University of Birjand

Environmental Stresses in Crop Sciences

Journal homepage: https://escs.birjand.ac.ir

19(2), 289-306 (2026)
https://doi.org/10.22077/escs.2025.8577.2326

Original article

The effect of irrigation regimes and foliar application of humic acid on some morphological traits, yield components, and grain yield of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Boyer-Ahmad county

Reza Nikoeinejad[1], Hojatollah Latifmanesh[2*], Ali Moradi[3], Hamid Alahdadi[4]

1. *M.Sc. Student of Agrotechnology-Crop Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran*
2. *Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran*
3. *Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran*
4. *M.Sc. Graduated of Agrotechnology-Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran*

Received 15 December 2024; Revised 24 December 2024; Accepted 9 January 2025

Extended abstract

Introduction

Red kidney bean is one of the most important plant-based protein sources and plays a vital role in human nutrition. However, the global water crisis, particularly in Iran, where large areas are characterized by arid and semi-arid climates, poses a serious threat to the sustainable production of this crop. Moreover, excessive use of chemical fertilizers increases production costs and causes environmental degradation. Therefore, identifying sustainable strategies to improve crop productivity is essential. Humic acid, as a natural organic compound, has been reported to enhance plant growth and increase tolerance to abiotic stresses such as drought. It improves root development, enhances water and nutrient uptake, stimulates beneficial soil microbial activity, increases crop yield, and therefore plays a crucial role in sustainable agriculture. Accordingly, this study aimed to assess the potential of foliar-applied humic acid as a sustainable approach to mitigating water scarcity and reducing reliance on chemical fertilizers by evaluating its effects on yield and morphological traits of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Yaghout) under water-deficit conditions.

Materials and methods

The experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications in Boyer-Ahmad County, Iran, during the year 2023. In this experiment, the main factor was the irrigation regime, which consisted of three levels: full irrigation, moderate water stress, and severe water stress (100%, 80%, and 60% of the plant's water requirement, respectively). Foliar application of humic acid was assigned as the sub-factor at four levels: 0 (control), 2.5, 5, and 7.5 L ha^{-1}. The study assessed the combined effects of irrigation stress and foliar application of humic acid on the grain yield of red kidney beans, yield components (such as number of pods per plant, number of seeds per pod, and hundred-seed weight), growth indices (such as plant height and dry weight), and other traits.

Results and discussion

The results showed that irrigation regimes and humic acid application significantly affected both vegetative and reproductive growth of red kidney bean. Severe water stress (60% of water requirement) reduced the number of nodes on the main stem, leaf area index, plant height, and main stem diameter by 26.09%, 11.35%, 18.36%, and 20.33%, respectively, compared with full irrigation. In addition, foliar application of humic acid at 7.5 L ha^{-1} significantly improved reproductive growth. This treatment increased the number of lateral branches, number of seeds per pod, 100-seed weight, and biological

* Corresponding author: Hojatollah Latifmanesh; E-Mail: h.latifmanesh@yu.ac.ir

© 2026, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

yield by 19.65%, 25.08%, 10.26%, and 20.78%, respectively. These improvements can be attributed to enhanced soil physicochemical properties, improved water and nutrient uptake, stimulation of enzymatic activity, and increased photosynthetic capacity and dry matter production. The observed reduction in growth under water stress was attributed to the limited water and nutrient uptake under these conditions.

Conclusion

Foliar application of humic acid at 7.5 L ha^{-1} significantly enhanced the tolerance of red kidney bean plants to water stress. This improvement was achieved through enhanced root development and improved water and nutrient absorption. Moreover, humic acid application increased grain yield under both water stress and full irrigation conditions. This indicates an overall positive effect of humic acid on plant growth and development. Moreover, the application of humic acid can enhance water use efficiency in irrigated red kidney beans. As a result, similar or even higher yields may be achieved with reduced water consumption. Therefore, the application of humic acid as a sustainable management strategy improves the yield and quality of red kidney beans under water stress in Boyer-Ahmad County, assisting farmers in overcoming water scarcity challenges.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the Vice Chancellor for Research and Technology at Yasuj University for supporting the implementation of this project.

Keywords: Biological yield, Drought stress, Leaf area index, Organic fertilizer

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد نوزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۵

https://doi.org/10.22077/escs.2025.8577.2326

مقاله پژوهشی

تأثیر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر برخی شاخص‌های مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیاقرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) در شهرستان بویراحمد

رضا نیکویی‌نژاد[۱]، حجت‌اله لطیف‌منش[۲*]، علی مرادی[۳]، حمید الهدادی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی-اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج
۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج
۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی-فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تنش خشکی
شاخص سطح برگ
عملکرد زیستی
کود آلی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۵
۱۹(۲): ۲۸۹-۳۰۶

چکیده

با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی اسید هیومیک بر ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکردی گیاه لوبیاقرمز تحت تنش کم‌آبیاری، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در شهرستان بویراحمد در سال ۱۴۰۲ به‌صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. عامل اصلی رژیم آبیاری در سه سطح (بدون تنش (آبیاری در ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، تنش متوسط (آبیاری در ۸۰ درصد نیاز آبی) و تنش شدید (آبیاری در ۶۰ درصد نیاز آبی) باتوجه‌به تبخیر از تشتک تبخیر کلاس‌A) و عامل فرعی، محلول‌پاشی اسید هیومیک در چهار سطح (شاهد (صفر)، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هکتار) اعمال شد. نتایج نشان داد اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و اسید هیومیک بر تمامی صفات مورد ارزیابی تأثیر معنی‌داری داشتند. اعمال تنش شدید (۶۰ درصد نیاز آبی) موجب کاهش ۲۶/۰۹، ۱۱/۳۵، ۱۸/۳۶ و ۲۰/۳۳ درصدی صفات تعداد گره روی ساقه اصلی، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و قطر ساقه اصلی در مقایسه با تیمار آبیاری کامل شد. از سوی دیگر محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک نیز صفات تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد زیستی را به ترتیب به میزان ۱۹/۶۵، ۲۵/۰۸، ۱۰/۲۶ و ۲۰/۷۸ درصد افزایش داد. همچنین نتایج برهم‌کنش نشان داد در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی کاربرد بالاترین سطح اسید هیومیک موجب افزایش ۲۰/۶۶ درصدی عملکرد دانه شد. براین‌اساس در شرایط کمبود آب آبیاری در شهرستان بویراحمد، استفاده از محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک جهت کشت لوبیاقرمز رقم یاقوت توصیه می‌گردد.

مقدمه

لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) گیاهی ارزشمند از تیره Fabaceae است که به میزان ۲ تا ۳ برابر غلات و ۱۰ تا ۲۰ برابر گیاهان غده‌ای (نشاسته‌ای) دارای پروتئین بالاتری می‌باشد (Faraji Pain Rudposhti et al., 2012) و از همین‌رو به‌عنوان جایگزینی مطلوب جهت پروتئین‌های حیوانی مطرح شده است (Huatuszko konka and Marschner, 2014). علاوه بر این لوبیا قرمز منبعی غنی از کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌های B_1 و C، فیبر و مواد معدنی است (Kimothi and Dhaliwal, 2020). این گیاه با وجود اینکه در میان حبوبات بیشترین سطح زیر کشت را داراست، تولید آن به دلیل قرار گرفتن در دسته گیاهان حساس به تنش‌های محیطی با محدودیت‌هایی مواجه است (Hummel et al., 2018).

کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک مدیترانه‌ای واقع شده و با داشتن یک‌سوم متوسط بارندگی جهانی در کمربند بیابانی زمین قرار دارد (Madani et al., 2016). وقوع تنش کم‌آبی از جمله مهم‌ترین عوامل محدودکننده فرآیندهای رشد و نمو گیاهان است که به جهت ایجاد اختلال

* نگارنده پاسخگو: حجت‌اله لطیف‌منش. پست الکترونیک: h.latifmanesh@yu.ac.ir

در سامانه انتقال الکترون و درنتیجه تولید گونه‌های فعال اکسیژن، عامل خسارات وارد شده به ساختار درشت مولکول‌های پروتئین، لیپید و نوکلئیک اسیدها می‌شود (Sachdev et al., 2021). تولید این گونه‌های فعال اکسیژن همراه با افزایش پراکسیداسیون لیپیدی موجب آسیب رنگیزه‌های کلروفیلی شده و با کاهش سطح فتوسنتز کننده برگ، کاهش رشد زایشی لوبیا را درپی خواهد داشت (Kusvuran and Dasgan, 2017). در همین راستا گزارش شد کمترین میزان صفات شاخص سطح برگ، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه لوبیا قرمز در تیمار تنش شدید قطع آبیاری از مرحله شروع گلدهی تا شروع غلاف‌دهی به ثبت رسید (Tanhaei et al., 2018). همچنین تاثیر تنش خشکی بر اجزای عملکرد (Mohammadi et al., 2018)، عملکرد دانه (Davoodi et al., 2018)، عملکرد زیستی (Rashidi et al., 2022)، عملکرد پروتئین (Aliloo et al., 2021) و شاخص برداشت (Karimi Azar et al., 2022) در پژوهشات دیگر محققان بر لوبیا نیز مطرح شده است. کاهش محتوای رطوبتی گیاه در طی تنش کم‌آبی با کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش آماسیدگی سلولی همراه می‌شود؛ به دنبال آن انسداد روزنه‌ای، کاهش تثبیت گاز کربنیک و درنتیجه توقف رشد سلولی را سبب می‌شود (Anjum et al., 2011). بنابراین تنش خشکی علاوه بر اثرگذری منفی بر اجزای اقتصادی گیاه، با تحلیل سلول‌های رویشی در ساقه و برگ، جریان انتقال مواد فتوسنتزی و عناصر مغذی به اندام‌های زایشی را در انتهای فصل رشد محدود می‌کند (Barary et al., 2015). لوبیا میزان تحمل پایینی به تنش‌های آبی دارد و بیش از ۶۰ درصد مناطق زیر کشت آن در سطح جهانی تحت تنش‌های پی‌درپی یا متناوب قرار دارند (Souza et al., 2003)، از همین‌رو گزینش راهبردهای زراعی مطلوب جهت استفاده کارآمد از منابع آب قابل دسترس امری ضروری می‌نماید. اگرچه باید اشاره داشت که واکنش لوبیا به میزان تنش رطوبتی وابسته به طول مدت تش، شدت تنش وارد شده و نوع رقم و ژنوتیپ متغیر خواهد بود (Beheshti et al., 2017).

در سال‌های اخیر افزایش مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست‌محیطی از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش حاصلخیزی خاک‌ها شده است (Kharel et al., 2022). با این وجود خاک می‌تواند بدون وابستگی به انرژی‌های ورودی، از راه فعالیت‌های بیولوژیکی، باروری خود را حفظ کرده و کیفیت بالای محصول را درپی داشته باشد؛ زیرا خاک موجودی زنده است و مجموعه متنوعی از میکروارگانیسم‌ها را دربر می‌گیرد. درواقع مواد آلی خاک، مهمترین و موثرترین فاکتور فعالیت‌های فیزیکی و بیوشیمیایی خاک و جزئی اساسی از نظام کشاورزی پایدار است (Suri, 2016). هیومیک اسید یک ترکیب پلیمری آلی و محلول در آب است که درنتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و غیره ایجاد شده و باعث افزایش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (Wilson, 2014). به طور کلی این ماده آلی موجب افزایش قدرت ریشه، بهبود جذب مواد غذایی، افزایش سنتز کلروفیل، بهبود جوانه‌زنی بذرها، تحریک فعالیت میکروبی، تحریک ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌های گیاهی و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Bezuglova and Klimenko, 2022). حقیقی و همکاران (Haghighi et al., 2016) گزارش دادند هیومیک اسید با ایجاد شرایط اسیدی جذب عناصری چون نیتروژن و فسفر را بهبود بخشیده و از این طریق تعداد دانه در پانیکول لوبیا را افزایش داده است. همچنین گزارش شده که هیومیک اسید پارامترهای رشدی مانند ارتفاع، تعداد گره، اجزای عملکرد و عملکرد ماده خشک در لوبیا چیتی (Vakili et al., 2024) و همچنین مقدار عناصر پرمصرف در لوبیا قرمز (Alilou et al., 2024) را به صورت معنی‌داری افزایش داد. در پژوهشی گیاهان لوبیا سیاه با اسید هیومیک مورد تغذیه قرار گرفتند و نتایج نشان داد صفات مورفولوژیک ارتفاع بوته و سطح برگ (در دو مرحله ساقه‌دهی و گلدهی) و عملکرد دانه و زیست توده (در مرحله رسیدگی برداشت) تحت تاثیر هیومیک اسید افزایش یافتند (Keshtegar Khajedad et al., 2023). همچنین حسینی‌نیک و همکاران (Hosseini Nik et al., 2022) بیان داشتند کاربرد هیومیک اسید ۴ لیتر در هکتار موجب افزایش عملکرد و شاخص کلروفیل لوبیا چشم بلبلی شد. در گیاه لوبیا قرمز نیز مطالعه جهان و امیری (Jahan and Amiri, 2019) نشان داد مصرف هیومیک اسید سبب افزایش عملکرد دانه و کارایی مصرف آب تحت رژیم‌های مختلف آبیاری شد.

با توجه به حساسیت گیاه لوبیا قرمز به تنش‌های محیطی - مخصوصا تنش کم‌آبی - ارزیابی نقش کودهای آلی با انگیزه جبران پیامدهای حاصل از تنش و همچنین اتخاذ جایگزینی مطلوب در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی اهمیتی

دوچندان می‌باید. در همین راستا پژوهش حاضر با هدف بررسی پاسخ خصوصیات زراعی و عملکردی رقم یاقوت لوبیا قرمز تحت شرایط کم‌آبی و کاربرد اسید هیومیک در شهرستان بویراحمد اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

در بهار و تابستان سال ۱۴۰۲، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی همراه با سه تکرار اجرا شد. محل اجرای طرح واقع در شهرستان بویراحمد در دسته مناطق نیمه‌خشک قرار می‌گیرد و با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۶۹ دقیقه عرض شمالی، در ارتفاع ۱۸۰۳ متری از سطح دریا واقع شده است. در این آزمایش عامل اصلی، رژیم آبیاری در سه سطح (بدون تنش (آبیاری در ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، تنش متوسط (آبیاری در ۸۰ درصد نیاز آبی) و تنش شدید (آبیاری در ۶۰ درصد نیاز آبی) با توجه به تبخیر از تشتک تبخیر کلاس‌A) و عامل فرعی، محلولپاشی اسید هیومیک در چهار سطح (شاهد (صفر)، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ کیلوگرم در هکتار) اعمال شد. اسید هیومیک استفاده شده در این طرح از شرکت زیست فناور سبز تهران تهیه شد

پس از انجام خاک‌ورزی اولیه، فرایند تسطیح و کرت‌بندی لازم در قالب عملیات آماده‌سازی رخ داد. هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط کاشت با طول ۳ متر و به فاصله ردیف‌های ۵۰ سانتی‌متری شکل گرفتند. فاصله بین کرت‌های فرعی از یکدیگر نیم متر، فاصله بین کرت‌های اصلی از یکدیگر ۱ متر و فاصله بین بلوک‌های آزمایشی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. پیش از عملیات کاشت جهت انجام آزمون خاک، از عمق ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام گرفت و بر مبنای نتایج حاصل از آن (جدول ۱) نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (از طریق کود اوره و در طی دو مرحله) و فسفر به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع سوپر فسفات تریپل) به خاک زراعی اضافه شد. بذرهای رقم یاقوت (تیپ بوته ایستاده و رشد نامحدود، مناسب کشت در مناطق سرد و معتدل کشور (Institute for Research on Breeding and Seed Production, 2022) تهیه شده از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در نیمه خردادماه سال ۱۴۰۲ با رعایت فاصله ۵ سانتی‌متری از یکدیگر روی پشته‌های کاشت و در عمق ۴ تا ۵ سانتی‌متری کشت شدند. بذور پیش از کاشت با هیپوکلریت سدیم ضدعفونی شدند و فرایند کشت به‌صورت هیرم‌کاری و با دست انجام گرفت. در مرحله چهاربرگی عملیات تنک کردن با حفظ قوی‌ترین بوته صورت پذیرفت. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و به کمک نوارهای تیپ در وسط پشته‌ها انجام شد. هنگامی که گیاهان به مرحله شش‌برگی (معادل BBCH 60) رسیدند، تیمارهای تنش خشکی بر اساس میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از تشتک تبخیر اجرا شد. محلول‌پاشی اسید هیومیک نیز طی دو مرحله شش‌برگی (۲۱ روز پس از کاشت) و ابتدای مرحله گلدهی (۴۵ روز پس از کاشت) رخ داد. در طول فصل رشد گیاه، مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی و طی چندین نوبت انجام شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil where the experiment was carried out

خاک بافت Soil texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی Organic carbon	روی Zn	آهن Fe	پتاسیم P	فسفر P	نیتروژن N	اسیدیته pH
	----------%----------				----------ppm----------				%	
Silty loam	34	48	18	1.06	0.88	4.99	298	17.1	0.16	7.48

در مرحله پر شدن دانه نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ انجام شد و سپس به کمک دستگاه Leaf Area Meter مدل Delta T مساحت برگ‌ها یادداشت گردید. شاخص سطح برگ از طریق رابطه ۱ محاسبه شد.

[۱] *سطح زمین اشغال شده/ سطح برگ = شاخص سطح برگ*

در زمان رسیدگی برداشت گیاه لوبیا قرمز، یعنی همراه شدن با رنگ قهوه‌ای برگ‌ها و غلاف‌ها، با کاهش رطوبت دانه و با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای و حذف دو ردیف ابتدا و انتهای هر کرت، همچنین حذف ۵۰ سانتی‌متر از دو طرف هر کرت، سطحی برابر با دو متر مربع برای تعیین صفات مورفولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد زیستی برداشت شد. به منظور دستیابی به میزان عملکرد دانه، همه غلاف‌ها را از بوته‌ها جدا کرده، سپس تمامی دانه‌ها از غلاف‌ها به روش دستی جدا شدند. بذور جدا شده از هر کرت وزن شدند و در

نهایت عملکرد دانه در واحد سطح برای هر تیمار محاسبه گردید. به منظور مشخص کردن مقدار تجمع و ارزیابی شاخص تسهیم ماده خشک، نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف بوته گیاهی شامل ساقه‌ها، برگ‌ها و غلاف‌های هر کرت آزمایشی انجام شد و با قراردادن نمونه‌ها به مدت زمان ۷۲ ساعت در درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد به کمک دستگاه آون خشک گردید. سپس با استفاده از ترازوی دقیق، نمونه‌ها وزن شدند. صفت شاخص برداشت نیز به کمک رابطه ۲ مشخص شد.

[۲] *شاخص برداشت = (عملکرد زیستی / عملکرد دانه) × ۱۰۰*

کارایی مصرف آب نیز که نسبت عملکرد اقتصادی به مقدار آب مصرف شده توسط گیاه است، به واسطه کنتور حجمی از طریق رابطه ۳ به‌دست آمد (Timmons et al., 1967).

[۳] *کارایی مصرف آب ($kg\ m^{-3}$)=عملکرد دانه(kg)/آب مصرفی(m^3)*

در پایان به کمک نرم‌افزار آماری SAS 9.1 تجزیه واریانس داده‌ها انجام گرفت. سپس مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد و مقایسه میانگین برهم‌کنش‌ها به رویه L. S. Means انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد گره روی ساقه اصلی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری اثر اصلی رژیم آبیاری و اثر اصلی اسید هیومیک در سطح احتمال خطای یک درصد بر تعداد گره ساقه اصلی در لوبیاقرمز دارد (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری، تنش شدید موجب کاهش ۲۶/۰۹ درصدی تعداد گره ساقه اصلی شد (جدول ۳). تیمار محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار نیز افزایش ۴۲/۴۸ درصدی تعداد گره روی ساقه اصلی را در مقایسه با تیمار شاهد بروز داد (جدول ۳).

در شرایط تنش خشکی تعداد گرهک‌های تثبیت‌کننده نیتروژن کاهش می‌یابد. تنش خشکی قادر است میزان تثبیت نیتروژن، تنفس گره‌ها و بازده گیاه را کاهش دهد. در این رابطه نتایج تحقیقات شعبان و همکاران (Shaban et al., 2012) در چهار ژنوتیپ نخود نشان داد که شرایط بدون آبیاری با افت شدید تشکیل ساختار گرهک‌ها همراه بوده است. به‌نظر می‌رسد اگرچه بروز تنش کم‌آبی سبب کاهش دسترسی به نیتروژن مورد نیاز گیاه شده است، با این وجود مصرف اسید هیومیک نسبت ریشه به ساقه را افزایش داده و درنتیجه اندام هوایی از رشد محدودی تحت شرایط تنش برخوردار بوده است. افزایش حضور اسید هیومیک در ساختار سلولی گیاه و ایجاد شرایط مناسب برای جذب عناصر پرمصرف ـ به‌ویژه تسهیل دریافت نیتروژن ـ با افزایش تعداد گره‌ها همراه شد. بر این اساس بهبود شرایط رشدی ریشه که نشان از جذب مناسب عناصر غذایی دارد؛ به‌واسطه افزایش سطح جذب ریشه و تماس بیشتر با باکتری‌های رایزوبیومی ریزوسفر، تعداد گره‌های بیشتری را تشکیل داده است (Etesami, 2022). مطابق با این یافته‌ها عباس‌زاده فاروجی و همکاران (AbaszadehFaruji et al., 2023) نیز بیان داشتند اعمال مواد هیومیکی موجب افزایش تعداد گره‌ها در گیاه زینتی سیندپاسوس (*Scindapsus* spp.) شد.

شاخص سطح برگ

تجزیه واریانس اثر اصلی رژیم آبیاری و اثر اصلی اسید هیومیک در سطح احتمال خطای یک درصد بر شاخص سطح برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری کامل حاصل شد که با سطح آبیاری ۶۰ درصد اختلاف ۱۱/۳۵ درصدی داشت (جدول ۳). همچنین مشاهده گردید که محلول‌پاشی اسید هیومیک ۷/۵ لیتر در هکتار در مقایسه با شاهد، شاخص سطح برگ را به میزان ۲۲/۸۵ درصد افزایش داد (جدول ۳).

در نواحی کم‌آب، به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی برگ‌های گیاهان، کوچک و ضخیم می‌شوند تا به وسیله کاهش سطح تعرق از میزان تلفات آب بکاهند و از این طریق تحمل به تنش را افزایش دهند (Wijewardana et al., 2019). در این پژوهش درنتیجه افزایش شدت تنش کم‌آبیاری، سطح برگ کاهش یافت. این تغییرات می‌تواند مربوط به تقسیم‌بندی مواد فتوسنتزی و سازوکارهای مختلفی ازجمله افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش تنظیم کننده‌های اسمزی یا کاهش تجمع یون‌های سازگار باشد. در راستای پژوهش حاضر، علیلو و همکاران (Alilou et al., 2024) در بررسی بر لوبیا قرمز اظهار نمودند بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری هر ۸ روز یکبار با ۳۱ درصد افزایش نسبت به تیمار آبیاری هر ۱۴ روز یکبار مشاهده شد. کاربرد محلول‌پاشی اسید هیومیک احتمالا با افزایش توانایی قدرت ریشه به‌واسطه جذب بهتر عناصر مغذی، تنظیم اسمزی و

بهبود رابطه آبی، میزان فتوسنتز گیاه تحت تنش را بیشتر نموده است (García et al., 2019). بر این اساس افزایش شاخص سطح برگ را می‌توان ناشی از کاهش پیری برگ‌ها به جهت بهبود تولید کلروفیل و یا کاهش تخریب آن تحت کاربرد اسید هیومیک دانست. این یافته‌ها با پژوهش جهان و امیری (Jahan and Amiri, 2019) در لوبیا قرمز همسو می‌باشد.

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رژیم آبیاری و اسید هیومیک بر صفات مورفولوژی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در لوبیاقرمز

Table 2. Analysis of variance (mean square) of the effect of irrigation regime and humic acid on morphological traits, yield components and grain yield in red kidney beans

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	گره روی ساقه اصلی Nodes on Main Stem	شاخص سطح برگ LAI	ارتفاع بوته Plant Height	شاخه جانبی Side Branches	قطر ساقه اصلی Main Stem Diameter	غلاف پر در بوته Filled Pods per Plant
تکرار Replication	2	0.83^{*}	0.03^{ns}	38.55^{ns}	0.92^{ns}	0.02^{ns}	2.39^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	2	10.18^{**}	0.53^{**}	938.73^{**}	75.80^{**}	9.46^{**}	72.79^{**}
خطای اصلی Main plot error	4	0.27	0.01	23.46	0.46	0.006	2.31
اسید هیومیک Humic acid (H)	3	7.91^{**}	1.50^{**}	390.65^{**}	5.10^{**}	0.26^{**}	9.99^{**}
I × H	6	0.02^{ns}	0.04^{ns}	4.91^{ns}	0.61^{ns}	0.02^{ns}	0.13^{ns}
خطای فرعی Subplot error	18	0.25	0.02	14.09	0.53	0.03	0.91
ضریب تغییرات CV (%)		*8.19*	*4.20*	*4.72*	*7.22*	*2.47*	*9.23*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	دانه پر در غلاف Filled Grains per Pod	وزن صد دانه 100- Seed Weight	عملکرد دانه Grain Yield	عملکرد زیستی Biological Yield	شاخص برداشت Harvest Index	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	0.35^{ns}	0.71^{ns}	1738^{ns}	8228^{ns}	0.004^{ns}	0.000009^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	2	2.69^{**}	25.87^{**}	164923^{**}	2737062^{**}	69.56^{**}	0.026^{**}
خطای اصلی Main plot error	4	0.06	1.53	1526	1664	0.26	0.000007
اسید هیومیک Humic acid (H)	3	0.93^{**}	38.91^{**}	502681^{**}	1353432^{**}	11.65^{**}	0.001^{**}
I × H	6	0.61^{**}	2.94^{ns}	24264^{**}	21362^{ns}	3.76^{**}	0.00001^{*}
خطای فرعی Subplot error	18	0.17	2.84	2399	10194	0.36	0.000005
ضریب تغییرات CV (%)		*10.57*	*4.27*	*2.21*	*2.12*	*1.30*	*1.83*

ns ، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهد.

ns, *, and ** indicate no significant difference, significance at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح رژیم‌آبیاری و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکردی در لوبیاقرمز

Table 3. Comparison of Means of the effect of irrigation regime levels and humic acid foliar application on some morphological and functional traits in red kidney beans.

سطوح تیمار Treatment levels		گره روی ساقه اصلی Nodes on Main Stem	شاخص سطح برگ LAI	ارتفاع بوته Plant Height	شاخه جانبی Side Branches
		No.		cm	No.
رژیم آبیاری Irrigation regime	آبیاری ۱۰۰ درصد 100 percent irrigation	7.05^{a}	4.12^{a}	84.85^{a}	11.93^{a}
	آبیاری ۸۰ درصد 80 percent irrigation	6.06^{b}	3.96^{b}	84.32^{a}	11.15^{b}
	آبیاری ۶۰ درصد 60 percent irrigation	5.21^{c}	3.7^{c}	69.27^{b}	7.24^{c}
اسید هیومیک Humic acid (L.ha^{-1})	0	4.99^{d}	3.5^{c}	71.97^{c}	9.26^{c}
	2.5	5.72^{c}	3.66^{b}	76.14^{b}	9.9^{bc}
	5	6.59^{b}	4.25^{a}	83.52^{a}	10.19^{b}
	7.5	7.11^{a}	4.3^{a}	86.29^{a}	11.08^{a}

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

سطوح تیمار Treatment levels		قطر ساقه اصلی Main Stem Diameter	غلاف پر در بوته Filled Pods per Plant	وزن صد دانه 100- Seed Weight	عملکرد زیستی Biological Yield
		mm	No.	gr	kg ha^{-1}
رژیم آبیاری Irrigation regime	آبیاری ۱۰۰ درصد 100 percent irrigation	8.36^{a}	12.58^{a}	40.96^{a}	5091^{a}
	آبیاری ۸۰ درصد 80 percent irrigation	7.07^{b}	10.72^{b}	39.96^{b}	4957^{b}
	آبیاری ۶۰ درصد 60 percent irrigation	6.66^{c}	7.7^{c}	38.03^{b}	4205^{c}
اسیدهیومیک Humic acid (L.ha^{-1})	0	7.2322^{b}	9.25^{b}	37.51^{b}	43445^{d}
	2.5	7.2378^{b}	9.71^{b}	37.8^{b}	4573^{d}
	5	7.4^{b}	10.81^{a}	41.13^{a}	4839^{b}
	7.5	7.59^{a}	11.57^{a}	41.36^{a}	5248^{a}

در هر ستون حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است.

In each column, at least one common letter indicates no statistical difference based on the LSD test at the 5% probability level.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثرات اصلی رژیم آبیاری و اسید هیومیک بر ارتفاع بوته در سطح احتمال خطای یک درصد دارد (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری نشان از روند نزولی ارتفاع بوته در اثر افزایش شدت تنش آبی دارد؛ به‌طوریکه تیمار آبیاری در ۶۰ درصد موجب کاهش ۱۸/۳۶ درصدی این صفت شد (جدول ۳). تیمار محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار نیز در مقایسه با عدم محلول‌پاشی با افزایش ۱۹/۸۹ درصدی مواجه شد (جدول ۳).

ارتفاع بوته وابسته به شرایط محیطی است که گیاه در آن رشد می‌کند. اگر آب احتیاجی گیاه فراهم نشود، فشار آماس یاخته‌ای کاهش می‌یابد و به‌واسطه اثرگذاری بر طول یاخته‌ها موجب کاهش ارتفاع می‌شود. به عبارت دیگر افزایش شدت کم‌آبیاری با ایجاد اختلال در مسیر رشد و تقسیم یاخته‌ها در مناطق مریستمی گیاه با کاهش ارتفاع بوته همراه است (Timachi et al., 2020). نتایج این پژوهش با یافته‌های حسنی و همکاران (Hasani et al., 2022) در لوبیاقرمز و لوبیا یام مکزیکی مطابقت دارد. افزایش مصرف اسید هیومیک در این آزمایش با افزایش ارتفاع بوته همراه بوده است، زیرا اسید هیومیک به‌واسطه فراهمی افزایش جذب عناصر مغذی

سبب بهبود رشد و ارتفاع بوته شده است. در همین راستا پژوهش یوسفی‌راد و معصومی زواریان (Yousefi Rad and Masomi Zavarian, 2017) در لوبیا قرمز مطرح نمودند که بیشترین ارتفاع بوته از تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک در هکتار یادداشت گردید. ایشان ابراز داشتند هیومیک اسید می‌تواند با بهبود جذب نیتروژن، انواع پروتئین‌ها بخصوص آنزیم‌ها و پروتئین‌های شرکت‌کننده در چرخه فتوسنتزی نظیر سیتوکروم‌ها، فردوکسین‌ها، پالستوسیانین و آنزیم رابیسکو را افزایش داده و از این طریق رشد اندام‌های گیاه را درپی داشته باشد.

تعداد شاخه‌های جانبی

مطابق با جدول ۲ هر یک از اثرات اصلی رژیم آبیاری و اسید هیومیک در سطح احتمال خطای یک درصد بر تعداد شاخه‌های جانبی معنی‌دار بود. مقایسه میانگین حاکی از کاهش تعداد شاخه‌های جانبی با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری بود. تعداد شاخه‌های جانبی در سطوح آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد نسبت به سطح آبیاری کامل به‌ترتیب ۶/۹۹ و ۶۴/۷۷ درصد کاهش یافت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر اصلی اسید هیومیک نیز نشان داد تعداد شاخه‌های جانبی تحت تیمار محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر به نسبت تیمار شاهد، ۱۹/۶۵ درصد افزایش یافته بود (جدول ۳).

شاخه‌های فرعی به جهت ختم‌شدن به سرشاخه‌های گل‌دار، شاخصی مهم در افزایش عملکرد هستند. به نظر می‌رسد اعمال تنش کم‌آبی با کاهش دسترسی به مقدار آب لازم و درنتیجه افت انتقال مواد فتوسنتزی به برگ‌های درحال‌رشد، تعداد شاخه‌های جانبی را به‌صورت معنی‌داری کاهش داده است. در واقع گیاه در چنین شرایطی با کنترل سطح فتوسنتزکننده و محدودیت گسترش رشد اندام‌های رویشی، انرژی خود را برای رشد زایشی و بقا صرف کرده است. آرمند و همکاران (Armand et al., 2015) نیز ابراز داشتند کم‌ترین میزان تعداد شاخه‌های جانبی با کاهش ۳۳/۳۳ درصدی از تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به ثبت رسید. افزایش تعداد شاخه‌های جانبی به‌واسطه کاربرد محلول‌پاشی اسید هیومیک را می‌توان به نقش آن در جذب و انتقال بهتر عناصر به اندام هوایی و کارکرد این عناصر در رشد و توسعه گیاه دانست. محققان گزارش داده‌اند به علت نقش غیرمستقیم اسید هیومیک در فرآیندهای رشد و نمو، ساختار اسیدهای آمینه، افزایش تقسیم سلولی، انتقال مواد فتوسنتزی و تنظیم کننده‌های رشد از منبع به مخزن، تعداد شاخه‌های جانبی در لوبیا قرمز افزایش یافته است (Ghadimian et al., 2017).

قطر ساقه اصلی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) گواه معنی‌داری اثرات اصلی رژیم آبیاری و اسید هیومیک در سطح احتمال خطای یک درصد بر قطر ساقه اصلی دارد. مقایسه میانگین اثر اصلی رژیم آبیاری نشان داد بیشترین قطر ساقه اصلی از سطح آبیاری ۱۰۰ درصد به‌دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری ۶۰ درصد با کاهش ۲۰/۳۳ درصدی همراه بود (جدول ۳). همچنین بالاترین سطح کاربرد اسید هیومیک (۷/۵ لیتر در هکتار) نسبت به تیمار عدم کاربرد، به میزان ۴/۹۷ درصد قطر ساقه اصلی را افزایش داد (جدول ۳).

اعمال تنش خشکی عامل بسته‌شدن روزنه‌ها، القای تنش اکسیداتیو، تغییر در ساختار دیواره یاخته‌ها و درنهایت کاهش صفات رشدی است (Krouma et al., 2015). بنابراین کاهش قطر ساقه به دنبال اعمال تنش را می‌توان به اختلال ایجاد شده در فرایند فتوسنتز به دلیل کمبود آب، کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارائه به اندام‌های درحال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره یاخته‌های ساقه نسبت داد که نهایتاً طویل‌شدن این یاخته‌ها را متوقف می‌کند. از سوی دیگر اثرگذاری هورمونی اسید هیومیک بر مسیر بیوسنتز فیتوهورمون‌ها و افزایش تشکیل آوندهای چوبی، رشد گیاه را تحت تأثیر قرار داده است و از این رو عامل افزایش قطر ساقه بوده است (Canellas et al., 2024). احتمالاً کاربرد ۷/۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار مقدار مورد نیاز عناصر محلول در خاک را برای گیاه فراهم نموده، در نتیجه با جذب کافی عناصر غذایی مورد نیاز و افزایش فتوسنتز موجب بهبود قطر ساقه اصلی شده است. در همین راستا پژوهشگران در مطالعات خود بر گیاه دارویی مرزه به تاثیر سطوح کاربردی اسید هیومیک بر افزایش قطر ساقه اشاره نموده‌اند (Mirzaei Varouei et al., 2023).

اجزای عملکرد و عملکرد دانه

تعداد غلاف پر در بوته

اثرات اصلی رژیم آبیاری و اسید هیومیک بر تعداد غلاف پر در بوته در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). سطح آبیاری ۶۰ درصد تعداد غلاف پر را نسبت

به تیمار آبیاری کامل به میزان ۳۸/۷۹ درصد کاهش داد (جدول ۳). محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار نیز در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) موجب افزایش ۲۵/۰۸ درصدی تعداد غلاف پر در بوته شد. سطوح محلول‌پاشی ۷/۵ و ۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار تفاوت آماری نداشتند (جدول ۳).

تنش کم‌آبیاری موجب تسریع فرایند رشد گیاه و کاهش رشد رویشی می‌شود. درنتیجه به علت کاهش دسترسی به عناصر مغذی و اختلال در فرایند ساخت و عرضه مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای رشد زایشی، اجزای عملکرد از جمله تعداد غلاف‌های پر در بوته با نقصان مواجه خواهند شد. علاوه بر این محدودیت رطوبتی با ریزش گل‌ها، سقط جنین و درنتیجه کاهش تعداد غلاف نهایی همراه است (Jaberi et al., 2015). در همین راستا حسنی و همکاران (Hasani et al., 2022) گزارش دادند با افزایش شدت تنش کم‌آبی از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به ۱۲۰ میلی‌متر، تعداد غلاف پر در بوته لوبیا کاهش یافت. استفاده از محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌واسطه افزایش حلالیت عناصر و فعال‌سازی سازوکارهای دفاع آنزیمی و غیر آنزیمی (Canellas et al., 2024) موجب افزایش تحمل گیاه لوبیا قرمز به تنش کم‌آبی شده و از این‌رو به‌واسطه بهبود وضعیت رشد تحت تنش خشکی، از کاهش تعداد غلاف پر در بوته جلوگیری نموده‌اند. جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) در گیاه لوبیا گزارش دادند کاربرد محلول‌پاشی ۳ کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار باعث دریافت بیشترین تعداد غلاف شد.

تعداد دانه پر در غلاف

جدول ۲ حاکی از معنی‌داری برهم‌کنش دوگانه رژیم آبیاری × اسید هیومیک در سطح احتمال خطای پنج درصد بر تعداد دانه پر در غلاف است. در سطح آبیاری ۸۰ درصد بیشترین تعداد دانه پر در غلاف از تیمار محلول‌پاشی ۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار حاصل شد که در مقایسه با شاهد (عدم تنش و محلول‌پاشی) با افزایش ۴۱/۲۷ درصدی همراه بود (شکل ۱). در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۶۰ درصد اگرچه اعمال اسید هیومیک منجر به افزایش تعداد دانه پر در غلاف شد، اختلاف معنی‌داری را با شاهد ظهور ندادند (شکل ۱).

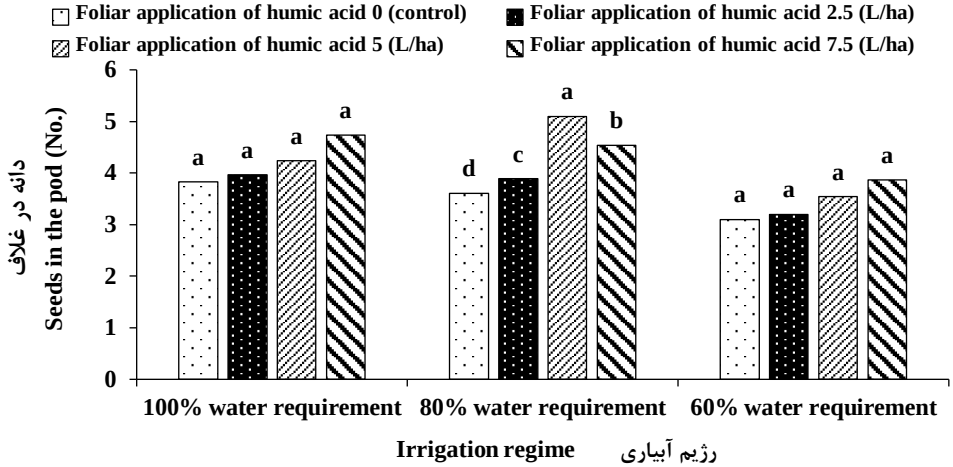
محدودیت آبی سبب کاهش حضور عناصر ضروری دخیل در ساختار کلروفیل و همچنین افزایش ROS ها، درنتیجه تخریب کلروفیل و کاهش سطح برگ شده است. به همین دلیل تنش کم‌آبیاری به واسطه محدودیت در فراهمی مواد فتوسنتزی بر باروری گلچه‌ها تأثیر گذاشته و موجب سقط گلچه‌ها و در نهایت کاهش تعداد دانه در غلاف شده است (Karami Chame et al., 2016). به نظر می‌رسد کاربرد اسید هیومیک تأثیر منفی کم‌آبیاری در آسیب وارد شده ناشی از پراکسیداسیون لیپیدی و محتوای رطوبتی را کاهش داده است و عامل بهبود فتوسنتز گیاه بوده که به‌نوبه خود در انتقال مواد فتوسنتزی و پرشدن دانه تأثیر مثبتی دارد. با درنظرگرفتن نقش هورمونی اسید هیومیک (Souza et al., 2022) می‌توان بیان داشت کاربرد این کود از طریق بهبود دسترسی به عناصر ضروری با افزایش رشد ریشه‌های جانبی و سطح برگ سبب بهبود رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در غلاف شده است. مطابق با نتایج حاضر، قدیمیان و همکاران (Ghadimian et al., 2017) در مطالعه‌ای بر لوبیا قرمز دریافتند که بیشترین تعداد دانه در غلاف از تیمار ۳ لیتر در هکتار اسید هیومیک به‌دست آمد.

وزن صد دانه

نتایج تجزیه واریانس نمایانگر معنی‌داری اثرات اصلی رژیم آبیاری و اسید هیومیک بر وزن صد دانه لوبیاقرمز در سطح احتمال خطای یک درصد دارد (جدول ۲). تیمار آبیاری ۶۰ درصد به میزان ۷/۱۵ درصد وزن صد دانه را کاهش داد و محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک موجب افزایش ۱۰/۲۶ درصدی این صفت شد (جدول ۳). سطوح محلول‌پاشی ۷/۵ و ۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار تفاوت آماری نداشتند (جدول ۳).

وقوع تنش خشکی در زمان رشد رویشی سبب کاهش طول مدت این دوره و درنتیجه کوچک‌شدن دانه‌ها می‌شود. علت کاهش وزن صد دانه، کاهش میزان فتوسنتز و انتقال کمتر مواد پرورده به دانه‌ها است. به بیان دیگر درپی بروز تنش اکسیداتیو، با تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن، انسجام ساختاری یاخته‌ها به دلیل آسیب وارد شده به غشای فسفولیپیدی مختل شده و بسته‌شدن روزنه‌ها به همراه کاهش جذب عناصر ضروری در ساختار کلروفیل‌ها، عامل کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود. مجموعه این رخدادها، کاهش دوره پرشدن دانه را درپی خواهد داشت (Qiao et al., 2024). اسید هیومیک به جهت نقش تغذیه‌ای مستقیم می‌تواند بر افزایش جذب عناصر غذایی مؤثر واقع

شود. در این آزمایش کاربرد محلول‌پاشی اسید هیومیک سبب افزایش غلظت عناصرغذایی و به‌دنبال آن افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد و متابولیسم نیتروژن شده است. فراهمی این عناصر پرمصرف در مراحل بعدی سبب افزایش تجمع آسیمیلات در دانه و سنگین‌تر شدن آن می‌شود. علیلو و همکاران (Alilou et al., 2024) در بررسی خود بر گیاه لوبیاقرمز اعلام نمودند بیشترین وزن صد دانه در سطح آبیاری ۸ روز یک‌بار + تیمار اسید هیومیک و کمترین آن نیز در سطح آبیاری ۱۴ روز یک‌بار + عدم مصرف اسید هیومیک (شاهد) مشاهده شد. ایشان علت افت وزن هزار دانه را به کاهش توان فتوسنتزی و توزیع مواد ذخیره‌ای نسبت دادند.



شکل ۱. مقایسه میانگین اسید هیومیک در هر سطح رژیم آبیاری برای تعداد دانه پر در غلاف در لوبیاقرمز. در هر سطح رژیم آبیاری حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه L.S.Means می‌باشد.

Fig. 1. Comparison of mean humic acid at each irrigation regime level for the number of filled grains per pod in red kidney beans. At each irrigation regime level, at least one common letter indicates no statistical difference between the means at the five percent probability level based on the L.S.Means procedure.

عملکرد دانه

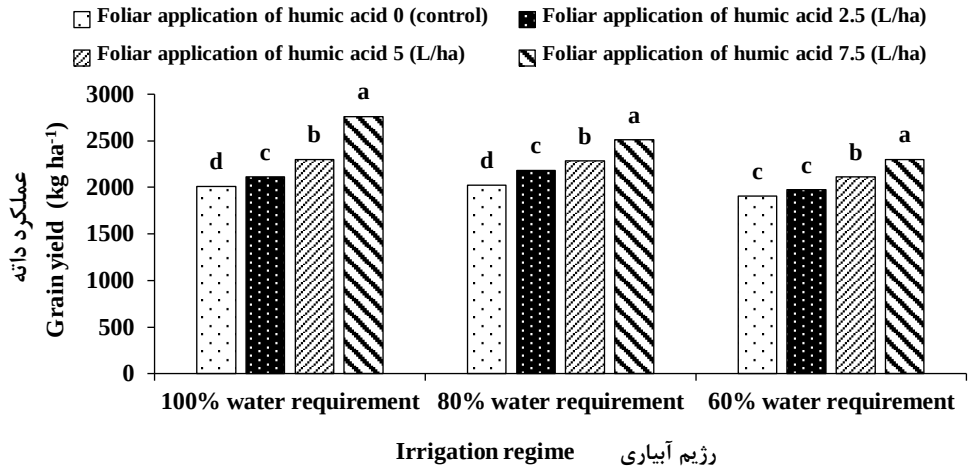
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نمایانگر معنی‌دار شدن برهم‌کنش دوگانه رژیم آبیاری × اسید هیومیک در سطح احتمال خطای یک درصد بر عملکرد دانه دارد. طبق شکل ۲ مشاهده گردید در سطح آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی بیشترین عملکرد دانه از کاربرد محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار حاصل شد که در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب با افزایش ۳۷/۴۱، ۲۴/۳۴ و ۲۰/۶۶ درصد همراه بود.

کاهش آب آبیاری احتمالاً به دلیل ریزش غلاف‌ها، افت میزان مواد فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به مخازن اصلی گیاه موجب کاهش اجزای عملکرد و در نتیجه کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود. در این راستا تنش کم‌آبی منجر به تسریع پیری، کوچک‌شدن سطح برگ و سرعت رشد محصول می‌شود. از همین رو با کوتاه‌شدن طول دوره پر شدن دانه، میزان تجمع ماده خشک و به دنبال آن عملکرد دانه در این مرحله کاهش می‌یابد. حسنی و همکاران (Hasani et al., 2022) بیان نمودند اعمال آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر با کاهش عملکرد در لوبیاقرمز (رقم گلی) و لوبیا یام مکزیکی همراه بوده است. اثرگذاری مثبت محلول‌پاشی اسید هیومیک بر عملکرد دانه را می‌توان به افزایش حلالیت عناصر تثبیت شده خاک‌های آهکی نسبت داد. در پژوهش حاضر به‌نظر می‌رسد افزایش غلظت عناصر غذایی منجر به سوخت و ساز مواد فتوسنتزی، افزایش وزن صد دانه و نهایتاً افزایش عملکرد دانه لوبیاقرمز شده است. علاوه بر این می‌توان بیان داشت که سطح برگ بیشتر و ماده خشک بیشتر قبل از گرده‌افشانی منجر به ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی در ساقه و برگ‌ها می‌شود که در نهایت این عمل منجر به انتقال آسیمیلات‌ها به دانه و افزایش تعداد دانه در غلاف و عملکرد داته در واحد سطح خواهد شد. مطابق با این پژوهش، ملکی و همکاران (Malaki et al., 2021) در گیاه نخود اطلاع دادند کاربرد

اسید هیومیک با غلظت ۴ در هزار بیشترین میزان عملکرد دانه را سبب شد.

عملکرد زیستی

تجزیه واریانس بیانگر معنی‌داری اثرات اصلی رژیم آبیاری و اسید هیومیک در سطح احتمال خطای یک درصد بر محتوای عملکرد زیستی بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری نشان داد تنش شدید (آبیاری ۶۰ درصد) موجب کاهش ۱۷/۴۰ درصدی عملکرد زیستی در مقایسه با آبیاری کامل شد (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین اثر اسید هیومیک نیز حاکی از آن بود که عملکرد زیستی تحت تیمار ۷/۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار به نسبت تیمار شاهد با افزایش ۲۰/۷۸ درصدی همراه بود (جدول ۳).



شکل ۲. مقایسه میانگین اسید هیومیک در هر سطح رژیم آبیاری برای عملکرد دانه لوبیاقرمز. در هر سطح رژیم آبیاری حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه L.S.Means می‌باشد.

Fig. 2. Comparison of mean humic acid at each irrigation regime level for red kidney bean grain yiel. At each irrigation regime level, at least one common letter indicates no statistical difference between the means at the five percent probability level based on the L.S.Means procedure.

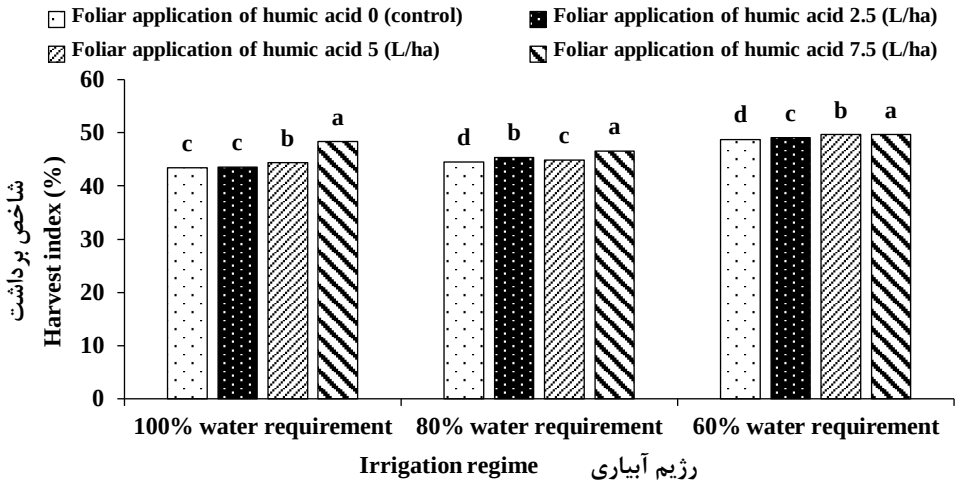
کمبود آب با تأثیر منفی بر باز و بسته‌شدن روزنه‌ها، فعالیت‌های آنزیمی گیاه و فرایندهای فتوسنتزی، تنفس و تعرق را مختل می‌کند و با کاهش تورژسانس و سطح فتوسنتزکننده، در نتیجه رشد گیاه و تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد. باتوجه‌به اینکه عملکرد زیست‌توده نشان‌دهنده ظرفیت گیاه در جذب نور و تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی است؛ بنابراین کاهش فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای و همچنین مقدار کلروفیل کمتر در شرایط تنش می‌تواند منجر به کاهش تولید زیست‌توده شود (Anjum et al., 2011). میزان عملکرد زیستی به میزان رشد اندام‌های هوایی بستگی دارد؛ بنابراین محلول‌پاشی اسید هیومیک با تأثیر بر رشد اندام‌های هوایی می‌تواند میزان جذب خالص مواد فتوسنتزی را افزایش داده و بر مقدار تولید زیست‌توده بیفزاید که این افزایش زیست‌توده در لوبیا قرمز با افزایش شاخه‌های جانبی و ارتفاع بوته همراه بوده است. اسید هیومیک در این آزمایش تأثیر معنی‌داری بر افزایش سطح برگ گیاه داشته است؛ ازاین‌رو می‌توان انتظار داشت که با افزایش مقادیر این کود بر عملکرد زیست‌توده بوته‌های لوبیاقرمز نیز افزوده شود. در گیاه لوبیا، جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) مطرح کردند کاربرد اسید هیومیک در سطح ۳ کیلوگرم در هکتار، تجمع ماده خشک را به میزان ۲ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. این پژوهشگران همچنین ابراز داشتند تیمار آبیاری ۷ روز یکبار در مقایسه با تیمار آبیاری کامل مقدار این صفت را ۱۲ درصد کاهش داد.

شاخص برداشت

تجزیه واریانس نشان داد برهم‌کنش دوگانه رژیم آبیاری × اسید هیومیک بر شاخص برداشت در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد تیمار کاربرد محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر اسید هیومیک

در هکتار بیشترین شاخص برداشت را به میزان ۱۱/۴۷ و ۴/۶۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد ظاهر نمود (شکل ۳). در سطح آبیاری ۶۰ درصد تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۳).

برتری شاخص برداشت با کاربرد اسید هیومیک نسبت به شاهد را می‌توان به بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد زیستی، در نتیجه تأمین مناسب و متعادل عناصر غذایی در طول فصل رشد نسبت داد (اگرچه در تنش شدید کم‌آبیاری تفاوت آماری میان کاربرد و عدم کاربرد اسید هیومیک مشاهده نشد). افزایش شاخص برداشت بیانگر این مطلب است که علی‌رغم افزایش عملکرد اقتصادی و عملکرد زیستی، سهم افزایش عملکرد دانه بیشتر از عملکرد بیولوژیک بوده است. این افزایش می‌تواند ناشی از بهبود قابلیت جذب عناصر غذایی موجـود در خاک به نسبت تیمار شاهد باشد. اسید هیومیک از طریق بروز فعالیت هورمونی خود به جذب عناصر غذایی مانند فسفر (و برخی از ریزمغذی‌ها) کمک کرده و افزایش عملکرد گیاه را درپی دارد (Souza et al., 2022). حسینی‌نیک و همکاران (Hosseini Nik et al., 2022) در گیاه لوبیا چشم بلبلی بیان داشتند بیشترین مقدار شاخص برداشت از کاربرد ۴ لیتر در هکتار اسید هیومیک به دست آمد.



شکل ۳. مقایسه میانگین اسید هیومیک در هر سطح رژیم آبیاری برای شاخص برداشت لوبیاقرمز. در هر سطح رژیم آبیاری حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه L.S.Means می‌باشد.

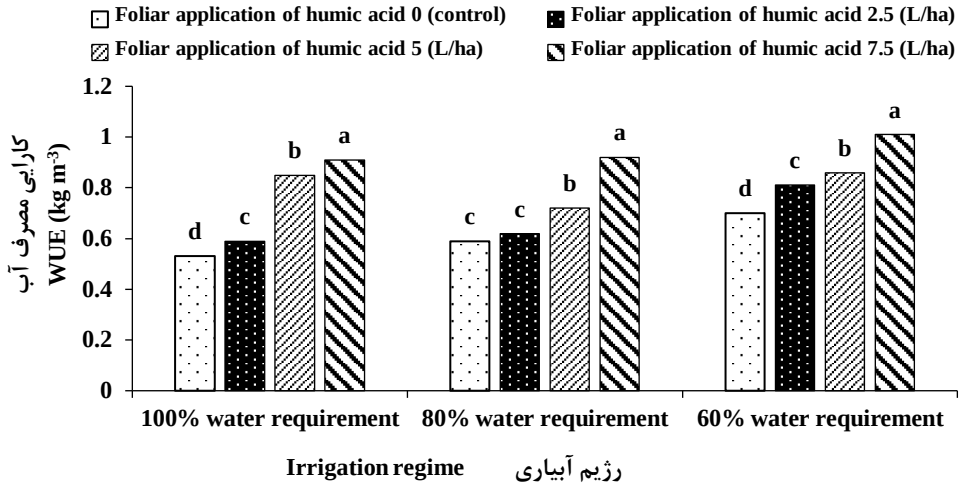
Fig. 3. Comparison of mean humic acid at each irrigation regime level for red kidney bean harvest index. At each irrigation regime level, at least one common letter indicates no statistical difference between the means at the five percent probability level based on the L.S.Means procedure.

کارایی مصرف آب

نتایج جدول ۲ حاکی از معنی‌داری برهم‌کنش دوگانه اسید هیومیک × رژیم آبیاری در سطح ۵ درصد بر کارایی مصرف آب دارد. نتایج مقایسه میانگین نشان از روند صعودی کارایی مصرف آب با افزایش تنش وارد شده بر لوبیا قرمز دارد و کاربرد اسید هیومیک نیز این روند را تسریع می‌بخشد. محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک تحت سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب موجب افزایش ۷۱/۶۹، ۵۵/۹۳ و ۴۴/۲۸ درصدی کارایی مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۴).

در شرایط کم‌آبی گیاهان تا حدودی با بسته نگه‌داشتن روزنه‌ها می‌توانند بر خروج آب از گیاه و ورود دی‌اکسید کربن و تجمع ماده خشک اثرگذار باشند. در این حالت خروج آب به میزان بیشتری تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد و درنتیجه نسبت ورودی و خروجی در گیاه (کارایی مصرف آب) افزایش می‌یابد. گیاهان متحمل به تنش کم‌آبی قادر به حفظ میزان هدایت روزنه‌ای، قابلیت نگهداری پتانسیل آب برگ و تراکم روزنه‌ای می‌باشند، بنابراین نسبت میزان فتوسنتز به میزان تعرق را می‌توانند بهبود بخشند (Cardoso et al., 2020). این افزایش در کارایی آسیمیلاسیون باعث می‌شود که لوبیاقرمز در شرایط اعمال کم‌آبیاری قادر به تولید مقادیر عملکرد برابر

و یا نزدیک به شرایط نرمال آبیاری بوده و در نتیجه کارایی مصرف آب بالاتری نشان دهد. داشادی و همکاران (Dashadi et al., 2022) گزارش کردند کم‌آبیاری در ناحیه ریشه کارایی مصرف آب گیاه لوبیا را در مقایسه با آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری افزایش داد. کاربرد اسید هیومیک جهت تعدیل اثرات سوء کم‌آبیاری و در نتیجه بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش عمل نموده است. بیشترین کارایی مصرف آب در تمام تیمارهای آبیاری در حداکثر کاربرد اسید هیومیک مشاهده شد که این امر نشان‌دهنده افزایش میزان عملکرد دانه در این سامانه‌ها به‌دلیل بهبود جذب آب و عناصر غذایی جهت انتقال به اندام‌های هوایی و در نتیجه افزایش تولید مواد فتوسنتزی جهت انتقال به دانه بوده است.



شکل ۴. مقایسه میانگین اسید هیومیک در هر سطح رژیم آبیاری برای کارایی مصرف آب در لوبیاقرمز. در هر سطح رژیم آبیاری حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه L.S.Means می‌باشد.

Fig. 4. Comparison of mean humic acid at each irrigation regime level for water use efficiency in red kidney bean. At each irrigation regime level, at least one common letter indicates no statistical difference between the means at the five percent probability level based on the L.S.Means procedure.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد استفاده از محلول‌پاشی اسید هیومیک تحت شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری موجب بروز تغییراتی در برخی خصوصیات مرفوفنولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه گیاه لوبیاقرمز می‌شود. افزایش کم‌آبی به واسطه تسریع فرایند رشد و نمو گیاه و ایجاد محدودیت در روند رشد رویشی، صفات مورفولوژیک و عملکردی را به‌صورت معنی‌داری به‌ویژه در تنش شدید کاهش داد. کاربرد محلول‌پاشی اسید هیومیک ۷/۵ لیتر در هکتار توانست در سطوح مختلف کم‌آبیاری برخی پیامدهای مخرب ناشی از تنش را بهبود دهد، به‌طوری که گیاهان تیمار شده با اسید هیومیک در مقایسه با گیاهانی که تحت تنش کم‌آبی بودند ولی اسید هیومیکی دریافت نکردند، مقاومت بیشتری نشان دادند و رشد و عملکرد بهتری را بروز داشتند. باتوجه‌به یافته‌های این پژوهش، کاربرد محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار از طریق بهبود فراهمی جذب عناصر غذایی و افزایش سطح فتوسنتزکننده گیاه، آستانه تحمل را در برابر تنش کم‌آبی در لوبیاقرمز بیشتر نموده و سبب بهبود رشد تحت این شرایط شد؛ بنابراین محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌عنوان راهبردی اکولوژیک در مسیر کاربرد منابع سازگار با محیط‌زیست، می‌تواند تحت آبیاری کامل و همچنین به هنگام شرایط کم‌آبیاری به‌ویژه در منطقه یاسوج، بهبود صفات زراعی و اقتصادی لوبیاقرمز رقم یاقوت را به دنبال داشته باشد.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه یاسوج به جهت حمایت از اجرای این طرح تشکر می‌شود.

منابع

AbaszadehFaruji, R., Shoor, M., TehraniFar, A., Abedy, B., 2023. Study of growth traits of *scindapsus* spp. as influenced by fertigation of humic acid and folvic acid. Journal of Horticultural Science. 37(1), 13-27. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61456.0

Aliloo, M. K., Roshdi. M., Rezadoost, S., Khalili Mahaleh, J., 2021. The role of growth promoters in improvement of yield and physiological properties of Red bean under different irrigation levels. Journal of Crop Production Research. 13(3), 101-128. [In Persian with English summary].

Alilou, M., Roshdi, M., Rezadust, S., Nasrolahzadeh, A., Khalili Mahaleh, J., 2024. The influence of different irrigation levels and growth stimulants on yield components and grain protein in red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Crop Production and Processing. 13(4), 49-62. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.47176/jcpp.13.4.36002

Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research. 6(9), 2026-2032. https://doi.org/10.5897/AJAR10.027

Armand, N., Amiri, H., Ismaili, A., 2015. The effects of foliar application of methanol on morphological characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress condition. Iranian Journal of Field Crops Research. 13(4), 854-863. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/gsc.v13i4.43526

Barary, M., Kordi, S., Gerami, L. A., Hatami, A., Ashraf Mehrabi, A., Ghanbari, F., 2014. Improving tolerance to water deficit using Zn foliar spraying in two common bean cultivars. Journal of Crops Improvement. 16(3), 641-652. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22059/jci.2014.53264

Beheshti, S., Tadayyon, A., Fallah, S., 2017. Effect of humic acid on the yield and yield components of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal Pulses Research. 7(2), 175-187. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/ijpr.v7i2.46533

Bezuglova, O., Klimenko, A., 2022. Application of humic substances in agricultural industry. Agronomy. 12(3), 584. https://doi.org/10.3390/agronomy12030584

Canellas, L.P., Da Silva, R.M., Busato, J.G., Olivares, F.L., 2024. Humic substances and plant abiotic stress adaptation. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 11(1), 66. https://doi.org/10.1186/s40538-024-00575-z

Cardoso, A. A., Gori, A., Da-Silva, C.J., Brunetti, C., 2020. Abscisic acid biosynthesis and signaling in plants: Key targets to improve water use efficiency and drought tolerance. Applied Sciences. 10(18), 6322. https://doi.org/10.3390/app10186322

Dashadi, M., Rasaei, A., Ranjbar, F., Investigation of different irrigation times and nitrogen starter fertilizer on yield and water use efficiency of bean. Crop Physiology Journal. 13(52), 79-93. [In Persian with English summary].

Davoodi, S. H., Rahemi-karizaki, A., Nakhzari-moghadam, A., Gholamalipour Alamdari, E., 2018. The effect of deficit irrigation on yield and physiological traits of bean cultivars. Plant Production Technology. 18, 83-95. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22084/ppt.2018.9633.1537

Etesami, H., 2022. Root nodules of legumes: a suitable ecological niche for isolating non-rhizobial bacteria with biotechnological potential in agriculture. Current Research in Biotechnology. 4, 78-86. https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2022.01.003

Faraji Pain Rudposhti, M., Mobaser, H., Ghanbari Malidreh, A., Nazari Nasi, H., 2012. The effect of drought stress on gas exchange and water relations of red bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Crop Production in Environmental Stress. 4(4), 13-26. [In Persian with English summary].

García, A.C., van Tol de Castro, T. A., Santos, L.A., Tavares, O.C.H., Castro, R.N., Berbara, R.L.L., García-Mina, J.M., 2019. Structure–property–function relationship of humic substances in modulating the root growth of plants: A review. Journal of Environmental Quality. 48(6), 1622-1632. https://doi.org/10.2134/jeq2019.01.0027

Ghadimian, T., Madani, H., Gomarian, M., 2017. Effect of irrigation hult and humic acid foliar application on agronomic, qualitative and physiological characteristics in red bean cultivar D81083. Iranian Journal of Pulses Research. 8(2), 141-154. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i2.53136

Haghighi, S., Saki-Nejad, T., Lack, S.H., 2011. Evaluation of changes the qualitative and quantitative yield of horse bean (*Vicia faba* L.) plants in levels of humic acid fertilizer. Life Science Journal. 8(3), 583-588.

Hasani, M., Tadayon, M.R., Olia, M. 2022. The effect of organic and biological fertilizers on the growth and yield of two bean species (*Phaseolus calcaratus* L. and *Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) under drought stress. Journal of Arid Biome. 12(2), 95-110. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.29252/aridbiom.2023.20344.1943

Hosseini Nik, M.H., Shokuhfar, A., Payandeh, K., 2022. Effect of combination of the humic acid and nano-Potassium fertilizer on yield, yield components and protein percentage of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). Iranian Journal of Pulses Research. 13(2), 50-61. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2202-1022

Huatuszko konka, K.M.S., Marschner, H., 2014. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic press. Cambridge, Massachusetts.

Hummel, M., Hallahan, B.F., Brychkova, G., Ramirez-Villegas, J., Guwela, V., Chataika, B., Curley, E., McKeown, P.C., Morrison, L., Talsma, E.F., 2018. Reduction in nutritional quality and growing area suitability of common bean under climate change induced drought stress in Africa. Scientific Reports. 8, 16187. https://doi.org/10.1038/s41598-018-33952-4

Institute for Research on Breeding and Seed Production., 2022. Yaghout, a red bean cultivar adapted to cold and temperate regions. Retrieved May 19, 2022, from http://spii.ir/fa-IR/DouranPortal/5235/page/. [In Persian].

Jaberi, H., Lotfi, B., Jamshidnia, T., Fathi, A., Olad, R., Abdollahi, A., 2015. Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phonological stages. Scientia. 12(3), 144-148. https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2015.12.3.144148

Jahan, M., Amiri, M.B., 2019. Effect of water superabsorbent levels, nutrition management and salicylic acid on soil characteristics, water use efficiency and morphological characteristics and yield of bean (*Phaseolous vulgaris* L.) in drought stress. Journal of Crop Production. 12(3), 1-20. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.14761.2108

Jahan, M., Sohrabi, R., Doaei, F., Amiri, M., 2013. Effect of super absorbent water application in soil and humic acid foliar application on some agroecological characteristics of beans (*Phaseolus vulgaris* L). in Mashhad (Iran). Journal of Ecological Agriculture. 3(2), 90-71. [In Persian with English summary].

Karami Chame, S., Khalil-Tahmasbi, B., ShahMahmoodi, P., Abdollahi, A., Fathi, A., Seyed Mousavi, S.J., Bahamin, S., 2016. Effects of salinity stress, salicylic acid and Pseudomonas on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). Scientia Agriculture. 14(2), 234-238. https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016.14.2.234238

Karimi Azar, M., Majnoun Hosseini, N., Bihamta, M., 2022. Yield response of bean genotypes to irrigation stress and nitrogen fertilizer levels. Crop Science Research in Arid Regions. 4(1), 129-139. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22034/csrar.2022.320744.1171

Keshtegar Khajedad, M., Sirousmehr, A., Khammari, I., Dahmardeh, K., 2023. The effect of humic acid foliar application on morphophysiological characteristics and yield of black bean plant under different irrigation regimes. Journal of Crops Improvement. 25(1), 127-142. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22059/jci.2022.322275.2538

Kharel, M., Dahal, B. M., Raut, N., 2022. Good agriculture practices for safe food and sustainable agriculture in Nepal: A review. Journal of Agriculture and Food Research. 10, 100447. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100447

Kimothi, S., Dhaliwal, Y., 2020. Nutritional and health promoting attribute of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.): A review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 9, 1201-1209. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.134

Krouma, A., Fujimura, T., Abdely, C., 2015. Growth, photosynthetic activity and water relations three Tunsian chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) subjected to a progressive water deficit stress. Agricultural Science Research Journal. 5(12), 206-214.

Kusvuran, S., Dasgan, H.Y., 2017. Effects of drought stress on physiological and biochemical changes in *Phaseolus vulgaris* L. Legume Research. 40(1), 55-62. https://doi.org/10.18805/lr.v0i0.7025

Madani, K., Agha Kouchak, A., Mirchi, A., 2016. Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. Iranian Studies. 49(6), 997-1016. https://doi.org/10.1080/00210862.2016.1259286

Malaki, 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. Journal of Crop Production and Processing. 11(1), 83-94. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.47176/jcpp.11.1.35941

Mirzaei Varouei, M., Oustan, S., Reyhanitabar, A., Najafi, N., 2023. Effect of nitrohumic acid application on Some morphological and physiological characteristics of savory plant (*Satureja hortensis* L.). Water and Soil. 37(2), 333-352. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/jsw.2023.80642.1244

Mohammadi, M., Tavakoli, A., Pouryousef, M., Mohsenifard, E., 2018. The effect of epibrassinolide on growth and seed yield of bean under optimal irrigation and drought stress conditions. Journal of Crops Improvement. 20(3), 595-608. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22059/jci.2018.249057.1913

Qiao, M., Hong, C., Jiao, Y., Hou, S., Gao, H., 2024. Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. Plants. 13(13), 1808. https://doi.org/10.3390/plants13131808

Rashidi, Z., Aval, M.B., Azizi, K., Mahalati, M.N., 2022. Effect of drought stress on yield and yield components and radiation use efficiency of three types of red, white and pinto beans. Journal of Plant Production Research. 29(3), 143-164. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22069/jopp.2022.19586.2884

Sachdev, S., Ansari, S.A., Ansari, M.I., Fujita, M., Hasanuzzaman, M. 2021. Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. Antioxidants. 10(2), 277. https://doi.org/10.3390/antiox10020277

Shaban, M., Mansourifar, S., Ghobadi, M., Parchin, R.A., 2012. Effect of drought stress and starter nitrogen fertilizer on root characteristics and seed yield of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Seed and Plant Production Journal. 27(4), 451-470. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110448

Souza, A.C., Olivares, F.L., Peres, L.E.P., Piccolo, A., Canellas, L.P., 2022. Plant hormone crosstalk mediated by humic acids. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 9(1), 29. https://doi.org/10.1186/s40538-022-00295-2

Souza, G.M., de Tarso Aidar, S., Giaveno, C.D., de Oliveira, R.F., 2003. Drought stability in different commonbean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. Crop Breeding and Applied Biotechnology. 3(3), 203-208.

Suri, M.K., 2016. Chelates and Aminochelates and Their Nutritional Role in Plants. First edition. Agricultural Education and Extension Publications. 164 pages. [In Persian].

Tanhaei, R., Yadavi, A.R., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., 2018. Effects of mycorrhizal fungi and biofertilizer on yield and yield components of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in drought stress conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 28(3), 277-291. [In Persian with English summary].

Timachi, F., Armin, M., Jamimoeini, M., Abhari, A., 2020. Physiological response of cumin to times and type of stress modulator in rain-fed and irrigated conditions. Russian Journal of Plant Physiology. 67(6), 1163-1172. https://doi.org/10.1134/S1021443720060175

Timmons, D.R., Holt, R.F., Thompson, R.L., 1967. Effect of plant population and row spacing on evapotranspiration and water-use

efficiency by soybeans 1. Agronomy Journal. 59(3), 262-265. https://doi.org/10.2134/agronj1967.00021962005900030018x

Vakili, R., Dadkhah, A., Rezvani, R., 2024. Investigation of the effect of sulphurous humic acid and plant density on the growth and yield of pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. Crop Physiology Journal. 16(61), 117-134. [In Persian with English summary].

Wijewardana, C., Reddy, K.R., Bellaloui, N., 2019. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. Food Chemistery. 278(1), 92-100. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.035

Wilson, C., 2014. Humic acid in agriculture. 59th New Jersey Agricultural Convention and Trade Show. 124-127.

Yousefi Rad, M., Masomi Zavarian, A., 2017. Effects of humic acid and mycorrhiza on morphological characteristics and nutrients concentration of red bean (*Vigna unguiculata* L.). Journal of Plant Environmental Physiology. 12(48), 92-102. [In Persian with English summary]. https://doi.org/20.1001.1.76712423.1396.12.48.8.2