

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 Nikoeinejad¹, Hojatollah Latifmanesh^{2*}, Ali Moradi³, Hamid Alahdadi⁴

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

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

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

رضا نیکویی نژاد^۱، حجت‌اله لطیف‌منش^{۲*}، علی مرادی^۳، حمید اله‌دادی^۴

۱. دانشجو کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی-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. دانش آموخته کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی-فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: عملکرد زیستی تنش خشکی شاخص سطح برگ کود آلی	با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف محلول پاشی اسید هیومیک بر ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکردی گیاه لوبیا قرمز تحت تنش کم آبیاری، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در شهرستان بویراحمد در سال ۱۴۰۲ به صورت 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) با توجه به تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و عامل فرعی، محلول پاشی 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 محلول پاشی 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 ۲۵/۰۸، ۱۹/۶۵، 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. براین اساس در شرایط کمبود آب آبیاری در شهرستان بویراحمد، استفاده از محلول پاشی ۷/۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک جهت کشت لوبیا قرمز رقم یاقوت توصیه می‌گردد.

مقدمه

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 مدیریت‌ناهنای 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

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 B₁ و C، فیبر و مواد معدنی است (Kimothi and Dhaliwal, 2020). این گیاه با وجود اینکه

از راه فعالیت‌های بیولوژیکی، باروری خود را حفظ کرده و کیفیت بالای محصول را در پی 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 - مخصوصاً 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

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 در پی 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 اثرگذاری 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 همین رو 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 تنش، 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،

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 کلاس A) 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 فناوری 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

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

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

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/شغال 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 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. بذره‌های 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.

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

مصرف اسید هیومیک نسبت ریشه به ساقه را افزایش داده و در نتیجه 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 - به‌ویژه تسهیل دریافت نیتروژن - 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 سینداپسوس (*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 در نتیجه افزایش شدت تنش کم‌آبیاری، سطح برگ کاهش یافت. این تغییرات می‌تواند مربوط به تقسیم‌بندی مواد فتوسنتزی و سازوکارهای مختلفی از جمله افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش تنظیم‌کننده‌های 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 احتمالاً با افزایش توانایی قدرت ریشه به‌واسطه جذب بهتر عناصر مغذی، تنظیم اسمزی و

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] $100 \times (\text{عملکرد زیستی} / \text{عملکرد دانه}) = \text{شاخص برداشت}$
 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).

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

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 لوبیا قرمز 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 گره‌های 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 گره‌ها همراه بوده است. به‌نظر می‌رسد اگرچه بروز تنش کم‌آبی سبب کاهش دسترسی به نیتروژن مورد نیاز گیاه شده است، با این وجود

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 لوبیا قرمز

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

S.O.V	منابع تغییرات	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
Replication	تکرار	2	0.83*	0.03 ^{ns}	38.55 ^{ns}	0.92 ^{ns}	0.02 ^{ns}	2.39 ^{ns}
Irrigation regime (I)	رژیم آبیاری	2	10.18**	0.53**	938.73**	75.80**	9.46**	72.79**
Main plot error	خطای اصلی	4	0.27	0.01	23.46	0.46	0.006	2.31
Humic acid (H)	اسید هیومیک	3	7.91**	1.50**	390.65**	5.10**	0.26**	9.99**
I × H	خطای فرعی	6	0.02 ^{ns}	0.04 ^{ns}	4.91 ^{ns}	0.61 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.13 ^{ns}
Subplot error	خطای فرعی	18	0.25	0.02	14.09	0.53	0.03	0.91
CV (%)	ضریب تغییرات		8.19	4.20	4.72	7.22	2.47	9.23

Table 2. Continued

S.O.V	منابع تغییرات	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
Replication	تکرار	2	0.35 ^{ns}	0.71 ^{ns}	1738 ^{ns}	8228 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.000009 ^{ns}
Irrigation regime (I)	رژیم آبیاری	2	2.69**	25.87**	164923**	2737062**	69.56**	0.026**
Main plot error	خطای اصلی	4	0.06	1.53	1526	1664	0.26	0.000007
Humic acid (H)	اسید هیومیک	3	0.93**	38.91**	502681**	1353432**	11.65**	0.001**
I × H	خطای فرعی	6	0.61**	2.94 ^{ns}	24264**	21362 ^{ns}	3.76**	0.00001*
Subplot error	خطای فرعی	18	0.17	2.84	2399	10194	0.36	0.000005
CV (%)	ضریب تغییرات		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 رژیم آبیاری و محلول پاشی اسید هیومیک بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکردی در لوبیا قرمز
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
	0	4.99 ^d	3.5 ^c	71.97 ^c	9.26 ^c
اسید هیومیک Humic acid (L.ha ⁻¹)	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
	0	7.2322 ^b	9.25 ^b	37.51 ^b	43445 ^d
اسید هیومیک Humic acid (L.ha ⁻¹)	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 نشان دهنده 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 معنی دار 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؛ به طوریکه تیمار آبیاری در ۶۰ درصد موجب کاهش ۱۸/۳۶ درصدی این صفت شد (جدول ۳). تیمار محلول پاشی ۷/۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار نیز در مقایسه با عدم محلول پاشی با افزایش ۱۹/۸۹ درصدی مواجه شد (جدول ۳).

ارتفاع بوته وابسته به شرایط محیطی است که گیاه در آن رشد می کند. اگر آب احتیاجی گیاه فراهم نشود، فشار آماس یاخته ای کاهش می یابد و به واسطه اثر گذاری بر طول یاخته ها موجب کاهش ارتفاع می شود. به عبارت دیگر افزایش شدت کم آبیاری با ایجاد اختلال در مسیر رشد و تقسیم یاخته ها در مناطق مریستمی گیاه با کاهش ارتفاع بوته همراه است (Timachi et al., 2020). نتایج این پژوهش با یافته های حسنی و همکاران (Hasani et al., 2022) در لوبیا قرمز و لوبیا یام مکزیک مطابقت دارد. افزایش مصرف اسید هیومیک در این آزمایش با افزایش ارتفاع بوته همراه بوده است، زیرا اسید هیومیک به واسطه فراهمی افزایش جذب عناصر مغذی

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 به دست 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 در نهایت 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 در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره یاخته‌های ساقه نسبت داد که نهایتاً طول‌شدن 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 تأثیر 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

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 میلی گرم 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 در پی 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 به ترتیب 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 در نتیجه افت انتقال مواد فتوسنتزی به برگ‌های در حال رشد، تعداد شاخه‌های جانبی را به صورت 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 به واسطه 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

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

تنش کم آبیاری موجب تسریع فرایند رشد گیاه و کاهش رشد رویشی می شود. در نتیجه 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 غلاف های پر در بوته با نقصان مواجه خواهند شد. علاوه بر این محدودیت رطوبتی با ریزش گل ها، سقط جنین و در نتیجه 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 کم آبی از ۶۰ میلی متر تبخیر به ۱۲۰ میلی متر، تعداد غلاف پر در بوته لوبیا کاهش یافت. استفاده از محلول پاشی اسید هیومیک به واسطه افزایش حلالیت عناصر و فعال سازی سازوکارهای دفاع آنزیمی و غیر آنزیمی (Canellas et al., 2024) موجب افزایش تحمل گیاه لوبیا قرمز به تنش کم آبی شده و از این رو به واسطه بهبود وضعیت رشد تحت تنش خشکی، از کاهش تعداد غلاف پر در بوته جلوگیری نموده اند. جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) در گیاه لوبیا گزارش دادند کاربرد محلول پاشی ۳ کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار باعث دریافت بیشترین تعداد غلاف شد.

تعداد دانه پر در غلاف

جدول ۲ حاکی از معنی داری برهم کنش دو گانه رژیم آبیاری $\times$ 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 محلول پاشی ۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار حاصل شد که در مقایسه با شاهد (عدم تنش و محلول پاشی) 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 معنی داری را با شاهد ظهور ندادند (شکل ۱).

محدودیت آبی سبب کاهش حضور عناصر ضروری دخیل در ساختار کلروفیل و همچنین افزایش ROS ها، در نتیجه تخریب کلروفیل و کاهش سطح برگ شده است. به همین

دلیل تنش کم آبیاری به واسطه محدودیت در فراهمی مواد فتوسنتزی بر باروری گلچه ها تأثیر گذاشته و موجب سقط گلچه ها و در نهایت کاهش تعداد دانه در غلاف شده است (Karami Chame et al., 2016). به نظر می رسد کاربرد اسید هیومیک تأثیر منفی کم آبیاری در آسیب وارد شده ناشی از پراکسیداسیون لیپیدی و محتوای رطوبتی را کاهش داده است و عامل بهبود فتوسنتز گیاه بوده که به نوبه خود در انتقال مواد فتوسنتزی و پر شدن دانه تأثیر مثبتی دارد. با در نظر گرفتن نقش هورمونی اسید هیومیک (Souza et al., 2022) می توان بیان داشت کاربرد این کود از طریق بهبود دسترسی به عناصر ضروری با افزایش رشد ریشه های جانبی و سطح برگ سبب بهبود رشد رویشی و افزایش سهم اندام های زایشی از جمله تعداد دانه در غلاف شده است. مطابق با نتایج حاضر، قدیمیان و همکاران (Ghadimian et al., 2017) در مطالعه ای بر لوبیا قرمز دریافتند که بیشترین تعداد دانه در غلاف از تیمار ۳ لیتر در هکتار اسید هیومیک به دست آمد.

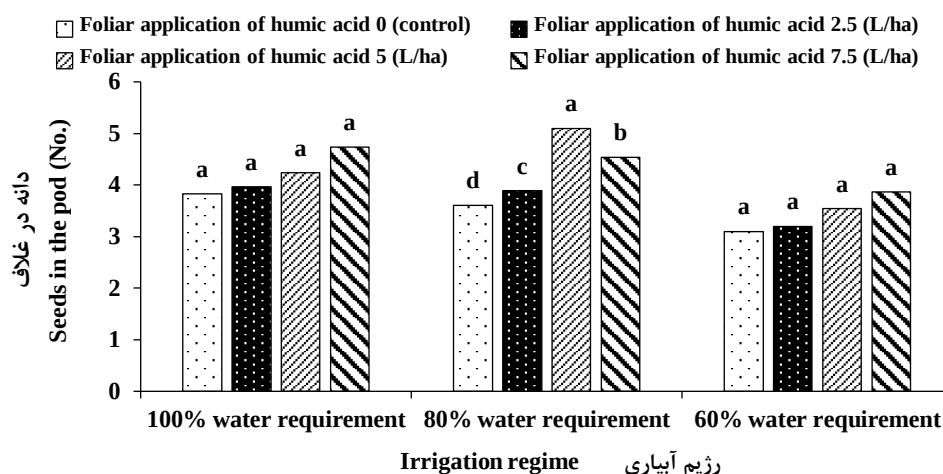
وزن صد دانه

نتایج تجزیه واریانس نمایانگر معنی داری اثرات اصلی رژیم آبیاری و اسید هیومیک بر وزن صد دانه لوبیا قرمز 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 محلول پاشی ۷/۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک موجب افزایش ۱۰/۲۶ درصدی این صفت شد (جدول ۳). سطوح محلول پاشی 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 در نتیجه کوچک شدن دانه ها می شود. علت کاهش وزن صد دانه، کاهش میزان فتوسنتز و انتقال کمتر مواد پرورده به دانه ها است. به بیان دیگر در پی بروز تنش اکسیداتیو، با تجمع رادیکال های آزاد اکسیژن، انسجام ساختاری یاخته ها به دلیل آسیب وارد شده به غشای فسفولیپیدی مختل شده و بسته شدن روزنه ها به همراه کاهش جذب عناصر ضروری در ساختار کلروفیل ها، عامل کاهش میزان رنگیزه های فتوسنتزی می شود. مجموعه این رخدادها، کاهش دوره پر شدن دانه را در پی خواهد داشت (Qiao et al., 2024). اسید هیومیک به جهت نقش تغذیه ای مستقیم می تواند بر افزایش جذب عناصر غذایی مؤثر واقع

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.

شود. در این آزمایش کاربرد محلول‌پاشی اسید هیومیک سبب افزایش غلظت عناصر غذایی 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



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.

مرحله کاهش می‌یابد. حسینی 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 مکزیک همراه بوده است. اثرگذاری مثبت محلول‌پاشی اسید هیومیک بر عملکرد دانه را می‌توان به افزایش خلالت 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 دانه در واحد سطح خواهد شد. مطابق با این پژوهش، ملکی و همکاران (Malaki et al., 2021) در گیاه نخود اطلاع دادند کاربرد

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.

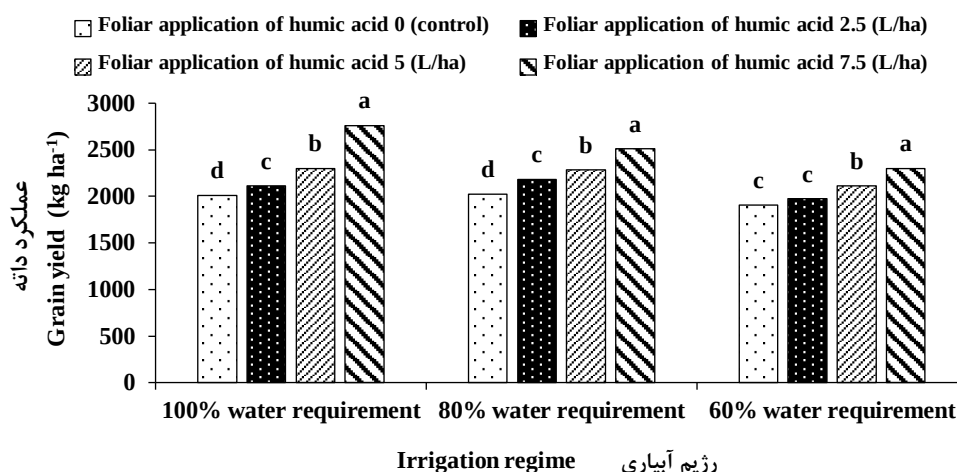
کاهش آب آبیاری احتمالاً به دلیل ریزش غلاف‌ها، افت میزان مواد فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به مخازن اصلی گیاه موجب کاهش اجزای عملکرد و در نتیجه کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود. در این راستا تنش کم‌آبی منجر به تسریع پیری، کوچک‌شدن سطح برگ و سرعت رشد محصول می‌شود. از همین رو با کوتاه‌شدن طول دوره پر شدن دانه، میزان تجمع ماده خشک و به دنبال آن عملکرد دانه در این

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

عملکرد زیستی

تجزیه واریانس بیانگر معنی داری 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 لوبیا قرمز. در هر سطح رژیم آبیاری حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده 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 yield. 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.

هیومیک در این آزمایش تأثیر معنی داری بر افزایش سطح برگ گیاه داشته است؛ از این رو می‌توان انتظار داشت که با افزایش مقادیر این کود بر عملکرد زیست‌توده بوته‌های لوبیا قرمز 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

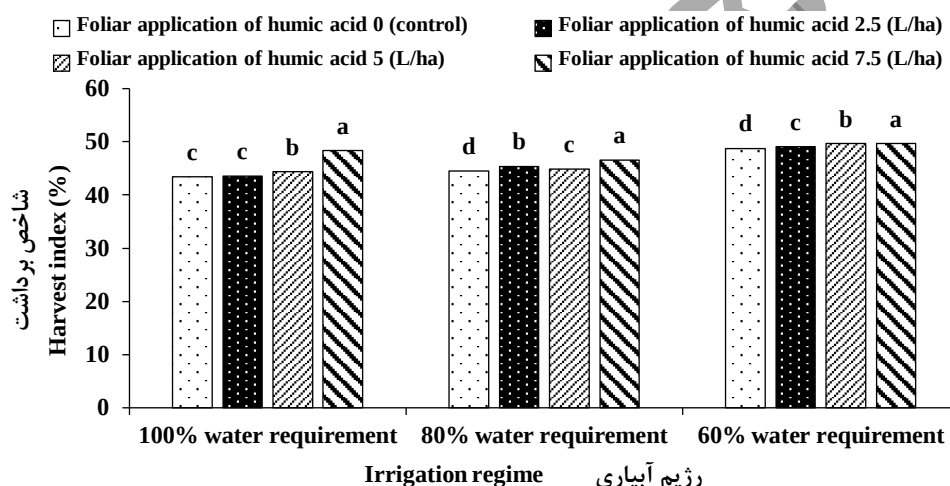
تجزیه واریانس نشان داد برهم‌کنش دوگانه رژیم آبیاری × اسید هیومیک بر شاخص برداشت در سطح احتمال خطای یک درصد معنی دار گردید (جدول ۲). در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد تیمار کاربرد محلول پاشی ۷/۵ لیتر اسید هیومیک

کمبود آب با تأثیر منفی بر باز و بسته شدن 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. باتوجه به اینکه عملکرد زیست‌توده نشان‌دهنده ظرفیت گیاه در جذب نور و تبدیل انرژی نوری 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 محلول پاشی 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

زیستی، سهم افزایش عملکرد دانه بیشتر از عملکرد بیولوژیک بوده است. این افزایش می‌تواند ناشی از بهبود قابلیت جذب عناصر غذایی موجود 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 در پی 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.

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



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.

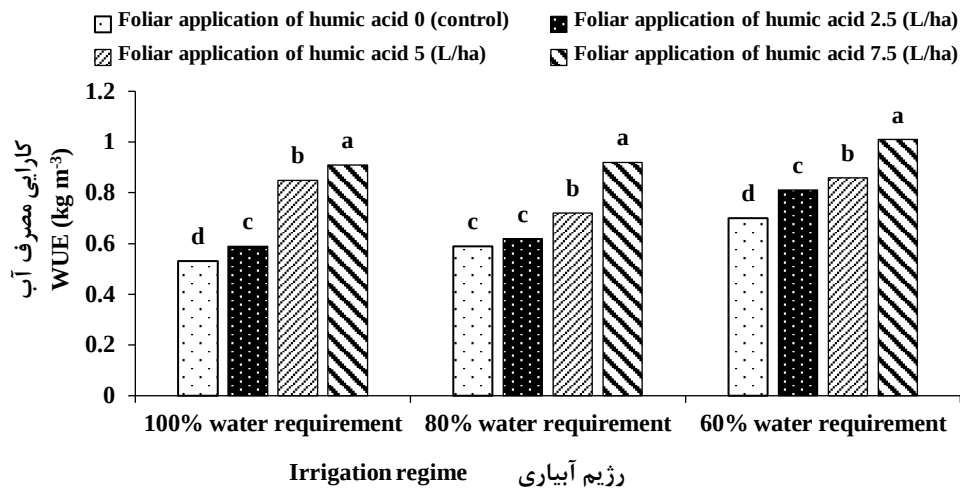
در شرایط کم‌آبی گیاهان تا حدودی با بسته نگه‌داشتن روزنه‌ها می‌توانند بر خروج آب از گیاه و ورود دی‌اکسید کربن و تجمع ماده خشک اثرگذار باشند. در این حالت خروج آب به میزان بیشتری تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در نتیجه نسبت ورودی و خروجی در گیاه (کارایی مصرف آب) افزایش می‌یابد. گیاهان متحمل به تنش کم‌آبی قادر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

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 به ترتیب موجب افزایش ۷۱/۶۹، ۵۵/۹۳ و ۴۴/۲۸ درصدی کارایی مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۴).

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 کم آبیاری در ناحیه ریشه کارایی مصرف آب گیاه لوبیا را در مقایسه با آبیاری کامل به طور معنی داری افزایش داد. کاربرد اسید هیومیک جهت تعدیل اثرات سوء کم آبیاری 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 نشان دهنده افزایش میزان عملکرد دانه در این سامانه ها به دلیل بهبود جذب آب و عناصر غذایی جهت انتقال به اندام های 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 لوبیا قرمز. در هر سطح رژیم آبیاری حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری بین میانگین ها در سطح احتمال پنج درصد بر اساس رویه L.S.Means می باشد.

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.

نتیجه گیری نهایی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد استفاده از محلول پاشی اسید هیومیک تحت شرایط رژیم های مختلف آبیاری موجب بروز تغییراتی در برخی خصوصیات مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه گیاه لوبیا قرمز می شود. افزایش کم آبی به واسطه تسریع فرایند رشد و نمو گیاه و ایجاد محدودیت در روند رشد رویشی، صفات مورفولوژیک و عملکردی را به صورت معنی داری به ویژه در تنش شدید کاهش داد. کاربرد محلول پاشی اسید هیومیک ۷/۵ لیتر در هکتار توانست در سطوح مختلف کم آبیاری برخی پیامدهای مخرب ناشی از تنش را بهبود دهد، به طوری که گیاهان تیمار شده با اسید هیومیک در مقایسه با گیاهانی که تحت تنش کم آبی بودند ولی اسید هیومیکی دریافت نکردند، مقاومت بیشتری نشان

دادند و رشد و عملکرد بهتری را بروز داشتند. باتوجه به یافته های این پژوهش، کاربرد محلول پاشی ۷/۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار از طریق بهبود فراهمی جذب عناصر غذایی و افزایش سطح فتوسنتز کننده گیاه، آستانه تحمل را در برابر تنش کم آبی در لوبیا قرمز بیشتر نموده و سبب بهبود رشد تحت این شرایط شد؛ بنابراین محلول پاشی اسید هیومیک به عنوان راهبردی اکولوژیک در مسیر کاربرد منابع سازگار با محیط زیست، می تواند تحت آبیاری کامل و همچنین به هنگام شرایط کم آبیاری به ویژه در منطقه یاسوج، بهبود صفات زراعی و اقتصادی لوبیا قرمز رقم یاقوت را به دنبال داشته باشد.

سپاسگزاری

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

- 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. Absciscic 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 Tunisian 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 Aida, 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 Chemistry. 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>