفات روی + اسید هیومیک و کرت‌های فرعی شامل شاهد (بدون محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی سولفات روی در یک نوبت (مرحله غلاف‌بندی) و در دو نوبت (پیش و پس از گل‌دهی)، محلول‌پاشی اسید هیومیک در یک و دو نوبت و محلول‌پاشی سولفات روی + اسید هیومیک در یک و دو نوبت بود.

نتایج: بیشترین مقدار روی در تیمار خاک مصرف سولفات روی به همراه محلول‌پاشی با سولفات روی پیش و پس از گل‌دهی به دست آمدند که اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند. بیشترین تعداد غلاف در بوته (۱۲/۵)، تعداد دانه در غلاف (۱/۱)، ارتفاع بوته (۶۷/۸ سانتی‌متر)، وزن صد دانه (۳۴/۹ گرم)، وزن خشک ریشه (۱۲/۳ گرم در بوته)، وزن خشک گره (۴/۶ گرم در بوته)، تعداد گره در ریشه (۱۱/۴)، عملکرد دانه (۱۴۳۱ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (۳۳۶۵ کیلوگرم در هکتار)، نیتروژن دانه (۳/۶ درصد) و پروتئین دانه (۲۲/۵ درصد) از راه کاربرد خاکی و محلول‌پاشی سولفات روی و اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی به دست آمد.

نتیجه‌گیری کلی: در بین تیمارهای خاک‌مصرف، کاربرد سولفات روی + اسید هیومیک و در بین تیمارهای محلول‌پاشی، کاربرد دومرحله‌ای آن‌ها (پیش و پس از گل‌دهی)، بیشترین تأثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود داشت. عملکرد دانه در این تیمارها به‌ترتیب ۳۴ و ۵۵٪ و عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۳۰ و ۳۲٪ نسبت به شاهد افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، خاک‌مصرف، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، محلول‌پاشی.

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

نخود پرمصرف‌ترین لگوم غذایی در مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود و در میان حبوبات، جایگاه اول و سوم تولید را به‌ترتیب در ایران و جهان به خود اختصاص داده است (Janmohammadi et al., 2018). این گیاه در بیش از ۵۰ کشور کشت می‌شود و بیش از ۹۰ درصد تولید آن در آسیا صورت می‌گیرد (Yadav et al., 2007). نخود در بیشتر مناطق ایران بجز سواحل دریای خزر کشت می‌شود و در مناطق دیم‌خیز به ویژه نیمه غربی کشور، نقش بسیار مهمی در تداوم کشاورزی ایفا می‌کند (Borzabadi and Farahani, 2012). سطح زیر کشت این محصول در ایران برابر ۵۵۰ هزار هکتار با تولید ۲۹۵ هزار تن و میانگین عملکرد ۵۳۶ کیلوگرم در هکتار است که به طور قابل توجهی نسبت به میانگین عملکرد جهانی (۹۵۶ کیلوگرم در هکتار) کمتر است (FAOSTAT, 2016).

مدیریت عناصر غذایی در شرایط دیم می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش عملکرد نخود داشته باشد. استفاده از کودها به روشی کارآمد برای به حداقل رساندن هدررفت و بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی بسیار مهم است. از سوی دیگر، مقدار کم و رو به کاهش مواد آلی خاک، خطر قابل توجهی برای حاصلخیزی خاک، بهره‌وری محصول و بازده اقتصادی در اکوسیستم‌های کشاورزی خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. از این رو به نظر می‌رسد که استفاده از مواد آلی می‌تواند کارایی کودهای شیمیایی را به طور قابل‌توجهی بهبود بخشد (Heng et al., 2005). با این حال کشاورزان منطقه برای حفظ عملکرد محصول بر آثار مثبت کوتاه‌مدت کودهای شیمیایی تکیه می‌کنند و توجه کمی به حفظ مواد آلی در خاک دارند (Janmohammadi et al., 2018).

اسید هیومیک و اسید فولویک از کودهای آلی کاربردی در کشاورزی پایدار محسوب می‌شوند (Kahraman, 2020). این مواد هیومیکی به طور طبیعی در خاک‌های کشاورزی وجود دارند و در اثر تجزیه مواد آلی به‌ویژه با منشأ گیاهی به وجود می‌آیند و به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر تغذیه گیاهان تأثیر می‌گذارند. آثار غیرمستقیم شامل نگهداری آب، زهکشی و تهویه، بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، تغییر فراهمی عناصر غذایی خاک و جذب آن‌ها توسط ریشه‌ها می‌شود. مواد هیومیکی توان تشکیل کمپلکس‌های محلول با یون‌های فلزی دارند و رفتار بسیاری از این عناصر را کنترل می‌نمایند. آثار مستقیم شامل توسعه ریشه، تأثیر بر متابولیسم گیاه و افزایش نفوذپذیری غشای سلولی نسبت به پتاسیم و در نتیجه، افزایش فشار آماس سلولی و تقسیم سلولی است (Al-Shareef et al., 2018; Dawood et al., 2019). از سوی دیگر، افزایش انرژی درون سلول منجر به افزایش تولید کلروفیل و سرعت فتوسنتز می‌شود (Khan et al., 2013).

روی یکی از عناصر غذایی ضروری کم‌مصرف است و حدود ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از ماده خشک گیاهان را تشکیل می‌دهد. این عنصر ریزمغذی برای بیوسنتز کلروفیل و متابولیسم پروتئین‌ها ضروری است و با تأثیر بر تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین، موجب افزایش وزن خشک و طول ساقه می‌شود. کمبود روی گسترش جهانی دارد و گزارش شده است که ۳۰ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان با کمبود روی مواجه هستند (Lotfollahi et al., 2013). یکی از دلایل این کمبود، برداشت شدید روی قابل استفاده از ناحیه نفوذ ریشه در خاک است. از سوی دیگر، کمبود روی در خاک‌های آهکی و قلیایی به دلیل pH زیاد رخ می‌دهد. بنابراین، به دلیل کاهش جذب آن توسط ریشه، بهتر است این عنصر از راه محلول‌پاشی شاخساره در اختیار گیاه قرار گیرد (Graham and McDonald, 2001).

استان کرمانشاه از نظر سطح زیرکشت نخود جزء استان‌های برتر کشور است و این محصول، کشت دوم اکثر کشاورزان دیم‌کار استان است. با وجود سطح زیاد زیر کشت، عملکرد نخود در بسیاری از مزارع نسبتاً کم است. بهبود تغذیه گیاه نخود از راه مصرف اسید هیومیک و کودهای ریزمغذی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد محصول داشته باشد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی کارایی مصرف خاکی و محلول‌پاشی سولفات روی و اسید هیومیک در تولید نخود دیم پاییزه در شهرستان اسلام‌آباد غرب واقع در استان کرمانشاه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

موقعیت، زمان و طرح آزمایش

این آزمایش در مزرعه‌ای در استان کرمانشاه، شهرستان اسلام‌آباد غرب، بخش حمیل، روستای سربکوه و در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ اجرا گردید. منطقه مورد بررسی در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۲ دقیقه و ۲۷ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۴ دقیقه و ۱۵ ثانیه شمالی با ارتفاع ۱۴۰۵ متر از سطح دریا واقع شده است. میزان کل بارندگی ایستگاه حمیل در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲، ۴۰۰ میلی‌متر و میانگین، بیشینه و کمینه دمای هوا به ترتیب برابر ۱۵، ۴۰/۶ و ۸- درجه سلسیوس بود.

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل الف) شاهد، ب) سولفات روی خاک‌مصرف به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار، ج) اسید هیومیک خاک‌مصرف به میزان پنج کیلوگرم در هکتار و د) سولفات روی + اسید هیومیک خاک‌مصرف به‌ترتیب به میزان ۲۰ و پنج کیلوگرم در هکتار و کرت‌های فرعی شامل ۱) شاهد (بدون محلول‌پاشی)، ۲) محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت دو گرم در لیتر به صورت یک‌مرحله‌ای (زمان غلاف‌دادن)، ۳) محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت دو گرم در لیتر به صورت دومرحله‌ای (پیش و پس از گل‌دهی)، ۴) محلول‌پاشی با اسید هیومیک با غلظت دو گرم در لیتر به صورت یک‌مرحله‌ای، ۵) محلول‌پاشی با اسید هیومیک با غلظت دو گرم در لیتر به صورت دومرحله‌ای، ۶) محلول‌پاشی با سولفات روی + اسید هیومیک هر دو با غلظت‌های دو گرم در لیتر به صورت یک‌مرحله‌ای و ۷) محلول‌پاشی با سولفات روی + اسید هیومیک هر دو با غلظت‌های دو گرم در لیتر به صورت دومرحله‌ای بودند. به این ترتیب، در هر بلوک، ۲۸ کرت شامل هفت کرت فرعی در چهار کرت اصلی وجود داشت و با احتساب چهار بلوک، تعداد کل کرت‌های آزمایشی برابر ۱۱۲ بود. افزودن سولفات روی و اسید هیومیک در تیمارهای خاک‌مصرف به صورت کرت به کرت و پیش از کاشت انجام گرفت. سپس، کودها به کمک بیل تا عمق پنج سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. حجم و غلظت مورد استفاده برای محلول‌پاشی در تیمارهای یک‌مرحله‌ای و دومرحله‌ای با هم برابر بودند. محلول‌پاشی کرت‌ها با استفاده از سمپاش دستی دو لیتری انجام گرفت و حجم محلول‌پاشی، ۱/۵ لیتر در هر کرت با مساحت ۴۲ متر مربع بود.

نمونه‌برداری خاک و تعیین ویژگی‌های آن

پیش از آماده‌سازی بستر کشت، یک نمونه خاک مرکب از لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت شده و به آزمایشگاه منتقل شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک شامل مقادیر شن، سیلت و رس، pH و رسانایی الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی و مقادیر فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس قابل دسترس اندازه‌گیری شدند (Rowell, 1994; Jones, 2001).

عملیات کاشت، داشت و برداشت

این پژوهش با استفاده از بذر نخود دیم رقم منصور انجام شد. کاشت بذر در تاریخ ۲۰ آبان ۱۴۰۱ به صورت مکانیزه انجام گرفت. همزمان با کاشت، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره و سوپرفسفات تریپل استفاده شد. عملیات تنک‌کردن در مرحله ۶ برگی و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت. پس از تنک‌کردن، تراکم بوته‌ها به ۳۰ بوته در متر مربع کاهش یافت. از سم فن والریت نیز برای مبارزه با کرم پیله‌خوار استفاده شد. اوایل اسفند، زمانی که ارتفاع بوته‌ها ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر بود، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره مصرف شد. برداشت محصول بین ۲۷ خرداد تا ۲ تیر ۱۴۰۲ به صورت دستی انجام شد.

تعیین عملکرد و اجزای عملکرد

از هر کرت، تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب شده و صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، وزن خشک گره و تعداد گره در بوته، صفات عملکردی شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه و صفات فیزیولوژیک شامل مقدار نیتروژن، پتاسیم، فسفر، روی و پروتئین دانه اندازه‌گیری شدند. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در هر

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد بررسی (روستای سربکوه، سال ۱۴۰۱)

Table 1. Physical and chemical properties of the studies field soil (Sarbekuh village, 2022)

ویژگی (Property)	واحد (Unit)	مقدار (Value)
$pH_{1:2}$	-	7.8
رسانایی الکتریکی (Electrical conductivity, $EC_{1:2}$)	$dS\ m^{-1}$	0.4
کربن آلی (Organic carbon)	%	1.0
کربنات کلسیم معادل (Equivalent calcium carbonate)	%	29
نیتروژن کل (Total N)	%	0.1
فسفر قابل‌دسترس (Available P)	$mg\ kg^{-1}$	10.8
پتاسیم قابل‌دسترس (Available K)	$mg\ kg^{-1}$	273
آهن قابل‌دسترس (Available Fe)	$mg\ kg^{-1}$	4.4
منگنز قابل‌دسترس (Available Mn)	$mg\ kg^{-1}$	6.0
روی قابل‌دسترس (Available Zn)	$mg\ kg^{-1}$	0.6
مس قابل‌دسترس (Available Cu)	$mg\ kg^{-1}$	1.3
شن (Sand)	%	19.2
سیلت (Silt)	%	44.8
رس (Clay)	%	36
بافت خاک (Soil texture)	-	لوم رسی سیلتی (Silty clay loam)

کرت پس از حذف آثار حاشیه‌ای و کف‌برکردن بوته‌ها تعیین شدند. نیتروژن دانه به روش کجلدال اندازه‌گیری گردید و برای استخراج پتاسیم، فسفر و روی دانه از روش حل‌کردن خاکستر حاصل از هضم خشک در مخلوط اسید نیتریک+اسید کلریدریک غلیظ استفاده شد (Jones, 2001). مقادیر پتاسیم، فسفر و روی در عصاره‌ها به ترتیب با استفاده از دستگاه‌های فلیم‌فتومتر، اسپکتروفتومتر و جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. مقدار پروتئین دانه بر اساس حاصل‌ضرب مقدار نیتروژن در عدد ۶/۲۵ به دست آمد (Maleki et al., 2021).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد در محیط نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک مزرعه مورد بررسی

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. خاک دارای pH قلیایی، از نوع آهکی، غیرشور و دارای بافت لوم رسی سیلتی بود. مقادیر نیتروژن، فسفر، آهن و روی در این خاک کمتر از حدود بهینه، مقدار پتاسیم فراتر از حد بهینه و مقادیر منگنز و مس نزدیک به حدود بهینه قرار داشتند.

صفات مورفولوژیک و عملکردی

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آثار اصلی تیمارهای مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی و اثر برهمکنش آن‌ها بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین آثار اصلی تیمارهای مختلف خاک‌مصرف (جدول ۲) نشان می‌دهد که مصرف هم‌زمان سولفات روی و اسید هیومیک بیشترین تعداد

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و عملکردی بوته نخود تحت اثر تیمارهای خاک‌مصرف سولفات روی و اسید هیومیک

Table 2. Means' comparison of morphological and yield traits of chickpea plant under the influence of soil application of zinc sulfate and humic acid

تیمارها Treatments	تعداد غلاف در بوته Pod number in plant	تعداد دانه در غلاف Grain number in pod	وزن صد دانه 100-grain weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک گره Nodule dry weight	تعداد گره در بوته Nodule number in plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
			(g)	(g plant^{-1})	(g plant^{-1})		(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	(%)
شاهد Control	10.1 b	1.00 b	29.7 c	9.0 b	3.5 b	8.3 a	2491 d	950 c	38.3 a
سولفات روی Zinc sulfate	10.9 ab	1.00 b	31.4 ab	9.4 b	3.8 a	8.9 a	2783 c	1035 bc	37.2 a
اسید هیومیک Humic acid	11.5 ab	1.00 b	31.2 b	9.5 b	3.7 a	9.1 a	2964 b	1139 b	38.5 a
سولفات روی + اسید هیومیک Zinc sulfate + Humic acid	12.3 a	1.11 a	32.1 a	10.6 a	3.8 a	10.0 a	3251 a	1274 a	39.2 a

حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.05$) بر اساس آزمون LSD هستند.

Dissimilar letters in each column indicate significant difference ($p\leq0.05$) according to LSD test.

غلاف در بوته را رقم زد که نسبت به بدون مصرف خاکی، ۲۲ درصد افزایش داشت. بیشترین تعداد غلاف در بوته در میان تیمارهای محلول‌پاشی مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی بود که نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی، ۱۹ درصد افزایش داشت (جدول ۳). بیشترین مقدار این صفت در تیمار تلفیقی خاک‌مصرف سولفات روی + اسید هیومیک و محلول‌پاشی آن‌ها پیش و پس از گل‌دهی با میانگین ۱۳/۷ عدد به دست آمد که نسبت به شاهد (بدون خاک‌مصرف و محلول‌پاشی اسید هیومیک و سولفات روی) با میانگین ۸/۸ عدد، ۵۶ درصد افزایش را نشان داد.

محلول‌پاشی اسید هیومیک در نخود سبب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌شود و می‌توان این افزایش را به جذب بهتر آب و مواد غذایی و در نتیجه، افزایش فتوسنتز نسبت داد (El-Bassiony et al., 2010). پژوهشگران، بیشترین تعداد غلاف در بوته نخود را در اثر کاربرد اسید هیومیک به میزان ۶ لیتر در هکتار گزارش کردند که در مقایسه با شاهد، ۲۹ درصد افزایش را نشان داد. آن‌ها بیان کردند که اسید هیومیک اثر مثبت و معنی‌داری بر جذب عناصر مس، روی، منگنز و فسفر داشت و از این‌رو، رشد گیاه افزایش یافت (Armin and Moslehi, 2013). نتایج یک پژوهش، بیشترین تعداد غلاف در بوته نخود دیم را در تیمار محلول‌پاشی در مراحل رویشی و گل‌دهی با اختلاط ٪۷۵ اسید هیومیک + ٪۲۵ اوره و کمترین مقدار آن را در تیمار محلول‌پاشی در مراحل رویشی و گل‌دهی با اختلاط ٪۲۵ اسید هیومیک + ٪۷۵ اوره نشان داد (Shabani and Armin, 2017). پژوهشگران نشان دادند که تعداد غلاف در بوته نخود رقم هاشم به طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد سطوح مختلف کود حیوانی (۱، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) و کود-آبیاری جداگانه با آهن و روی (هر کدام به میزان ۲ کیلوگرم در هکتار) قرار گرفت و کمترین تعداد غلاف برای شاهد به دست آمد. همچنین، بین تعداد غلاف در بوته‌های تحت کود-آبیاری با آهن و روی تفاوت معنی‌داری

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و عملکردی بوته نخود تحت اثر تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات روی و اسید هیومیک

Table 3. Means' comparison of morphological and yield traits of chickpea plant under the influence of foliar spraying of zinc sulfate and humic acid

تیمارها Treatments	تعداد غلاف در بوته Pod number in plant	تعداد دانه در غلاف Grain number on pod	وزن صد دانه 100-grain weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک گره Nodule dry weight	تعداد گره در بوته Nodule number in pant	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
			(g)	(g plant^{-1})	(g plant^{-1})		(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	(%)
شاهد Control	10.5 b	1.00 b	28.3 d	8.8 cd	3.1 e	7.4 d	2540 e	926 d	37.1 bc
سولفات روی دومرحله‌ای Double application of Zn	10.8 b	1.00 b	29.4 c	9.5 c	3.7 c	8.9 bc	2792 cd	1040 cd	37.2 bc
اسید هیومیک دومرحله‌ای Double application of humic acid	11.4 ab	1.00 b	31.5 b	9.4 cd	3.4 d	8.5 c	2932 bc	1012 cd	34.7 c
سولفات روی + اسید هیومیک دومرحله‌ای Double application of Zn + humic acid	12.5 a	1.13 a	34.9 a	12.3 a	4.6 a	11.4 a	3365 a	1431 a	42.7 a
سولفات روی یک‌مرحله‌ای Single application of Zn	10.8 b	1.00 b	29.1 cd	8.6 cd	3.6 c	9.7 b	2707 d	1120 bc	41.2 ab
اسید هیومیک یک‌مرحله‌ای Single application of humic acid	11.4 ab	1.00 b	32.2 b	8.5 d	3.4 d	8.7 c	2765 d	996 cd	36.2 c
سولفات روی + اسید هیومیک یک‌مرحله‌ای Single application of Zn + humic acid	11.0 b	1.06 ab	32.3 b	10.4 b	4.1 b	9.0 bc	3006 b	1170 b	38.8 abc

حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.05$) بر اساس آزمون LSD هستند.

Dissimilar letters in each column indicate significant difference ($p\leq0.05$) according to LSD test.

وجود نداشت، اما با افزایش میزان مصرف کود حیوانی از صفر به ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار، تعداد غلاف به طور معنی‌داری افزایش یافت (Janmohammadi et al., 2018).

تعداد دانه در غلاف

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تیمارهای مختلف خاک‌مصرف بر تعداد دانه در غلاف نخود در سطح یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر اصلی تیمارهای مختلف محلول‌پاشی و اثر برهمکنش تیمارها معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین آثار اصلی در تیمارهای خاک‌مصرف نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار سولفات روی + اسید هیومیک با مقدار ۱/۱۱ به دست آمد و بین دو تیمار خاک‌مصرف دیگر و بدون خاک‌مصرف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). بیشترین تعداد غلاف در بوته در میان تیمارهای محلول‌پاشی مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی بود (جدول ۳). کاربرد اسید هیومیک در زمان گل‌دهی می‌تواند از ریزش یا عقیم‌شدن غلاف‌ها در شرایط دیم جلوگیری کند و موجب افزایش تعداد دانه در بوته شود (Shabani and Armin, 2017). پژوهشگران با بررسی تأثیر تیمارهای مختلف شامل تلقیح بذر نخود دیم با باکتری *ریزوبیوم* و مصرف اوره (۴۰ کیلوگرم) و سولفات روی (۲۵ کیلوگرم در هکتار) گزارش کردند که تعداد غلاف در بوته در دامنه ۱/۱۹–۱/۰۳ عدد متغیر بود (Soleimani and Asgharzadeh, 2010).

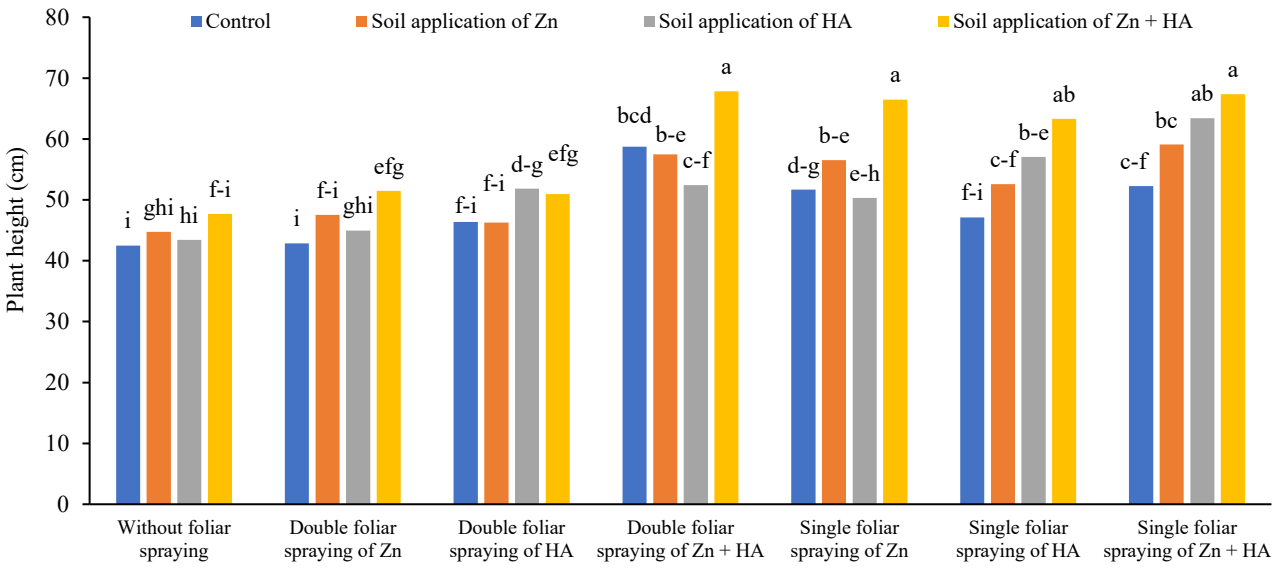
ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آثار اصلی و برهمکنش تیمارهای مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین در شکل ۱ نشان می‌دهد که بیشترین ارتفاع بوته (۶۷/۸ سانتی‌متر) مربوط به تیمار خاک‌مصرف سولفات روی + اسید هیومیک و محلول‌پاشی با سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی بود که نشان از آثار مثبت مصرف هم‌زمان خاک‌مصرف و محلول‌پاشی روی و اسید هیومیک بر این صفت دارد. اسید هیومیک با کلات‌کردن عناصر ضروری، باعث افزایش جذب آن‌ها می‌شود و باروری و تولید را در گیاهان افزایش می‌دهد. تقسیم و بزرگ‌شدن سلول‌ها و در نتیجه افزایش ارتفاع بوته مستلزم دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی کافی به‌ویژه نیتروژن است. کاربرد اسید هیومیک می‌تواند موجب افزایش جذب نیتروژن، فسفر و ریزمغذی‌ها شود. همچنین، اسید هیومیک می‌تواند به عنوان یک هورمون تنظیم‌کننده رشد عمل نماید (Ayaş and Gülser, 2005; Khan et al., 2013).

وزن صد دانه

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که آثار اصلی تیمارهای مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی بر وزن صد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. مقایسه میانگین آثار اصلی تیمارهای خاک‌مصرف نشان داد که بیشترین مقدار وزن صد دانه مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک با میزان ۳۲/۱ گرم بود که با تیمار سولفات روی اختلاف معنی‌داری نشان نداد و افزایش ۸ درصدی نسبت بدون خاک‌مصرف داشت (جدول ۲). اسید هیومیک با داشتن آثار شبه‌هورمونی، افزایش قدرت جذب عناصر پرمصرف و ریزمغذی و با آثار مثبت بر غشای سلولی و بهبود انتقال عناصر غذایی در گیاه باعث افزایش رشد گیاه، تعداد دانه در بوته و عملکرد می‌گردد. نتایج پژوهشی نشان داد که عملکرد نخود و اجزای عملکرد آن تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان یک گرم در لیتر قرار گرفت (Gad El-Hak et al., 2012).

بیشترین وزن صد دانه در میان تیمارهای محلول‌پاشی مربوط به تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی با میانگین ۳۴/۹ گرم بود که باعث افزایش ۲۳ درصدی وزن صد دانه نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شد (جدول ۳). اسید هیومیک رشد گیاه را از راه تغییرات فیزیولوژیک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک افزایش می‌دهد (Dawood et al., 2019). اسید هیومیک با کلات کردن عناصر ضروری سبب جذب آن‌ها می‌شود و باروری



شکل ۱. مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت اثر برهمکنش تیمارهای مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی سولفات روی و اسید هیومیک (Zn: سولفات روی؛ HA: اسید هیومیک)؛ حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.05$) بر اساس آزمون LSD هستند.

Fig. 1. Means' comparison of plant height under the interaction of soil application and foliar spraying of zinc sulfate and humic acid (Zn: Zinc sulfate; HA: Humic acid); Dissimilar letters indicate significant difference according to LSD test ($p\leq0.05$).

خاک و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد و در نتیجه، می‌تواند یکی از دلایل افزایش وزن دانه در بوته در اثر محلول‌پاشی برگی باشد (Liu and Cooper, 2000). پژوهشگران، بیشترین تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نخود را در تیمار محلول‌پاشی با اسید هیومیک با غلظت دو گرم در لیتر به دست آوردند (Maleki et al., 2021).

وزن خشک ریشه

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که وزن خشک ریشه در بوته نخود به طور معنی‌داری تحت تأثیر آثار اصلی سطوح مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی در سطح یک درصد قرار گرفت. بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در میان تیمارهای خاک‌مصرف (۱۰/۶ گرم در بوته) در تیمار سولفات روی + اسید هیومیک مشاهده شد و سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). بیشترین وزن خشک ریشه در میان تیمارهای محلول‌پاشی مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی با میانگین ۱۲/۳ گرم در بوته بود (جدول ۳).

مصرف اسید هیومیک و اسید فولویک سبب افزایش فتوسنتز و فعالیت آنزیمی در گیاهان می‌شود. تأثیر مواد هیومیکی در گیاهان به‌صورت غیرمستقیم (افزایش بهره‌وری کودها و کاهش تراکم خاک) و یا مستقیم (افزایش زیست‌توده گیاه به‌ویژه در قسمت ریشه) است. مواد هیومیکی موجب افزایش فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف به ویژه آهن و روی برای گیاهان می‌شوند (Khaled and Fawy, 2011). به نظر می‌رسد کاربرد کود آلی می‌تواند منجر به افزایش عملکرد ماده خشک در گیاه شود. احتمالاً می‌توان افزایش وزن خشک ریشه را در اثر کاربرد هیومیک اسید به آثار شبه‌هورمونی آن نسبت داد که موجب افزایش رشد ریشه و وزن خشک آن می‌شود. افزایش ماده خشک در اثر کاربرد عنصر روی نیز می‌تواند به علت افزایش بیوسنتز اکسین، افزایش غلظت کلروفیل، کاهش تجمع سدیم و افزایش کارایی نیتروژن و فسفر باشد (Khalili Mahalleh and Roshdi, 2008).

وزن خشک گره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آثار اصلی تیمارهای

مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی بر وزن خشک گره در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین تیمارهای خاک‌مصرف نشان داد که کمترین مقدار این صفت (۳/۵ گرم در بوته) مربوط به شاهد بود و سه تیمار خاک‌مصرف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). بیشترین مقدار وزن خشک گره در بوته در بین تیمارهای محلول‌پاشی مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی با میانگین ۴/۶ گرم و کمترین مقدار مربوط به تیمار بدون محلول‌پاشی با میانگین ۳/۱ گرم بود (جدول ۳). افزایش وزن خشک گره در اثر کاربرد خاکی سولفات روی توسط پژوهشگران گزارش شده است (Soleimani and Asgharzadeh, 2010).

تعداد گره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تیمارهای محلول‌پاشی در سطح یک درصد بر تعداد گره در بوته معنی‌دار شدند، درحالی‌که اثر اصلی تیمارهای خاک‌مصرف و اثر برهمکنش تیمارهای خاک‌مصرف و محلول‌پاشی معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین آثار اصلی نشان داد که بیشترین تعداد گره در بوته در بین تیمارهای خاک‌مصرف مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک بود که با شاهد و سایر تیمارهای خاک‌مصرف اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). در میان تیمارهای محلول‌پاشی، بیشترین تعداد گره مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی با میانگین ۱۱/۴ عدد و کمترین تعداد مربوط به تیمار بدون محلول‌پاشی (شاهد) با میانگین ۷/۴ عدد بود (جدول ۳).

پژوهشگران بیشترین تعداد گره در بوته نخود دیم (۱۱ عدد) را در تیمار تلقیح با *ریزوبیوم* + سولفات روی خاک‌مصرف و کمترین تعداد (۶ عدد) را در تیمارهای اوره خاک‌مصرف و اوره + سولفات روی خاک‌مصرف گزارش کردند (Soleimani and Asgharzadeh, 2010). افزایش تعداد و وزن گره در بوته نخود می‌تواند نشانه افزایش فعالیت باکتری *ریزوبیوم*، افزایش تثبیت بیولوژیک نیتروژن و فراهمی آن برای گیاه و در نتیجه، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد باشد. اگرچه ریشه نخود توانایی تثبیت نیتروژن را دارد، اما مقایسه تعداد گره روی ریشه در سطوح مختلف کود حیوانی (۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) نشان داد که کمترین تعداد گره مربوط به شرایط بدون مصرف کود آلی بود (Janmohammadi et al., 2018). ریزمغذی‌ها نیز برای فرآیند تثبیت بیولوژیک نیتروژن ضروری هستند و بنابراین، بین کودهای آلی و معدنی می‌تواند آثار هم‌افزایی وجود داشته باشد (Janmohammadi et al., 2018). با این حال، سرنوشت زیست‌محیطی ریزمغذی‌ها و فراهمی آن‌ها برای گیاهان توسط متغیرهای مختلف خاک مانند pH، ماده آلی، کربنات کلسیم و گنجایش تبادل کاتیونی کنترل می‌شود (Najafi-Ghiri et al., 2013).

عملکرد بیولوژیک

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که آثار اصلی تیمارهای مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی بر عملکرد بیولوژیک نخود در سطح یک درصد معنی‌دار شدند، اما اثر برهمکنش تیمارها بر آن معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین آثار اصلی تیمارهای خاک‌مصرف نشان داد که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در میان تیمارهای خاک‌مصرف، در تیمار سولفات روی + اسید هیومیک با مقدار ۳۲۵۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به بدون خاک‌مصرف، ۳۰ درصد افزایش پیدا کرد (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک در بین تیمارهای محلول‌پاشی مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی با میانگین ۳۳۶۵ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی، ۳۲ درصد افزایش داشت (جدول ۳). ویژگی‌های مؤثر بر افزایش عملکرد بیولوژیک در تیمارهای خاک‌مصرف و محلول‌پاشی سولفات روی و اسید هیومیک، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه بودند (جداول ۲ و ۳).

محلول‌پاشی با اسید هیومیک بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاه نخود اثر معنی‌داری دارد (Rasaei et al., 2012). پژوهشگران گزارش کردند که محلول‌پاشی با اسید هیومیک در فازهای رویشی و زایشی به طور

معنی‌داری عملکرد بیولوژیک نخود دیم را تحت تأثیر قرار داد (Shabani and Armin, 2017). نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار محلول‌پاشی با اسید هیومیک بدون اختلاط با اوره و کمترین عملکرد در تیمار اختلاط ٪۷۵ اوره + ٪۲۵ اسید هیومیک به دست آمد. اسید هیومیک با آثار مثبت فیزیولوژیک مانند افزایش متابولیسم سلول‌های گیاهی، افزایش مقدار کلروفیل برگ و افزایش کارایی بافت‌های فتوسنتزکننده موجب افزایش عملکرد می‌گردد (Gad El-Hak et al., 2012). محلول‌پاشی با اسید هیومیک منجر به افزایش تولید کربوهیدرات‌ها در شاخساره گیاه می‌شود که به ریشه و سپس، به ریزوسفر منتقل می‌شوند. در اثر این فرایند، فعالیت میکروبی در محیط اطراف ریشه افزایش می‌یابد و منجر به افزایش تولید اسیدهای آلی و فراهمی عناصر غذایی برای گیاه می‌گردد (Sassi-Aydi et al., 2014). نتایج یک پژوهش نشان داد که اثر محلول‌پاشی با سطوح مختلف سولفات روی (۱۲، ۲۴ و ۳۶ گرم در لیتر) بر عملکرد بیولوژیک نخود دیم بهاره رقم هاشم در سطح یک درصد معنی‌دار شد و بیشترین مقدار عملکرد مربوط به محلول‌پاشی با مقدار ۳۶ گرم در لیتر سولفات روی بود (Borzabadi and Farahani, 2012). اسید هیومیک هورمون‌هایی را فعال می‌کند که نفوذپذیری ریشه را افزایش داده، در نتیجه به سازمان‌دهی رشد گیاه و تنظیم پاسخ آن به شرایط محیطی کمک کرده و منجر به بهبود عملکرد اقتصادی و بیولوژیک گیاه می‌شوند (Roudgarnejad et al., 2021).

عملکرد دانه

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که آثار اصلی تیمارهای مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شدند، اما اثر برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین تیمارهای خاک‌مصرف نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه (۱۲۷۴ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک و کمترین مقدار (۹۵۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به بدون خاک‌مصرف بود (جدول ۲). به این ترتیب، مصرف خاکی اسید هیومیک + سولفات روی منجر به افزایش ۳۴ درصدی در عملکرد دانه نسبت به بدون مصرف آن‌ها شد. در میان تیمارهای محلول‌پاشی، بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی با میانگین ۱۴۳۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار مربوط به بدون محلول‌پاشی با میانگین ۹۲۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). افزایش عملکرد دانه در تیمارهای خاک‌مصرف و محلول‌پاشی سولفات روی و اسید هیومیک تحت تأثیر افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه قرار داشت (جداول ۲ و ۳).

نتایج یک پژوهش نشان داد که مصرف خاکی اسید هیومیک نسبت به محلول‌پاشی آن آثار سودمند بیشتری بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود داشت؛ به‌گونه‌ای‌که مصرف خاکی ۱۵ یا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری با مصرف ۴۵ میلی‌گرم در لیتر این کود به صورت محلول‌پاشی نداشت. همچنین، مصرف اسید هیومیک موجب افزایش عملکرد دانه و تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته نخود شد و بیشترین غلظت پتاسیم، فسفر و آهن نیز با مصرف خاکی ۱۵ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک به دست آمد (Khan et al., 2013). در پژوهشی، بیشترین عملکرد دانه (۱۰۲۰ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۲۲۰۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تلقیح بذر نخود با *ریزوبیوم* همراه با مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی گزارش شدند که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۴۹ و ۳۵ درصد افزایش داشتند (Soleimani and Asgharzadeh, 2010). پژوهشگران نشان دادند که بیشترین عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی با ٪۱۰۰ اسید هیومیک بدون اختلاط با اوره در مراحل رویشی و گل‌دهی به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی با اختلاط ٪۷۵ اسید هیومیک + ٪۲۵ اوره نداشت (Shabani and Armin, 2017). کاربرد اسید هیومیک به صورت محلول‌پاشی موجب افزایش غلظت ترکیباتی مانند بتا کاروتن، سوپراکسید دیسموتاز و اسید آسکوربیک در گیاه می‌شود که نقش بسیار مهم در تنظیم فازهای رویشی و زایشی گیاه، افزایش مقاومت نسبت به تنش‌های محیطی و در نتیجه، افزایش عملکرد گیاه دارند (El-

Ghamry et al., 2009). بنابراین، محلول‌پاشی با اسید هیومیک در مراحل حساس رشد و رهاسازی تدریجی مواد مغذی منجر به افزایش پتانسیل تولید جذب در گیاه می‌شود و چون دانه‌ها ذخایر اصلی در گیاه هستند، افزایش نسبت دانه به زیست‌توده کل دور از انتظار نیست. پژوهشگران نشان دادند که محلول‌پاشی با سولفات روی به میزان شش کیلوگرم در هکتار موجب افزایش عملکرد دانه نخود از ۱۲۲۴ به ۱۳۸۴ کیلوگرم در هکتار شد (Dadkhah et al., 2015). روی با فعال‌سازی آنزیم‌های‌کاهنده گونه‌های فعال اکسیژن موجب افزایش پایداری غشای سلولی، انباشت متابولیت‌های ثانویه مانند پرولین و قندهای محلول، افزایش غلظت کلروفیل و افزایش فعالیت فسفواینول پیروات کربوکسیلاز و ریبلوز بیس فسفات کربوکسیلاز (روبیسکو) می‌شود و در نتیجه، می‌تواند میزان فتوسنتز و عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار دهد (Ravi et al., 2008).

شاخص برداشت

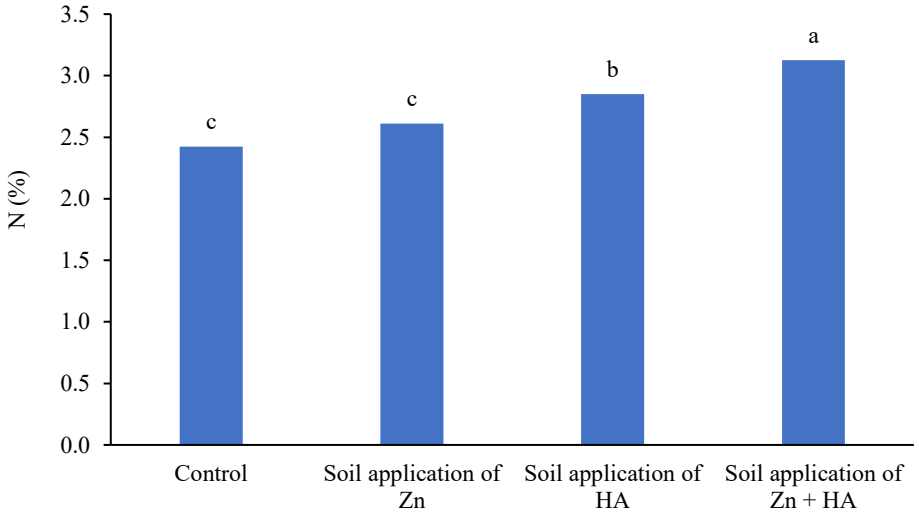
شاخص برداشت نشان‌دهنده چگونگی و کارایی توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی (دانه) و عملکرد بیولوژیک است. تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تیمارهای محلول‌پاشی بر شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار شد، در حالی‌که اثر اصلی تیمارهای خاک‌مصرف و اثر برهمکنش تیمارهای خاک‌مصرف و محلول‌پاشی بر این شاخص معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین تیمارهای محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین شاخص برداشت با عدد ۴۲/۷ درصد مربوط به تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی و کمترین مقدار مربوط به تیمار محلول‌پاشی با اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی بود (جدول ۳). در یک پژوهش، بیشترین شاخص برداشت نخود دیم در شرایط بدون مصرف کود (شاهد) گزارش شد و دلیل آن، افزایش قابل توجه عملکرد بیولوژیک در تیمارهای کاربرد کود حیوانی و ریزمغذی‌ها (آهن و روی) عنوان شد (Janmohammadi et al., 2018). یکی از دلایلی که کودهای آلی موجب افزایش شاخص برداشت، عملکرد دانه و یا عملکرد بیولوژیک می‌شوند، افزایش حلالیت ترکیبات غیرمحلول دارای عناصر غذایی مانند فسفر، آهن، منگنز و روی و افزایش فراهمی آن‌ها برای گیاه است. پژوهشگران گزارش کردند که عملکرد دانه و شاخص برداشت نخود با مصرف خاکی اسید هیومیک افزایش پیدا کرد و بیشترین مقادیر این شاخص‌ها در بالاترین سطح کاربرد آن (پنج کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (Abhari and Gholinezhad, 2019). نتایج پژوهشی نشان داد که محلول‌پاشی با اسید هیومیک در مراحل مختلف رشد باقلا آثار متفاوتی بر افزایش ارتفاع بوته، عملکرد دانه، پروتئین دانه و صفات کیفی دانه داشت و بیشترین افزایش در صفات رشدی و عملکردی در تیمار محلول‌پاشی در اواسط فاز رویشی گیاه رخ داد. همچنین، افزایش میزان مصرف اسید هیومیک از ۲۰۰ به ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر بهبود صفات اندازه‌گیری‌شده تأثیری نداشت (Roudgarnejad et al., 2021).

صفات فیزیولوژیک

نیتروژن دانه

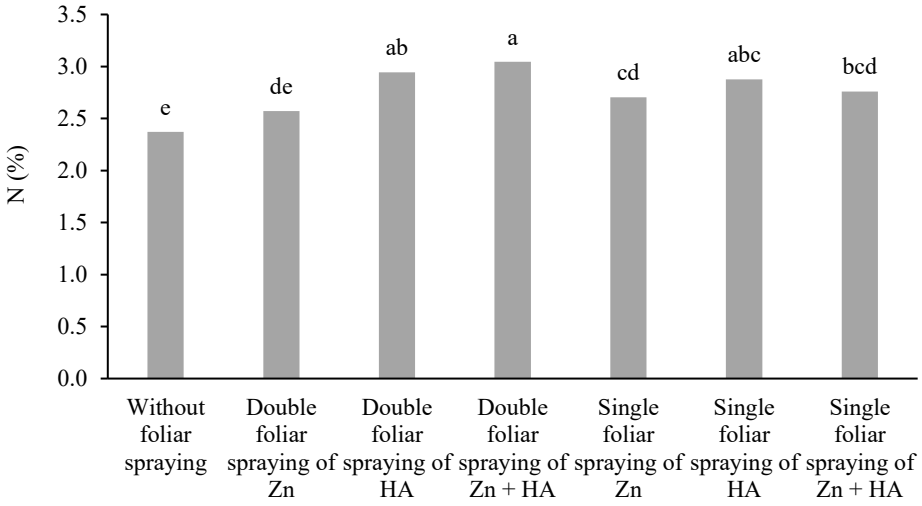
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تیمارهای مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی در سطح یک درصد بر مقدار نیتروژن دانه معنی‌دار شدند، اما اثر برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود. بیشترین درصد نیتروژن دانه در میان تیمارهای خاک‌مصرف مربوط به تیمار سولفات روی + اسید هیومیک (شکل ۲) و در میان تیمارهای محلول‌پاشی مربوط به تیمار اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی (شکل ۳) بود. مقدار نیتروژن دانه در دامنه ۳/۶– ۲/۱ درصد قرار داشت و بر اساس تلفیق تیمارهای خاک‌مصرف و محلول‌پاشی، بیشترین درصد نیتروژن دانه در تیمار خاک‌مصرف سولفات روی + اسید هیومیک همراه با محلول‌پاشی با اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی و کمترین مقدار در شاهد به دست آمد.

اسید هیومیک با افزایش کارایی سیستم ریشه‌ای در گیاهان منجر به افزایش جذب نیتروژن و جلوگیری از هدررفت آن از خاک می‌گردد. همچنین، اسید هیومیک می‌تواند جذب عناصر



شکل ۲. مقایسه میانگین درصد نیتروژن دانه (N) تحت اثر تیمارهای خاک‌مصرف سولفات روی و اسید هیومیک (Zn: سولفات روی؛ HA: اسید هیومیک)؛ حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.05$) بر اساس آزمون LSD هستند.

Fig. 2. Means' comparison of grain nitrogen percentage (N) under the influence of soil application of zinc sulfate and humic acid (Zn: Zinc sulfate; HA: Humic acid); Dissimilar letters indicate significant difference according to LSD test ($p\leq0.05$).



شکل ۳. مقایسه میانگین درصد نیتروژن دانه (N) تحت اثر تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات روی و اسید هیومیک (Zn: سولفات روی؛ HA: اسید هیومیک)؛ حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.05$) بر اساس آزمون LSD هستند.

Fig. 3. Means' comparison of grain nitrogen percentage (N) under the influence of foliar spraying of zinc sulfate and humic acid (Zn: Zinc sulfate; HA: Humic acid); Dissimilar letters indicate significant difference according to LDS test ($p\leq0.05$).

غذایی مانند پتاسیم، کلسیم، فسفر و آهن را افزایش دهد و منجر به بهبود تعادل غذایی گیاه، جذب کودها، رشد ریشه، شاخساره و عملکرد گیاه گردد. اسید هیومیک با فعال‌سازی پمپ پروتونی و افزایش نفوذپذیری غشای سلول‌های ریشه موجب بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (Tan, 2003). از سوی دیگر، پژوهشگران درصد نیتروژن در دانه نخود دیم را تحت تأثیر تیمارهای تلقیح بذر و مصرف اوره و سولفات روی در دامنه ۱/۷–۳/۳ درصد گزارش کردند و کمترین و بیشترین مقدار آن را

به‌ترتیب برای شاهد و تیمار اوره + سولفات روی به دست آوردند (Soleimani and Asgharzadeh, 2010).

فسفر و پتاسیم دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، آثار اصلی و برهمکنش تیمارهای مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی بر میزان فسفر دانه معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار فسفر دانه (۰/۳۸ درصد) مربوط به تیمار خاک‌مصرف اسید هیومیک همراه با محلول‌پاشی با اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی بود که بر اساس آزمون LSD با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان نداد. پژوهشگران افزایش جذب فسفر در گیاه را از راه کاربرد اسید هیومیک به میزان ۲ گرم در کیلوگرم خاک و محلول‌پاشی آن به میزان ۰/۱ درصد نشان دادند (Khaled and Fawy, 2011). همچنین، گزارش شده است که اسید هیومیک در سازگاری گیاهان نسبت به فراهمی فسفر نقش دارد (Jindo et al., 2016).

نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که مقدار پتاسیم دانه به طور معنی‌دار تحت تأثیر آثار اصلی و برهمکنش تیمارهای مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی قرار نگرفت. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم دانه (۱/۱۴ درصد) مربوط به تیمار خاک‌مصرف اسید هیومیک بدون محلول‌پاشی و کمترین مقدار (۰/۷۹ درصد) مربوط به شاهد بود که بر اساس آزمون LSD با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند ($p \leq$ ۰/۰۵). اسید هیومیک به دلیل داشتن گروه‌های عاملی کربوکسیل و اثر کلات‌کنندگی می‌تواند موجب رهاسازی پتاسیم تثبیت شده و افزایش فراهمی آن برای گیاه شود (Rousta and Enayati, 2019).

روی دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آثار اصلی و برهمکنش تیمارهای مختلف کودی بر میزان روی دانه معنی‌دار نبودند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار روی دانه (۲/۹۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) در تیمار خاک‌مصرف سولفات روی همراه با محلول‌پاشی با سولفات روی پیش و پس از گل‌دهی و کمترین مقدار (۱/۸۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) در شاهد به دست آمد که بر اساس آزمون LSD با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند ($p \leq$ ۰/۰۵). این نتیجه نشان می‌دهد که امکان غنی‌سازی روی در دانه نخود با کاربرد سولفات روی به صورت خاک‌مصرف و محلول‌پاشی امکان‌پذیر است. پژوهشگران بیشترین مقدار روی در دانه نخود دیم (۴/۳۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) را در تیمار ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به دست آوردند که ۳۸/۵ درصد نسبت به شاهد (۳/۱۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) افزایش داشت. مقدار روی دانه در تیمارهای دارای اسید هیومیک نیز نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد (Soleimani and Asgharzadeh, 2010). جذب بیشتر مس، آهن منگنز و روی با کاربرد خاک‌مصرف و محلول‌پاشی اسید هیومیک ممکن است به توسعه بهتر ریشه، کلات‌شدن یون‌های فلزی با اسید هیومیک و دپلیمریزاسیون ترکیبات پیچیده با وزن مولکولی زیاد مانند اسید هیومیک با ترشحات ریشه و آنزیم‌های موجود در خاک نسبت داده شود (Shreelatha et al., 2020).

پروتئین دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، میزان پروتئین دانه به طور معنی‌دار تحت تأثیر آثار اصلی تیمارهای مختلف خاک‌مصرف و محلول‌پاشی قرار گرفت ($p \leq$ ۰/۰۱)، در حالی‌که اثر برهمکنش تیمارها بر این صفت معنی‌دار نبود. مقدار پروتئین دانه در دامنه ۹/۵ تا ۱۲/۲ درصد قرار داشت و روند تغییرات آن در میان تیمارهای مختلف همانند نیتروژن بود. پژوهشگران گزارش کردند که مقدار ترکیبات بیوشیمیایی مانند کلروفیل، قند، پروتئین و اسیدهای آمینه آزاد و فنل‌های محلول در شاخ و برگ و غلاف نخود در اثر کاربرد اسید هیومیک افزایش پیدا کرد (Khan et al., 2013). نتیجه یک پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی نخود با اسید هیومیک سبب افزایش اندازه و تعداد غلاف، وزن غلاف و مقدار کلروفیل و پروتئین به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه گردید (El-Bassiony et al., 2010). مقدار پروتئین دانه نخود

دیم در پژوهش دیگری در دامنه ۲۳/۱-۱۹/۴ درصد به دست آمد که بیشترین مقدار مربوط به تیمار اوره + سولفات روی و کمترین مقدار مربوط به شاهد بود (Soleimani and Asgharzadeh, 2010). مقدار پروتئین دانه نخود آبی بهاره در شرایط کاربرد سطوح ۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار به ترتیب ۲۱/۷۲، ۲۲/۲۰، ۲۵/۸۸ و ۲۰/۵۶ درصد گزارش شده است (Kahraman, 2020). بر آن اساس، مصرف بیش از حد اسید هیومیک مؤثر نبود، در حالی‌که دوزهای پایین‌تر باعث افزایش مقدار پروتئین دانه‌های نخود شد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در بین تیمارهای خاک‌مصرف، کاربرد هم‌زمان سولفات روی و اسید هیومیک و در بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی، کاربرد دومرحله‌ای آن‌ها (پیش و پس از گل‌دهی)، بیشترین تأثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود داشتند. عملکرد دانه در این تیمارها به‌ترتیب به میزان ۳۴ و ۵۵ درصد و عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب به میزان ۳۰ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد افزایش پیدا کردند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر محلول‌پاشی بر افزایش عملکرد بیشتر از مصرفی خاکی سولفات روی و اسید هیومیک بوده است. اگرچه اثر برهمکنش تیمارهای خاک‌مصرف و محلول‌پاشی بر عملکرد و اجزای عملکرد معنی‌دار نبود، بیشترین مقدار عملکرد از راه مصرف همزمان خاکی و محلول‌پاشی سولفات روی + اسید هیومیک پیش و پس از گل‌دهی به دست آمد. نیاز به آگاهی روزافزون در زمینه اصلاح مدیریت تغذیه در سیستم تولید نخود در مناطق نیمه‌خشک از راه کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جایگزینی با کودهای آلی وجود دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد تلفیقی ریزمغذی‌ها و کودهای آلی می‌تواند منجر به افزایش کمّیت و کیفیت نخود دیم شود.

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورداستفاده

References

1. Abhari, A., Gholinezhad, E., 2019. Effect of humic acid on grain yield and yield components in chickpea under different irrigation levels. J. Plant Physiol. Breed. 9(2), 19–29. https://doi.org/10.22034/jppb.2019.10441.
2. Al-Shareef, A.R., Nakhlawy, F.S., Ismail, S.M., 2018. Enhanced mung bean and water productivity under full irrigation and stress using humic acid in arid regions. Legum Res. 41(3), 428–431. https://doi.org/10.18805/LR-362.
3. Armin, M., Moslehi, J., 2013. Yield and yield components response of chickpea to time and different levels of humic acid foliar application. Agroecol. J. 8(4), 1–9. (In Persian with English abstract)
4. Ayaş, H., Gülser, F., 2005. The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach (*Spinacia oleracea* var. Spinoza). J. Biol. Sci. 5(6), 801–804. https://doi.org/10.3923/jbs.2005.801.804.
5. Borzabadi, V., Farahani, I., 2012. Effect of supplementary irrigation and foliar application of zinc sulfate on seed yield and its components of chickpea in Arak, Iran. J. Crop Ecophysiol. 5(20), 43–52. (In Persian with English abstract)
6. Dadkhah, N., Ebadi, A., Parmoon, G., Gholipoori, A., Jahanbakhsh, S., 2015. Effect of spraying zinc on photosynthetic pigments and grain yield of chickpea under different levels of irrigation. Iran. Dryland Agron. J. 3(2), 141–160. https://doi.org/10.22092/idaj.2015.101295. (In Persian with English abstract)
7. Dawood, M.G., Abdel-Baky, Y.R., El-Awadi, M.E.S., Bakhoum, G.S., 2019. Enhancement quality and quantity of faba bean plants grown under sandy soil conditions by nicotinamide and/or humic acid application. Bull. Natl. Res. Cent. 43(1), 28. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0067-0.
8. El-Bassiony, A.M., Fawzy, Z., El-Baky, M.A., Asmaa, R., 2010. Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. Res. J. Agric. Biol. Sci. 6(2), 169–175. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103157609.

9. El-Ghamry, A.M., Abd El-Hai, K.M. Ghoneem, K.M., 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clayey soil. Aust. J. Basic Appl. Sci. 3(2), 731–739.
10. FAOSTAT. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT Database. http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx.
11. Gad El-Hak, S.H., Ahmed, A.M., Moustafa, Y.M.M., 2012. Effect of foliar application with two antioxidants and humic acid on growth, yield and yield components of peas (*Pisum sativum* L.). J. Hortic. Sci. Ornam. Plants 4(3), 318–328. https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.262.
12. Graham, A., Mcdonald G.K., 2001. Effects of zinc on photosynthesis and yield of wheat under heat stress. In: Proceedings of 10th Australian Agronomy Conference, Hobart, Tasmania, Australia.
13. Heng, L.K., Cai, G., Ramana, M.V., Sachdev, M.S., Rusan, M.M., Sijali, I.V., El Mejahed, K., Mohammad, W., Sene, M., Prieto, D., Issaka, M., Moutonnet, P., 2005. The effect of soil fertility, crop management on carbon-isotope discrimination and their relationships with yield and water-use efficiency of crops in semi-arid and arid environments. In: Nutrient and water management practices for increasing crop production in rainfed arid/semi-arid areas. Proceedings of a Coordinated Research Project, IAEA-TecDoc-1468, pp. 15–41.
14. Janmohammadi, M., Abdoli, H., Sabaghnia, N., Esmailpour, M., Aghaei, A., 2018. The effect of iron, zinc and organic fertilizer on yield of chickpea (*Cicer artietinum* L.) in mediterranean climate. Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun. 66(1), 49–60. https://doi.org/10.11118/actaun201866010049.
15. Jindo, K., Soares, T.S., Peres, L.E.P., Azevedo, I.G., Aguiar, N.O., Mazzei P, Spaccini, R., Piccolo, A., Olivares, F.L., Canellas, L.P., 2016. Phosphorus speciation and high-affinity transporters are influenced by humic substances. J. Plant Nutr. Soil Sci. 179(2), 206–214. https://doi.org/10.1002/jpln.201500228.
16. Jones, J.B., 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis, CRC Press, Boca Raton. https://doi.org/10.1201/9781420025293.
17. Kahraman, A., 2020. Managing the humic acid Fertilizing of chickpea and protein status. Selcuk J. Agric. Food Sci. 34(1), 107–110. https://doi.org/10.15316/SJAFS.2020.202.
18. Khaled, H., Fawy, H.A., 2011. Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. Soil Water Res. 6(1), 21–29. https://doi.org/10.17221/4/2010-SWR.
19. Khalili Mahalleh, J., Roshdi, M., 2008. Effect of foliar application of micro nutrients on quantitative and qualitative characteristics of 704 silage corn in Khoy. Seed Plant J. 24(2), 281–293. https://doi.org/10.22092/spij.2017.110804. (In Persian with English abstract)
20. Khan, A., Khan, M., Hussain, F., Akhtar, M., Gurmani, A., Khan, S., 2013. Effect of humic acid on the growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (*Pisum sativum* L.). J. Chem. Soc. Pak. 35(1), 206–211.
21. Liu, C., Cooper, R.J., 2000. Humic substances influence creeping bentgrass growth. Golf Course Manag. 68(10), 49–53.
22. Lotfollahi, M., Nezami, M.T., Satari, M., Mohammadi, A., 2013. The yield of wheat affected by zinc fortified seeds. J. Agron. Plant Breed. 9(3), 81–88. (In Persian with English abstract)
23. Maleki, A., Khalesro, S., Heidari, G.R., 2021. Evaluation of quantitative and qualitative traits of chickpea as affected by biofertilizer, nitrogen, and humic acid in dryland condition. J. Crop Prod. Process. 11(1), 83–94. http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.11.1.35941. (In Persian with English abstract)
24. Najafi-Ghiri, M., Ghasemi-Fasaei, R. Farrokhnejad, E., 2013. Factors affecting micronutrient availability in calcareous soils of Southern Iran. Arid Land Res. Manag. 27(3), 203–215. https://doi.org/10.1080/15324982.2012.719570.
25. Rasaei, B., Ghobadi, M.E., Ghobadi, M., Najaphy, A., 2012. Effects of Rhizobium, Mycorrhiza, and Humic Acid on Yield and Some Physiological Traits of Chickpea under Supplemental Irrigation in The Kermanshah Region. MSc Thesis, Razi University, Kermanshah, Iran. (In Persian with English abstract)
26. Ravi, S., Channal, H.T., Hebsur, N.S., Patil, B.N., Dharmatti, P.R., 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L). Karnataka J. Agric. Sci. 21(3), 382–385.
27. Roudgarnejad, S., Samdeliri, M., Mirkalaei, A.M., Moghaddam, M.N., 2021. The role of humic acid application on quantitative and qualitative traits of faba bean (*Vicia faba* L.). Gesunde Pflanze, 73, 603–611. https://doi.org/10.1007/s10343-021-00581-3.
28. Rousta, M.J., Enayati, K., 2019. The effects of humic acid application on yield and yield components of wheat and some chemical properties of a saline-sodic soil. J. Soil Manag. Sustain. Prod.. 8(4), 95–109. https://doi.org/10.22069/ejsms.2019.14096.1778. (In Persian with English abstract)
29. Rowell, D.L., 1994. Soil Science: Methods and Applications, Routledge, Oxfordshire. https://doi.org/10.4324/9781315844855.
30. Sassi-Aydi, S., Aydi, S., Abdelly, C., 2014. Inorganic nitrogen nutrition enhances osmotic stress tolerance in *Phaseolus vulgaris*: Lessons from a drought-sensitive cultivar. HortScience 49(5), 550–555.

https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.5.550.
31. Shabani, R., Armin, M., 2017. The effect of foliar application of urea and humic acid in rainfed conditions on yield and yield components of chickpea. Crop Sci. Res. Arid Regions 1(1), 77–88. https://doi.org/10.22034/csrar.01.01.07. (In Persian with English abstract)
32. Shreelatha, Bhat, S.N., Balanagoudar, S.R., Kmble, A.S., Rao, S., Beladhadi, R.V., 2020. Response of chickpea to application of humic acid along with vermicompost on uptake of nutrients, yield attributes and yield. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 9(1), 2306–2312. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.901.262.
33. Soleimani, R., Asgharzadeh, A., 2010. Effects of Mesorhizobium inoculation and fertilizer application on yield and yield components of rainfed chickpea. Iran. J. Pulses Res. 1(1), 1–8. https://doi.org/10.22067/ijpr.v1i1.6316. (In Persian with English abstract)
34. Tan, K.H., 2003. Humic Matter in Soil Environment: Principles and Controversies, CRC Press, New York. https://doi.org/10.1201/9780203912546.
35. Yadav, S.S., Redden, R. J., Chen, W., Sharma, B., 2007. Chickpea Breeding and Management, CABI Publishing, Oxford-shire.