J. Soil Plant Interact. 2026; 17(1): 37–49. https://doi.org/10.47176/jspi.17.1.21821

Journal of Soil and Plant Interactions

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

ISSN: 2783-5014 EISSN: 2783-5286

Research Article

Effect of Hb-101 Extracted From Pine Tree on Growth and Yield of Quinoa Plant Under Different Irrigation Regimes

Elnaz Farajzadeh Memari Tabrizi*

Department of Agronomy, Male.C., Islamic Azad University, Malekan, Iran
* Corresponding author, Email: farajzadeh@iau.ac.ir

(Received: 6 October 2025; Revised: 31 January 2026; Accepted: 1 February 2026)

Abstract

Background and Objective: Drought is the primary factor that hinders crop growth. Management practices, such as the use of novel plant compounds, can effectively enhance the sustainability of crop growth and yield under water stressful conditions. This study aimed to investigate the effect of different irrigation levels and the application of Hb-101 compound (extracted from pine tree) on the growth characteristics and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under water stress conditions.

Methods: The study was conducted for two years at the research farm of Islamic Azad University, Malekan Branch, using a split-plot experiment with a randomized complete blocks design. Treatments included concentrations of Hb-101 and different irrigation regimes. Treatments consisted of Hb-101 (0, 3, 6 and 9 per 1000) and irrigation regimes (irrigation after 70, 100, 130 and 160 mm evaporation from pan).

Results: Reducing the amount of irrigation water had a negative effect on plant height, leaf area, chlorophyll index, and grain yield. A significant decrease in these characteristics was observed, particularly in the irrigation after 160 mm evaporation from pan treatment. On the other hand, the application of Hb-101 significantly increased the plant height and leaf area. Additionally, the Hb-101 reduced abscisic acid level in plant leaves, which appears to be a key factor in the lowered stomatal resistance under the water stress. Application of this compound also improved the antioxidant properties of the leaves, which can be effective in enhancing the plant's resistance to environmental stresses.

Conclusion: The application of Hb-101 compound could enhance physiological characteristics, growth and yield of quinoa, irrespective of irrigation level. Therefore, the use of this compound, especially under limited water conditions, can be recommended as an effective method for enhancing quinoa production in areas with water resource shortages.

Keywords: Quinoa, Drought, Hb-101, Plant growth, Seed yield, Antioxidants.

How to Cite: Farajzadeh Memari Tabrizi, E., 2026. Effect of Hb-101 extracted from pine tree on growth and yield of quinoa plant under different irrigation regimes. J. Soil Plant Interact. 17(1), 37–49 (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jspi.17.1.21821

Copyright © 2026 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

روابط خاک و گیاه ۱۴۰۵؛ ۱۷(۱): ۴۹-۳۷، https://doi.org/10.47176/jspi.17.1.21821

روابط خاک و گیاه

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

شاپا: ۲۷۸۳-۵۰۱۴ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۸۶

مقاله پژوهشی

اثر ترکیب Hb-101 به‌دست‌آمده از درخت کاج بر رشد و عملکرد گیاه کینوا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

الناز فرج‌زاده معماری تبریزی*

گروه زراعت، واحد ملکان، دانشگاه آزاد اسلامی، ملکان، ایران

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: farajzadeh@iau.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۱۴؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: خشکی مهم‌ترین عامل کاهش‌دهنده رشد گیاهان زراعی است. با این وجود مدیریت‌هایی مانند استفاده از ترکیبات نوین گیاهی می‌تواند نقش مؤثری را در پایداری رشد و عملکرد گیاهان زراعی در شرایط کم‌آبی داشته باشد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد ترکیب Hb-101 (استخراج‌شده از درخت کاج) بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa*) در شرایط تنش کم‌آبی انجام شد.

روش‌ها: آزمایش در دو سال زراعی در مزرعه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملکان به‌صورت کرت‌های خردشده با طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمارها شامل غلظت‌های ترکیب Hb-101 (غلظت‌های ۰، ۳، ۶ و ۹ در هزار) و رژیم‌های مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر) بود.

نتایج: کاهش میزان آب آبیاری بر ارتفاع بوته‌ها، سطح برگ‌ها، شاخص کلروفیل و عملکرد دانه تأثیر منفی داشت. به‌ویژه در تیمار آبیاری پس از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت، کاهش قابل‌توجهی در این ویژگی‌ها مشاهده شد. از سوی دیگر، کاربرد ترکیب Hb-101 سبب افزایش ارتفاع بوته‌ها و سطح برگ‌ها شد. همچنین ترکیب Hb-101 موجب کاهش سطح اسید آبسیزیک در برگ‌ها شد که به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش مقاومت روزنه‌ای تحت تنش کم‌آبی باشد. کاربرد این ترکیب همچنین بهبود ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی برگ‌ها را به‌دنبال داشت که می‌تواند در تقویت مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی مؤثر باشد.

نتیجه‌گیری کلی: کاربرد ترکیب Hb-101 توانست سبب بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک، رشد و عملکرد کینوا، فارغ از سطح آبیاری شد. بنابراین استفاده از این ترکیب به‌ویژه در شرایط محدودیت آبی می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر برای بهبود تولید کینوا در مناطق با کمبود منابع آبی پیشنهاد شود.

واژه‌های کلیدی: کینوا، خشکی، Hb-101، رشد گیاه، عملکرد دانه، آنتی‌اکسیدان‌ها.

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۵ ©.

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

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

مقدمه

در سطح جهانی کینوا (*Chenopodium quinoa*) به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی و با ارزش غذایی زیاد در حال گسترش است. مرور منابع نشان می‌دهد که عملکرد دانه کینوا در مناطق آسیایی از جمله ایران به‌طور میانگین حدود ۲/۵۵ تن در هکتار بوده و مقادیر آن در دامنه ۰/۰۱ تا ۶/۳۵ تن در هکتار متغیر است. درحالی‌که در آمریکای جنوبی میانگین عملکرد حدود ۲/۶۵ تن در هکتار گزارش شده است (Bazile et al., 2023). در ایران پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در اقلیم گرم و نیمه‌خشک جنوب کشور با استفاده از رقم Q5 بیشترین عملکرد دانه حدود ۳/۶۵ تن در هکتار و کمترین مقدار آن حدود ۲/۸۶ تن در هکتار ثبت شده است (Mirzaei et al., 2019). علاوه بر این گزارش‌های جهانی نشان می‌دهند که عملکرد کینوا می‌تواند از کمترین مقدار ۱۰۸ کیلوگرم در هکتار (واشنگتن، آمریکا) تا بیشترین مقدار ۹/۶۶۷ کیلوگرم در هکتار (چین) متفاوت باشد که تفاوت‌ها عمدتاً به اقلیم، رقم و مدیریت زراعی بستگی دارد (Bazile et al., 2023).

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد با این‌حال گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa*) به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی شناخته می‌شود که توانایی تحمل شرایط کم‌آبی را دارد (Pathan et al., 2023). گیاه کینوا در مواجهه با تنش خشکی مجموعه‌ای از سازوکارهای مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی را به‌کار می‌گیرد. این گیاه با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند SOD، CAT و GR کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن را ممکن می‌سازد. در کنار آن تجمع اُسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول باعث حفظ فشار اسمزی و نگهداری آب در سلول می‌شود. همچنین پاسخ‌های ژنتیکی و متابولیکی نشان داده‌اند که مسیرهای مرتبط با سوخت و ساز نشاسته، قند و بیوفلاونوئیدها در تحمل خشکی نقش دارند (Huan et al., 2022). افزون بر این ظرفیت تحمل این گیاه در برابر کم‌آبی با تنوع ژنتیکی ارقام و روش‌های کاشت بهبود می‌یابد (Mirsafi et al., 2024).

کینوا به‌طور طبیعی در مناطق کوهستانی آند در آمریکای جنوبی رشد می‌کند جایی‌که شرایط خشک و کم‌آب و تغییرات دمایی شدید از ویژگی‌های اصلی آن است؛ به همین دلیل این گیاه توانایی‌هایی دارد تا در شرایط خشکی به‌خوبی رشد کند. یکی از این ویژگی‌ها توانایی کینوا در کاهش تبخیر و تنظیم مصرف آب است. این گیاه با استفاده از ویژگی‌هایی همچون استفاده بهینه از منابع آب موجود، کاهش تبخیر از برگ‌ها و افزایش ظرفیت ذخیره آب در سلول‌ها می‌تواند در شرایط کم‌آبی به‌خوبی رشد کند (Yin et al., 2020). مقاومت به خشکی در کینوا از راه تعدادی سازوکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی رخ می‌دهد. یکی از این سازوکارها فعال‌سازی مسیرهای ضدتنش اکسیداتیو است که در این گیاه موجب کاهش آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد می‌شود. این ویژگی به گیاه کمک می‌کند تا از آسیب‌های ناشی از خشکی و تنش‌های محیطی جلوگیری کند. کینوا دارای فعالیت زیاد آنزیم‌هایی مانند سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) و پراکسیداز (POD) است و می‌تواند با تنش‌های اکسیداتیو ناشی از خشکی مقابله کند (Akram et al., 2023). یکی دیگر از ویژگی‌های مقاومتی کینوا در برابر خشکی اجتناب از آن است. کینوا قادر است سازوکارهای فیزیولوژیک خود را برای صرفه‌جویی در مصرف آب تنظیم کند (از جمله کاهش تعرق از راه بستن روزنه‌های برگ و کاهش مصرف آب در ساعات گرم روز). این توانایی‌ها به گیاه کمک می‌کند تا در شرایط تنش آبی درازمدت رشد خود را حفظ کند (Stikić et al., 2015). علاوه‌بر این کینوا دارای سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده است که می‌تواند به جستجوی منابع آبی در لایه‌های زیرین خاک بپردازد. این ویژگی در شرایط اقلیمی خشک مؤثر است. گیاه کینوا می‌تواند از راه سیستم ریشه‌ای خود آب را از لایه‌های عمیق‌تر خاک جذب کند و به این ترتیب به‌خوبی در برابر تنش خشکی مقاوم باشد (Pathan et al., 2023). با توجه به این ویژگی‌ها کینوا به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی شناخته می‌شود و می‌تواند در کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش مهمی ایفا کند. به‌علاوه با تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی در بسیاری از

مناطق جهان، کینوا می‌تواند به‌عنوان یک محصول کشاورزی با ارزش برای تأمین امنیت غذایی در شرایط خشکی و بحران آب مطرح شود (Dua-e-Zeinab et al., 2021).

گیاهان سوزنی‌برگ مانند کاج (*Pinus spp.*)، سرو (*Cupressus spp.*) و سدر هیمالیایی (*Cedrus deodara*) دارای ترکیبات زیستی فعالی هستند که در سال‌های اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که این گیاهان سرشار از ترپنوئیدها، فنول‌ها و فلاونوئیدهایی مانند α-پینن، β-پینن، لینالول و کاریوفیلن هستند که به‌دلیل ویژگی آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی در بهبود سلامت خاک و کاهش فشارهای زیستی نقش دارند (Kundu et al., 2021; Yang et al., 2022). این ترکیبات زیستی نه تنها در گیاه مادری بلکه در سایر گیاهان نیز می‌توانند بسته به غلظت و شرایط محیطی به‌عنوان عوامل محرک یا بازدارنده عمل کنند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که اسانس حاصل از *Cedrus deodara* دارای بیش از ۲۳ ترکیب مؤثر است که از میان آن‌ها α-ترپینئول و لینالول بیشترین سهم را دارند. این ترکیبات در غلظت‌های کم ممکن است با افزایش ویژگی آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو در بافت‌های گیاهی رشد را تحریک کنند (Singh et al., 2012). همچنین گزارش شده است که اسانس‌های استخراج‌شده از سوزن‌های کاج مانند *P. sylvestris* و *P. densiflora* دارای ویژگی ضدباکتریایی و آنتی‌اکسیدانی قابل‌توجهی بوده و ممکن است از راه بهبود سلامت ریزوسفر و میکروبیوم خاک به‌طور غیرمستقیم بر رشد گیاهان دیگر تأثیر مثبت بگذارند (Lee et al., 2018). با این‌حال برخی پژوهش‌ها آثار متفاوتی را گزارش کرده‌اند. برای نمونه در پژوهشی مشاهده شد که عصاره سوزن‌های *Pinus densiflora* باعث کاهش جوانه‌زنی در گیاهانی مانند کاهو و شاهی شد که نشان‌دهنده وجود آثار آللوپاتیک در غلظت‌های زیاد است (Oh et al., 2012). بنابراین آثار مثبت احتمالی این عصاره‌ها بر رشد سایر گیاهان به میزان زیادی وابسته به غلظت، نوع استخراج و شرایط کاربرد است. در مجموع اگرچه ترکیبات حاصل از گیاهان سوزنی‌برگ به‌دلیل ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدپاتوژنی و شبه‌ترکیبی خود می‌توانند در سطوح پایین موجب تحریک رشد شوند اما نیاز به پژوهش‌های کنترل‌شده و کمّی برای اثبات قطعی این آثار وجود دارد (Kundu et al., 2021; Lee et al., 2018).

ترکیب طبیعی HB-101 یک محرک رشد آلی است که از ترکیب عصاره‌های آبیِ برگ سوزن و چوب چند گیاه با طول عمر زیاد ساخته شده است. اجزای اصلی آن شامل ترکیبات فنولی، ترپنوئیدی و مواد معدنی طبیعی استخراج‌شده از کاج قرمز ژاپنی (*Pinus densiflora*)، سرو ژاپنی (*Cryptomeria japonica*)، سرو هینوکی (*Chamaecyparis obtusa*) و گیاه بارهنگ (*Plantago major*) است (Yoshida and Hasegawa, 2003). ترکیبات غالب در این عصاره‌ها شامل α-پینن، β-پینن، لینالول، کاریوفیلن، لیمونن و فنول‌های طبیعی مانند اسید فرولیک و اسید کافئیک هستند (Yang et al., 2022; Lee et al., 2018). این مواد به‌طور طبیعی در اسانس‌های درختان سوزنی‌برگ یافت می‌شوند و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی و شبه‌ترکیبی از خود نشان می‌دهند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ترکیبات مونوترپنی مانند α-پینن و لینالول می‌توانند در غلظت‌های کم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (مانند SOD و CAT) در سلول‌های گیاهی رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود دهند (Singh et al., 2012). از سوی دیگر ترکیبات فنولی مانند اسید کافئیک و اسید فرولیک با مهار تنش اکسیداتیو و افزایش جذب عناصر غذایی به طور غیرمستقیم موجب افزایش عملکرد و مقاومت گیاهان در برابر خشکی و بیماری‌ها می‌شوند (Kundu et al., 2021). علاوه بر ترکیبات مذکور، حضور عصاره *Plantago major* در فرمولاسیون HB-101 اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا این گیاه غنی از فلاونوئیدها، آنتی‌اکسیدان‌ها و گلیکوزیدهایی مانند آوکوبین است که ویژگی تنظیم‌کنندگی رشد و بازسازی سلول‌های گیاهی دارند (Turel et al., 2009). ترکیب هم‌افزای این عصاره‌ها در HB-101 سبب شده که محصول نهایی به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد طبیعی عمل کرده و موجب افزایش جوانه‌زنی، گسترش ریشه و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی

جدول ۱. ویژگی‌های خاک مکان مورد بررسی

Table 1. Soil properties of the studied site

رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	درصد اشباع Saturation percentage, SP (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon, OC (%)	کربنات کلسیم (درصد) Calcium carbonate equivalent, CCE (%)	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity, EC ($dS\ m^{-1}$)	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر P (mg kg^{-1})	پتاسیم K (mg kg^{-1})
41	33	26	52	1.02	2.11	0.97	0.02	3.10	166

در گیاهان مختلف شود (Lee et al., 2018; Yoshida and Hasegawa, 2003). در مجموع پژوهش‌ها نشان می‌دهند که اثر مثبت HB-101 عمدتاً ناشی از ترکیب هماهنگ ترپنوئیدها و فنول‌های طبیعی است که در کنار هم موجب بهبود متابولیسم نیتروژن، افزایش فتوسنتز و بهبود رشد ریشه می‌شوند (Yang et al., 2022). این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد ترکیب Hb-101 بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد کینوا در شرایط تنش کم‌آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر تأثیر ترکیب Hb-101 بر رشد و عملکرد گیاه کینوا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری بررسی شد. این پژوهش در دو فصل زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و ۱۴۰۴-۱۴۰۳ در مزرعه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملکان انجام شد. ویژگی‌های خاک مکان آزمایش در جدول (۱) آورده شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده با طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار و دو تیمار بود. اندازه هر کرت آزمایشی ۶ متر مربع و شامل ده خط کاشت بود. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف از یکدیگر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تیمارها شامل غلظت‌های ترکیب Hb-101 (غلظت‌های ۰، ۳، ۶ و ۹ در هزار) و رژیم‌های مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر) بود. در پژوهش‌های مختلف نیاز آبی کینوا (*Chenopodium quinoa*) تحت شرایط آب و هوایی متفاوت بررسی شده است. بر اساس پژوهش‌هایی که در شرایط آزمایشی انجام شد، میانگین نیاز آبی کینوا حدود ۲۳۰/۸ میلی‌متر گزارش شده و تنش آبی در مراحل مختلف رشد به ویژه در مراحل شاخه‌دهی و گل‌دهی تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد گیاه دارد (Al-Jabari et al., 2021). بررسی‌های جهانی نیز نشان داده‌اند که مقادیر آب آبیاری در مناطق مختلف بین حدود ۱۳۹ تا ۸۲۰ میلی‌متر متغیر است و این مقادیر وابسته به شرایط اقلیمی، نوع خاک و مدیریت زراعی هستند (Bazile et al., 2023). پژوهش‌های انجام‌شده در شرایط گرم و خشک نشان داده‌اند که مصرف کل آب می‌تواند تا حدود ۵۴۹ تا ۵۶۷ میلی‌متر برسد درحالی‌که تأمین آب کافی می‌تواند رشد و عملکرد بهینه را برای کینوا فراهم کند (Awa et al., 2025). در مناطق ایران به‌ویژه اقلیم خوزستان گزارش شده است که تحت آبیاری کامل، نیاز آبی گیاه حدود ۳۱۲ میلی‌متر بوده و کمبود آب منجر به کاهش عملکرد محصول می‌شود (Meskini-Vishkaee et al., 2022). با توجه به این پژوهش‌ها، سطوح آبیاری بر اساس تبخیر از تشت در مقادیر ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر انتخاب شد. اگرچه تیمارهای آبیاری در محدوده مقاومتی کینوا قرار دارند؛ این سطوح کمتر از مقادیر آبیاری کامل گزارش‌شده در بیشتر پژوهش‌ها هستند. بنابراین استفاده از این سطوح آبیاری نیازمند مدیریت دقیق و توجه به شرایط خاک و اقلیم است تا بتوان از کاهش چشم‌گیر عملکرد جلوگیری کرد؛ بنابراین آبیاری به روش جوی و پشته انجام شد. محلول‌پاشی در ساعات اولیه صبح یا عصر به‌منظور جلوگیری از تبخیر زیاد و افزایش کارایی انجام شد. گیاه کینوا در شرایط طبیعی خاک مزرعه و تحت مدیریت کشاورزی استاندارد، کشت شد. زمین مزرعه پیش از کاشت آماده‌سازی و کوددهی مناسب انجام شد. بذرهای کینوا در اواسط اردیبهشت کشت شده و در فواصل زمانی هر هفته یکبار آبیاری شد. برای کنترل آفات و بیماری‌ها از

روش‌های شیمیایی و بیولوژیک متناسب با شرایط مزرعه استفاده شد. محلول‌های ترکیب HB-101 به‌صورت محلول‌پاشی بر روی برگ‌های گیاه در دو نوبت با فواصل زمانی دو هفته یک‌بار در طول فصل رشد (استقرار بوته‌ها و دو هفته بعد) انجام شد. محلول‌پاشی در ساعات خنک عصر انجام شد تا جذب ترکیبات بیشتر و تبخیر کمتری انجام شود. در مجموع ۲ بار محلول‌پاشی در سال اول و ۲ بار دیگر در سال دوم انجام شد. با توجه به دستورالعمل رسمی شرکت سازنده برای محلول‌پاشی برگی غلظت ۱ میلی‌لیتر در ۱ لیتر آب (رقیق‌سازی ۱:۱۰۰۰) پیشنهاد می‌شود (HB-101 USA, 2023). این محلول باید به‌صورت اسپری یکنواخت بر سطح برگ‌ها پاشیده شود تا جذب از راه روزنه‌ها و کوتیکول به‌خوبی انجام گیرد. بر اساس منابع علمی، تکرار محلول‌پاشی هر ۷ تا ۱۰ روز یک‌بار در دوره رشد فعال گیاه موجب بهبود چشم‌گیر فتوسنتز رنگ برگ و رشد شاخساره می‌شود (Edenvale Plants, 2023). برای ارزیابی آثار محلول‌پاشی صفات زیر مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری سطح برگ از روش نسبت سطح استفاده شد. در این روش برای اندازه‌گیری سطح برگ از نسبت جرم به سطح با استفاده از لوله مسی استفاده می‌شود. بدین منظور چند برگ کامل و سالم از هر تیمار انتخاب شده و از قسمت میانی پهنک آن‌ها با لوله مسی چند دایره کوچک هم‌اندازه بریده شد. پس از خشک‌کردن این نمونه‌های دایره‌ای و برگ کامل در آون در دمای حدود ۷۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به جرم ثابت، جرم خشک هرکدام اندازه‌گیری شد. سپس با مقایسه جرم خشک دایره‌های نمونه با جرم خشک برگ کامل، سطح کل برگ بر اساس نسبت سطح به جرم تخمین زده شد. این روش به‌دلیل سادگی، دقت مناسب و نیاز نداشتن به ابزارهای پیچیده به‌ویژه در شرایطی که دسترسی به دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح برگ وجود ندارد، کاربرد فراوانی دارد و برای گیاهانی مانند کینوا که دارای برگ‌های نسبتاً ضخیم هستند نیز نتایج قابل اعتمادی ارائه می‌دهد (Cornelissen et al., 2003). برای اندازه‌گیری شاخص محتوای کلروفیل از دستگاه SPAD-502 ساخت شرکت Konica Minolta استفاده شد. این دستگاه با استفاده از سنجش بازتاب نور در طول‌موج‌های خاص (معمولاً ۶۵۰ نانومتر) میزان جذب نور توسط برگ را اندازه‌گیری کرده و محتوای کلروفیل برگ را محاسبه می‌کند. دستگاه به‌صورت عمودی بر روی سطح برگ قرار گرفت و پس از تاباندن نور به برگ عدد SPAD index ثبت شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان کل قندهای محلول در برگ و ریشه از روش اصلاح‌شده اشلیگل استفاده شد (Schlegel, 1986). برای اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای از دستگاه پرومتر ساخته شرکت ELE کشور انگلستان استفاده شد. ارزیابی ویژگی آنتی‌اکسیدانی به روش رادیکال DPPH آزمونی شناخته‌شده برای سنجش ویژگی آنتی‌اکسیدانی ترکیبات گوناگون است. اساس این روش بر مبنای احیاء رادیکال آزاد DPPH به وسیله آنتی‌اکسیدان‌ها در غیاب سایر رادیکال‌های آزاد در محیط است. برای استخراج محتوای اسید آبسیزیک از روش Hubick and Reid (1980) و Stewart and Voetberg (1985) استفاده شد (Kafi et al., 2018). مقدار پروتئین کل با استفاده از روش Bradford (1976) و خوانش جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر بر حسب استاندارد BSA تعیین شد.

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون دانکن با سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش ارتفاع بوته‌های کینوا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تیمار HB-101 قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین تیمارهای آبیاری پس از ۷۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته وجود نداشت؛ اما با افزایش شدت تنش خشکی کاهش قابل‌توجهی در ارتفاع بوته مشاهده شد. در تیمارهای آبیاری پس از ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر، میانگین ارتفاع بوته‌های کینوا به‌ترتیب ۱۰۳ و ۹۹/۸ سانتی‌متر بود که نسبت به تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب حدود ۳/۶ و ۶/۴ درصد کاهش

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی کینوا

Table 2. Analysis of variance for the studied quinoa traits

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	عملکرد دانه Plant yield	پروتئین دانه Grain protein	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	ویژگی آنتی‌اکسیدانی Antioxidant properties	اسید آبسیزیک Abscisic acid (ABA)
سال Year (Y)	1	60.262	0.148	1.594	0.998**	0.022	196.053	1178.584	1.011
تکرار در سال R(Y)	4	132.786	0.994	1.149	0.064	0.092	110.046	5121392.199*	0.683
Hb-101 (A)	3	749.941**	4.119**	82.192**	1.227**	4.290**	2982.617**	22110859.598**	6.279**
Y×A	3	17.372	0.06	0.494	0.176	0.086	541.695*	5840446.109*	0.495
خطای a Error a	12	57.478	0.47	1.283	0.072	0.479	146.984	1435416	0.586
سطوح آبیاری Irrigation regimes (B)	3	243.758**	2.377**	12.047	0.593**	1.258*	254.145	13350231.766**	2.178*
Y×B	3	69.188	0.683	1.897	0.11	0.355	550.409	1341446	0.798
A×B	9	42.704	0.531	1.633	0.049	0.294	100.583	1291681	0.379
Y×A×B	9	54.292	0.427	5.178	0.045	0.804*	91.316	1506927	0.39
خطای b Error b	48	47.739	0.334	4.889	0.11	0.364	231.286	1553820	0.551
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation, CV (%)		6.49	14.62	8.53	11.3	3.57	10.32	20.48	15.03%

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده آثار معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد است.

* and ** indicate significant effects at 5 and 1 percent probability levels, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی کینوا تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری

Table 3. Mean comparisons for the studied quinoa traits under different irrigation regimes

اسید آبسیزیک Abscisic acid, ABA (ng g^{-1} FW)	عملکرد دانه (گرم در بوته) Grain yield (g $plant^{-1}$)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (CCI)	شاخص سطح برگ Leaf area index	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	سطح آبیاری Irrigation regime (mm evaporation)
4.370 b	3.207 a	27.45 a	4.418 a	110.7 a	70
4.655 b	3.018 b	27.56 a	4.164 ab	111.4 a	100
5.245 a	2.832 c	24.56 b	3.752 bc	103.8 b	130
5.475 a	2.687 c	24.07 b	3.491 c	99.81 b	160

در هر ستون، حروف مشابه نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن است.

In each column, similar letters indicate non-significant differences at 5% probability level based on Duncan's test.

نشان داد. این نتایج بیان‌گر آن است که محدودیت آبیاری رشد طولی گیاه را مهار کرده و کاهش ارتفاع به‌عنوان یکی از شاخص‌های حساسیت کینوا به کم‌آبی قابل تفسیر است (جدول ۳). پژوهش‌های متعددی یافته‌های مشابهی را گزارش کرده‌اند. برای نمونه Alvar-Beltrán et al. (2020) گزارش کردند که کمبود آب در مراحل رویشی باعث کاهش تقسیم سلولی در بافت‌های ساقه می‌شود که منجر به کوتاه‌شدن گیاه می‌شود. همچنین بر اساس پژوهش Jacobsen et al. (2019) محدودیت آب در کینوا با کاهش پتانسیل آب برگ و فعالیت فتوسنتزی همراه است و در نتیجه رشد رویشی کاهش می‌یابد. افزون بر این Rahimi et al. (2023) در شرایط اقلیم خشک ایران نشان دادند که آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی بیشتر از ۱۲۰ میلی‌متر منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع و عملکرد بیولوژیک گیاه می‌شود. کاهش ارتفاع در سطوح بیشتر تبخیر می‌تواند به‌عنوان سازوکار سازگاری برای کاهش سطح تعرق و مصرف آب تلقی شود (Bazile et al., 2023). علی‌رغم نتایج گفته‌شده درباره تأثیر منفی کم‌آبی بر ارتفاع بوته، محلول‌پاشی ترکیب Hb-101 افزایش معنی‌داری را در ارتفاع بوته‌های کینوا باعث شد. در پژوهش حاضر، تیمارهای کاربرد ۳ در هزار و ۹ در هزار کود Hb-101 ارتفاع بوته‌های کینوا را به‌ترتیب به میزان ۴/۹ و ۷/۸ درصد افزایش داد (جدول ۴). بررسی‌ها نشان می‌دهد که مواد موجود در عصاره کاج‌ها، رشد گیاهان افزایش می‌دهد. مواد موجود در عصاره این گیاهان دارای مواد محرک رشد است که می‌تواند رشد گیاهان زراعی را به‌ویژه در شرایط تنش کم‌آبی افزایش دهد (Ferreira-Santos et al., 2020).

در پژوهش حاضر، کم‌آبی کاهش معنی‌داری در سطح برگ‌های کینوا باعث شد؛ با کاهش آبیاری از ۷۰ به ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت از سطح برگ‌های کینوا به‌ترتیب به میزان ۱۸/۹ و ۲۲/۷ درصد کاسته شد. با این وجود تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ‌های کینوا نداشت. نتایج مشابهی برای شاخص محتوای کلروفیل به‌دست آمد. شاخص محتوای کلروفیل نیز تحت تأثیر تیمارهای آبیاری پس از ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت به‌ترتیب به میزان ۱۰/۵ و ۱۲/۴ درصد کاهش یافت (جدول ۳). پژوهشگران گزارش نموده‌اند که مهم‌ترین دلیل کاهش سطح برگ‌های گیاهان تحت تأثیر کم‌آبی کاهش شاخص محتوای کلروفیل است (Seleiman et al., 2021). کم‌آبی با افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌ها باعث تخریب کلروفیل شده و از محتوای کلروفیل می‌کاهد (Fahad et al., 2017)؛ اما از سوی دیگر بررسی‌ها نشان داده است که کم‌آبی با کاستن از محتوای ترکیب سیتوکنین که مهم‌ترین ترکیب در تولید کلروفیل است باعث کاهش محتوای کلروفیل برگ‌ها می‌شود (Flores-Saavedra et al., 2023). بنابراین تأمین بخشی از ترکیب‌های محرک رشد می‌تواند از تأثیر کم‌آبی بر محتوای کلروفیل برگ‌ها و در نتیجه رشد برگ و رشد کلی بوته‌ها بکاهد. در پژوهش حاضر از ترکیب Hb-101 استفاده شد که محتوای ترکیب‌های گیاهی است. استفاده از این ترکیب

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی کینوا تحت تأثیر کاربرد ترکیب Hb-101

Table 4. Mean comparisons for the studied quinoa traits as influenced by Hb-101 application

ترکیب hb-101 (g/1000)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد دانه در بوته (گرم در بوته) Grain yield (g plant^{-1})	ویژگی آنتی‌اکسیدانی (درصد) Antioxidant properties (%)	اسید آبسیزیک Abscisic acid, ABA (ng g^{-1} FW)
0	102.8 c	3.660 b	2.833 b	55.45 b	5.349 a
3	107.0 ab	3.813 b	2.820 b	56.41 b	4.942 ab
6	105.5 bc	3.961 b	2.932 b	59.92 b	4.643 b
9	110.4 a	4.391 a	3.160 a	71.67 a	4.811 b

در هر ستون، حروف مشابه نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن است.

In each column, similar letters indicate non-significant differences at 5% probability level based on Duncan's test.

بر سطح برگ‌های کینوا افزود؛ تیمار کاربرد ۹ در هزار کود Hb-101 افزایش معنی‌دار ۱۹/۹ درصدی را در سطح برگ‌های کینوا سبب شد (جدول ۴).

در پژوهش حاضر، عملکرد دانه تحت تأثیر آثار ساده سطوح آبیاری و ترکیب Hb-101 قرار گرفت (جدول ۱). اعمال کم‌آبی کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه کینوا باعث شد. با کاهش کاربرد آب از آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر به آبیاری پس از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت، عملکرد دانه به میزان ۱۸/۷ درصد کاهش یافت (جدول ۴). کم‌آبی به روش‌های مختلف عملکرد دانه گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد؛ مهم‌ترین دلیل آن کاهش سطح برگ‌های گیاه و در نتیجه ظرفیت فتوسنتزی آن است که اسمیلات‌های مورد نیاز برای رشد تولید دانه را کاهش می‌دهد (Tardieu et al., 2018). Akram et al. (2024) نیز نشان دادند که کم‌آبی از عملکرد دانه کینوا می‌کاهد. این پژوهشگران نشان دادند که کم‌آبی عملکرد دانه کینوا را تا ۳۴ درصد کاهش می‌دهد. در پژوهش حاضر، عملکرد دانه کینوا تحت تأثیر کاربرد ترکیب Hb-101 به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین تیمار کاربرد ۹ در هزار کود Hb-101 افزایش معنی‌داری را در عملکرد دانه باعث شد و این صفت را به میزان ۱۰/۷ درصد افزایش داد. سایر سطوح ترکیب Hb-101 تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه کینوا نداشتند (جدول ۵). این ترکیب دارای عصاره سروها و کاج‌ها است. عصاره این گروه از گیاهان دارای ترکیباتی است که به رشد و تولید عملکرد در گیاهان زراعی کمک می‌کند (Jung et al., 2021).

مقاومت روزنه‌ای یکی از عواملی است که به شدت تحت تأثیر کم‌آبی قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر، مقاومت روزنه‌ای تحت تأثیر کم‌آبی در دو سال قرار گرفت (جدول ۲). در هر دو فصل زراعی کم‌آبی از هدایت روزنه‌ای برگ‌های کینوا کاست با این وجود در سال اول میزان کاهش در مقاومت روزنه‌ای تحت تأثیر کم‌آبی نسبت به سال دوم بیشتر بود. در سال اول هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر تیمار آبیاری پس از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تا ۲۶/۴ درصد کاهش داد که کاهش قابل توجهی به شمار می‌رود (جدول ۵). کم‌آبی باعث افزایش تولید ترکیب اسید آبسیزیک در گیاهان می‌شود. این ترکیب باعث بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شود تا در شرایط کم‌آبی از میزان تعرق گیاه بکاهد؛ اما از سوی دیگر باعث کاهش هدایت روزنه‌ای گیاه می‌شود (Tardieu et al., 2018). در این بررسی تیمار ترکیب Hb-101 تأثیر معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای برگ‌های کینوا نداشت با این وجود ویژگی آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ‌های کینوا را بهبود بخشید که این افزایش می‌تواند نقش مؤثری را در بهبود کینوا به تنش‌های محیطی داشته باشد. در پژوهش حاضر، تیمارهای بدون کاربرد و کاربرد ۳ در هزار کود Hb-101 تأثیر معنی‌داری بر ویژگی آنتی‌اکسیدانی برگ‌های کینوا نداشت ولی تیمار کاربرد ۹ در هزار کود Hb-101 افزایش ۲۹/۲ درصدی را در ویژگی آنتی‌اکسیدانی

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی کینوا تحت تأثیر برهمکنش سطح آبیاری و سال

Table 5. Mean comparisons for the studied quinoa traits as influenced by the interaction of irrigation regime and year

ویژگی آنتی‌اکسیدانی (درصد) Antioxidant properties (%)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (mol H_2O m^{-2} s^{-1})	سطح آبیاری Irrigation regime (mm evaporation)	سال Year
47.84 e	170.1 a	70	1
57.23 c-e	148.6 bc	100	1
60.49 b-d	137.1 c	130	1
78.02 a	139.3 c	160	1
49.86 de	153.6 b	70	2
59.11 b-e	152.1 b	100	2
70.15 ab	140.9 c	130	2
64.19 bc	137.1 c	160	2

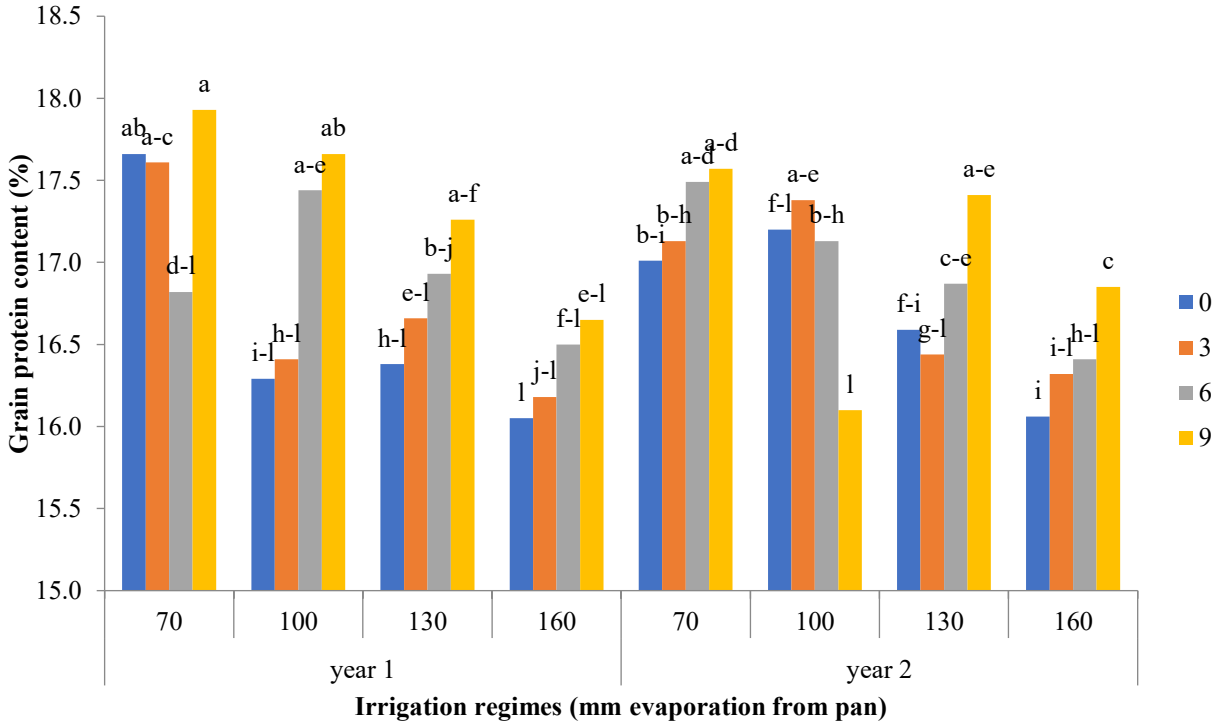
در هر ستون، حروف مشابه نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن است.

In each column, similar letters indicate non-significant differences at 5% probability level based on Duncan's test.

برگ‌های کینوا باعث شد (جدول ۵). ترکیب Hb-101 دارای ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدی است که نقش مؤثری در ویژگی آنتی‌اکسیدانی دارند. این ترکیبات جذب برگ‌ها شده و ویژگی آنتی‌اکسیدانی مؤثری را در گیاهان باعث می‌شوند (Dziedziński et al., 2021). در پژوهش حاضر محتوای اسید آبسیزیک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری و ترکیب Hb-101 قرار گرفت (جدول ۲). نتایج این پژوهش نشان داد که محتوای اسید آبسیزیک در برگ‌های کینوا تحت تأثیر کم‌آبی افزایش یافت. تیمارهای آبیاری پس از ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت به‌ترتیب افزایش ۲۰/۹ و ۲۵/۵ درصدی را در محتوای اسید آبسیزیک در برگ‌های کینوا باعث شد (جدول ۴). سایر پژوهشگران نیز گزارش نمودند که کم‌آبی محتوای اسید آبسیزیک را در گیاهان افزایش می‌دهد. افزایش اسید آبسیزیک باعث بسته‌شدن روزنه‌ها شده و از هدرروی آب گیاهان می‌کاهد (Dietz et al., 2021). در پژوهش حاضر مشاهده شد که کم‌آبی هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد که احتمالاً یکی از دلایل این افزایش محتوای اسید آبسیزیک در گیاهان با کم‌آبی است. ولی کاربرد ترکیب Hb-101 کاهش معنی‌داری را در محتوای آبسیزیک برگ‌های کینوا باعث شد. تیمارهای کاربرد ۶ و ۹ در هزار کود Hb-101 به‌ترتیب کاهش ۱۳/۲ و ۹/۴ درصدی را در محتوای اسید آبسیزیک برگ‌های کینوا باعث شد. تیمار بدون کاربرد کود Hb-101 تأثیر معنی‌داری در محتوای اسید آبسیزیک نداشت (جدول ۵). ولی محتوای پروتئین دانه‌های کینوا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهم‌کنش سطح آبیاری، تیمار Hb-101 و سال قرار گرفت (جدول ۲). در سال اول بیشترین محتوای پروتئین دانه با ۱۷/۹ درصد در تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشت + کاربرد ۹ در هزار کود Hb-101 به‌دست آمد که در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. در سال دوم نیز در تیمار ترکیبی آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشت + کاربرد ۹ در هزار کود Hb-101، بیشترین محتوای پروتئین دانه به‌دست آمد که همچون سال اول تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. با این وجود در هر سال تیمار آبیاری پس از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت + بدون کاربرد کود Hb-101 کاهش معنی‌داری را در محتوای پروتئین دانه های کینوا باعث شد (شکل ۱). با توجه به نتایج محتوای پروتئین دانه به‌طور قابل قبولی تحت تاثیر کاربرد Hb-101 قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کم‌آبی تأثیر منفی و معنی‌داری بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد کینوا دارد. کاهش سطح آب



شکل ۱. مقایسه میانگین محتوای پروتئین دانه تحت تأثیر برهمکنش تیمار Hb-101، سطح آبیاری و سال. حروف مشابه نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن است.

Fig. 1. Mean comparisons for grain protein content ad affected by the interaction of Hb-101 treatment, irrigation levels and year. Similar letters indicate non-significant differences at 5% probability level based on Duncan's test.

آبیاری در کل تأثیر منفی بر ارتفاع بوته‌ها، سطح برگ‌ها، شاخص کلروفیل و عملکرد دانه‌ها داشت. با این‌حال استفاده از ترکیب Hb-101 به‌طور معنی‌داری توانست ویژگی‌های مورد بررسی در کینوا بهبود بخشد. کاربرد این ترکیب باعث افزایش ارتفاع بوته‌ها، سطح برگ‌ها و عملکرد دانه‌ها شد. همچنین این ترکیب موجب کاهش محتوای اسید آبسیزیک و بهبود ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی برگ‌ها شد؛ بنابراین استفاده از ترکیب Hb-101 فارغ از سطح آبیاری، می‌تواند به بهبود عملکرد کینوا کمک کند.

تشکر و سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حوزه معاونت پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی ملکان تشکر و قدردانی می‌گردد.

تضاد منافع

نویسنده مقاله اذعان دارد هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارد.

منابع مورداستفاده

References

1. Akram, M.Z., Libutti, A., Rivelli, A.R., 2023. Evaluation of vegetative development of quinoa under water stress by applying different organic amendments. Agronomy 13(5), 1412. https://doi.org/10.3390/agronomy13051412.
2. Akram, M.Z., Libutti, A., Rivelli, A.R., 2024. Drought stress in quinoa: effects, responsive mechanisms, and management through biochar amended soil: A review. Agriculture 14(8), 1418. https://doi.org/10.3390/agriculture14081418.
3. Al-Jabari, M., Alhaj, M., Al-Khateeb, A., 2021. Water stress on different growing stages for quinoa (*Chenopodium quinoa*) under arid conditions. J. Crop Sci. Tech. 12(3), 45–53.

4. Alvar-Beltrán, J., Saturnin, C., Dao, A., Dalla Marta, A., Sanou, J., Orlandini, S., 2019. Effect of drought and nitrogen fertilisation on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions in Burkina Faso. Ital. J. Agrometeorol. 1, 33–43. https://doi.org/10.13128/ijam-1053.
5. Bazile, D., Jacobsen, S.E., Verniau, A., 2023. Worldwide development of agronomic management practices for quinoa cultivation: A systematic review. Front. Agr. 5, 1215441. https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1215441.
6. Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72, 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3.
7. Cornelissen, J.H., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D.E., Reich, P.B., Steege, H.T., Morgan, H.D., Heijden, M.V.D., Pausas, J.G., 2003. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. Aust. J. Bot. 51(4), 335–380. https://doi.org/10.1071/BT02124.
8. Dietz, K.J., Zörb, C., Geilfus, C.M., 2021. Drought and crop yield. Plant Biol. 23(6), 881–893. https://doi.org/10.1111/plb.13304.
9. Dridi, A., Bordenave, N, 2020. Pine bark phenolic extracts, current uses, and potential food applications: A review. Curr. Pharm. Des. 26(16), 1866–1879. https://doi.org/10.2174/1381612826666200311124523.
10. Dziedziński, M., Kobus-Cisowska, J., Stachowiak, B., 2021. Pinus species as prospective reserves of bioactive compounds with potential use in functional food-current state of knowledge. Plants 10(7), 1306. https://doi.org/10.3390/plants10071306.
11. Plants, E., 2023. HB-101 natural plant vitalizer concentrate–Usage guide [online]. Available: https://edenvaleplants.com/HB-101-Natural-Plant-Vitalizer-Concentrate.
12. Fahad, S., Bajwa, A.A., Nazir, U., Anjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M.Z., Huang, J., 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. Front. Plant. Sci. 8, 1147. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147.
13. Ferreira-Santos, P., Zanuso, E., Genisheva, Z., Rocha, C.M., Teixeira, J.A., 2020. Green and sustainable valorization of bioactive phenolic compounds from pinus by-products. Molecules 25(12), 2931. https://doi.org/10.3390/molecules25122931.
14. Ferreira-Santos, P., Genisheva, Z., Botelho, C., Santos, J., Ramos, C., Teixeira, J.A., Rocha, C.M., 2020. Unravelling the biological potential of pinus pinaster bark extracts. Antioxidants (Basel) 9(4), 334. https://doi.org/10.3390/antiox9040334.
15. Flores-Saavedra, M., Plazas, M., Vilanova, S., Prohens, J., Gramazio, P., 2023. Induction of water stress in major Solanum crops: A review on methodologies and their application for identifying drought tolerant materials. Sci. Hort. 318, 112105. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112098.
16. HB-101 USA. 2023. How to use HB-101. Available: https://hb-101usa.com/phone/howtouse2nd_sp.html.
17. Huan, X., Li, L., Liu, Y., Kong, Z., Liu, Y., Wang, Q., Liu, J., Zhang, P., Guo, Y., Qin, P., 2022. Integrating transcriptomics and metabolomics to analyze drought response in quinoa. Front. Plant Sci. 13, 988861. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.988861.
18. Hubick, K.T., Reid, D.M., 1980. A rapid method for the extraction and analysis of abscisic acid from plant tissues. Plant Physiol. 65(3), 523–525. https://doi.org/10.1104/pp.65.3.523.
19. Jacobsen, A.L., Pratt, R.B., Venturas, M.D., Hacke, U.G., 2019. Large volume vessels are vulnerable to water-stress-induced embolism in stems of poplar. IAWA J. 40(1), 4-S4. https://doi.org/10.1163/22941932-40190233.
20. Jung, J.Y., Ha, S.Y., Yang, J.K., 2021. The effect of wood extract as a water-soluble fertilizer in the growth of *Lactuca sativa*. J. Korean Wood Sci. Technol. 49(4), 384–393. https://doi.org/10.5658/WOOD.2021.49.4.384.
21. Meskini-Vishkaee, F., Tafteh, A., Goosheh, M., 2022. Determining the quinoa water requirement and plant response coefficients to water stress in different growth stages in Khuzestan climate. J. Water Soil Sci. 27(1), 275–286. https://doi.org/10.47176/jwss.27.1.43123.
22. Kundu, A., Pradhan, P., Ghosh, A., 2021. Phytochemical composition and antioxidant properties of *Cedrus deodara* extracts. J. Ess. Oil Res. 33(5), 420–427.
23. Lee, J. H., Kim, S.H., Choi, Y.S., 2018. Antimicrobial and antioxidant activities of *Pinus densiflora* needle extracts. Ind. Crops Prod. 124, 570–578. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.037.
24. Mirsafi, S.M., Sepaskhah, A.R., Ahmadi, S.H., 2024. Quinoa yield components, soil water dynamics, root growth, and water use indicators in response to deficit irrigation and planting methods. J. Agric. Food Res. 15, 100970. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100970.
25. Mirzaei, F., Sarfarazi, M., Ghaderi, N., 2019. Evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) growth and yield under different plant densities in southern Iran. Agric. Water Manag. 225, 105758.
26. Awa, M., Yusuying, A., Zhao, J., Tumaerbai, H., 2025. Impact of drip irrigation levels on the growth, production, and water productivity of quinoa grown in arid climate conditions. Water 17(7), 917. https://doi.org/10.3390/w17070917.
27. Nektrarios, P., Economou, G., Avgoulas, C., 2005. Allelopathic effect of *Pinus halepensis* needles on turfgrass and biosensor plants. HortScience 40(1), 246–250. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.1.246.

28. Oh, T.K., Cho, M.G., Chung, J.M., Jung, H.R., Jeon, K.S., Moon, H.S., Lee, S.J., Shinogi, Y., 2012. Effect of thinning intensity on soil nitrogen dynamics in *Pinus densiflora* stand. J. Fac. Agr. 57 (2), 473–479.
29. Pathan, S., Ndunguru, G., Clark, K., Ayele, G., 2023. Yield and nutritional responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes to irrigated, rainfed, and drought stress environments. Front. Sustain. Food Syst. 7, 1242187. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1242187.
30. Pervez, K., Ullah, F., Mehmood, S., Khattak, A., 2017. Effect of *Moringa oleifera* Lam. leaf aqueous extract on growth attributes and cell wall bound phenolics accumulation in maize (*Zea mays* L.) under drought stress. Kuwait J. Sci. 44(4), 110–118.
31. Rahimi-Moghaddam, S., Azizi, K., Eyni-Nargeseh, H., Kalantar Ahmadi, S.A., 2023. Simulation of production and water use efficiency of spring canola cultivars in warm and temperate climates. Environ. Sci. 21(1), 15–30. https://doi.org/20.1001.1.17351324.1402.21.1.5.1. (In Persian with English abstract)
32. Sánchez-Moya, T., López-Nicolás, R., Peso-Echarri, P., González-Bermúdez, C.A. Frontela-Saseta, C., 2024. Effect of pine bark extract and its phenolic compounds on selected pathogenic and probiotic bacterial strains. Front. Nutr. 11, 1381125. https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1381125.
33. Schlegel, H.G., 1986. Die Verwertung Orgngischer Souren Durch Chlorella Lincht. Planta 47, 51.
34. Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H., Battaglia, M.L., 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. Plants 10(2), 259. https://doi.org/10.3390/plants10020259.
35. Singh, P., Shukla, R., Prakash, B., Kumar, A., Mishra, P.K., Dubey, N.K., 2012. Chemical profile, antifungal, antioxidant and antiaflatoxigenic activities of *Cedrus deodara* essential oil and its major component α-terpineol. J. Sci. Food Agric. 92(4), 875–883.
36. Stewart, C.R., Voetberg, G., 1985. Relationship between stress-induced ABA and proline accumulation and ABA-induced proline accumulation in excised barley leaves. Plant Physiol. 79(1), 24–27. https://doi.org/10.1104/pp.79.1.24.
37. Stikić, R., 2015. The effect of drought on water regime and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Ratar. Povert. 52(2), 80–84. doi:10.5937/ratpov52-8000.
38. Tardieu, F., Simonneau, T., Muller, B., 2018. The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic Approach. Annu. Rev. Plant Biol. 69, 733–59. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040218.
39. Turel, I., Özbek, H., Erten, R., Öner, A.C., Cengiz, N., Yilmaz, O., 2009. Hepatoprotective and antioxidant activity of Plantago major L. Indian J. Pharmacol. 41(3), 120–124.
40. Yang, X., Zhao, W., Li, Y., Zhou, Z., 2022. Chemical diversity and biological activity of essential oils from Pinus species: A review. Molecules. 27(17), 5658.
41. Yin, P., Liu, X., Zhou, Y., Hu, X., 2020. Effects of drought and ionic titanium on the growth of quinoa seedlings. In: AIP Conference Proceeding, February 19, Jinan, China. https://doi.org/10.1063/5.0000285.
42. Yoshida, K., Hasegawa, M., 2003. HB-101: Natural plant vitalizer derived from Japanese conifers and Plantago major. Jap. J. Org. Agric. 5(2), 45–51.
43. Dua-e-Zainab, A.H.G., Zafar, A., Sohail, S., Zafar, H., Ijaz, A.B., Farooq, Q., Husnain, M., 2021. A brief study of quinoa role and its adaptation towards salinity and drought stress. Curr. Res. Agric. Farm. 2, 27–40.