University of Birjand

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

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 2, pp. 333-347 (Summer 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4597.2046

Original article

Feasibility of quinoa production under deficit irrigation and glycine betaine foliar application

M. Ghorbany[1*], H.R. Fallahi[2,3], M. Aghhavani-Shajari[4], S. Mahmoodi[2,3], S.H.R.Ramazani[2]

1. Department of Biology, Faculty of Science, University of Birjand, Iran
2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
3. Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
4. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Received 16 August 2021; Accepted 12 February 2022

Extended abstract

Introduction

Abiotic environmental stresses such as drought and salinity are important factors in reducing crop yield in many parts of the world (Muscolo et al., 2016). Water scarcity is the most important factor in reducing the production of crops in arid areas. Therefore, it is necessary to pay attention to the sustainable use of water resources, especially in arid and semi-arid regions (Dabhi et al., 2013; Samadzadeh et al., 2020). Introducing new drought-tolerant crops is the main strategy for sustainable crop production in arid regions (Samadzadeh et al., 2020). Besides, deficit irrigation and foliar application of osmolyte compounds such as glycine betaine can be considered to reduce the effect of drought stress on plant growth and yield (Fallahi et al., 2015; Tian et al., 2017).

Materials and methods

In this experiment, the effects of water availability and foliar application of glycine betaine (GB) were studied on the growth and yield of quinoa. The experiment was carried out as factorial based on a complete randomized block design with three replicates in Sarayan, south Khorasan province, Iran. Experimental factors were (1) irrigation management regimes (irrigation after 70, 140, and 210 mm pan evaporation) and (2) GB foliar application (0 zero or distilled water and 150 mg. l^{-1}).

Results and discussion

There were no significant differences between irrigation levels in terms of many vegetative and reproductive parameters such as plant height, plant dry weight, number of panicles per plant, panicle length, and its dry weight. An increase in water stress severity caused a reduction in biological yield and 1000-grain weight, but seed yield did not decrease. GB application increased the values of plant dry weight, biological yield, chlorophyll index (SPAD), and the number of panicles per plant, while reduced reducing seed yield. Interaction results of experimental factors revealed that the highest biological yield (2533.3 kg ha^{-1}) was obtained by GB and irrigation after 70 mm pan evaporation, while the lowest value (1433.3 kg ha^{-1}) was gained by the no-GB and 210 mm pan evaporation. The highest seed yield values were obtained by 70 and 210 mm pan evaporation (250.7 and 245.4 kg ha^{-1}, respectively) combined with the no-GB application. In general, due to the scarcity of water resources in arid areas, quinoa irrigation after 210 mm pan evaporation can be recommended.

* Corresponding author: Morteza Ghorbany; E-Mail: Mghorbany@birjand.ac.ir

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Conclusion
Quinoa had an acceptable resistance to drought stress. Seed yield in this experiment was much lower than the plant's genetic potential, which could be due to improper planting date and density. Therefore, research on other quinoa cultivars, other planting dates, and foliar application of glycine-betaine at other concentrations and times can complement the results of the present experiment.

***Keywords*:** Evaporation, Drought stress, New crop, Seed yield, Water requirement

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4597.2046

مقاله پژوهشی

امکان‌سنجی تولید کینوا در شرایط کم‌آبیاری تحت تأثیر محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین

مرتضی قربانی[۱]، حمیدرضا فلاحی[۲،۳]، مهسا اقحوانی شجری[۴]، سهراب محمودی[۲،۳]، سید حمیدرضا رمضانی[۲]

۱. عضو هیئت‌علمی گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند
۲. عضو هیئت‌علمی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۳. گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۴. پسادکتری، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تبخیر
تنش خشکی
عملکرد دانه
گیاهان جدید
نیاز آبی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۱۱/۲۳

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۲

۱۶(۲): ۳۳۳-۳۴۷

چکیده

معرفی گیاهان جدید مقاوم به خشکی به‌عنوان یکی از گزینه‌های تولید پایدار محصولات زراعی در مناطق خشک به شمار می‌آید. در این آزمایش پاسخ رشد و عملکرد کینوا به رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط مصرف گلایسین بتائین به‌عنوان یک اسمولیت سازگار کننده به تنش، موردبررسی قرار گرفت. آزمایش در سال ۱۳۹۶، به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که در آن فاکتور اول رژیم‌های آبیاری (آبیاری پس از تبخیر ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر) و فاکتور دوم محلول‌پاشی گلایسین بتائین [صفر (آب مقطر) و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر] بود. با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه کاهش یافت، ولی عملکرد دانه کاهش نشان نداد. مصرف گلایسین‌بتائین نیز مقادیر وزن خشک بوته، عملکرد بیولوژیک، شاخص کلروفیل و تعداد پانیکول را افزایش داد، ولی موجب کاهش عملکرد دانه شد. بر اساس نتایج اثرات متقابل، بیشترین عملکرد بیولوژیک به میزان ۲۵۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار از تیمار ترکیبیِ مصرف گلایسین بتائین و انجام آبیاری پس از تبخیر ۷۰ میلی‌متر حاصل شد و کمترین مقدار این شاخص نیز به میزان ۱۴۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار در گیاهان متعلق به تیمار عدم محلول‌پاشی با گلایسین بتائین و اعمال آبیاری پس از تبخیر ۲۱۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به دست آمد که بیانگر تفاوت ۷۷ درصدی است. بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای ۷۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (به ترتیب ۲۵۰/۷ و ۲۴۵/۴ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم مصرف گلایسین بتائین حاصل شد. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش و کمبود منابع آب در مناطق خشک، انجام آبیاری کینوا پس از تبخیر ۲۱۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

مقدمه

تنش‌های غیرزنده مانند خشکی و شوری از عوامل مهم کاهش عملکرد گیاهان زراعی به شمار می‌آیند (Muscolo et al., 2016). در مناطق خشک، آب به‌عنوان اصلی‌ترین عامل محدودکننده تولیدات زراعی محسوب می‌شود و ازاین‌رو استفاده کارآمد از این نهاده و افزایش کارایی استفاده از منابع محدود آب، کلید موفقیت در تداوم کشاورزی در این مناطق است (Zhang, 2003; Dabhi et al., 2013; Samadzadeh et al., 2020). کاهش میزان دسترسی به منابع آب در بسیاری از کشورهای کم‌باران جهان ازجمله ایران به‌ویژه در پاسخ به برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی آب و نیز وقوع پدیده تغییر اقلیم، نگرانی‌هایی را ایجاد کرده است. این موضوع در سال‌های اخیر به‌خوبی خود را نشان داده است، به‌طوری‌که اکثر دشت‌های ایران با روند نزولی سطح آب‌های زیرزمینی مواجه شده‌اند (Razavi and Davari, 2014). با در نظر گرفتن رشد جمعیت در کشور پیش‌بینی می‌شود که در صورت عدم انجام تمهیدات پیشگیرانه لازم جهت استفاده کارآمد از منابع موجود آب، در آینده نه‌چندان دور مخازن آبی کشور پاسخ‌گوی نیازهای موجود نخواهد بود (Razavi

* نگارنده پاسخگو: مرتضی قربانی. پست الکترونیک: Mghorbany@birjand.ac.ir

and Davari, 2014)؛ بنابراین، ضرورت دارد تا استفاده پایدار از منابع آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور موردتوجه قرار گیرد. از راه‌کارهای تأثیرگذار در این مورد می‌توان به معرفی گیاهان جدید مقاوم به خشکی، کم-آبیاری و نیز استفاده از ترکیبات اسمولیت مانند گلایسین بتائین اشاره کرد.

بسیاری از گیاهان زراعی نمی‌توانند با شرایط تنش‌زای محیطی به‌سرعت سازگاری پیدا کنند؛ بنابراین، لازم است تا کاشت گیاهان زراعیِ جایگزینی که قابلیت بالایی جهت انطباق‌پذیری با عوامل نامساعد محیطی دارند را موردبررسی قرار داد. یکی از این گیاهان متحمل کینوا (*Chenopodium quinoa*) است که به خانواده تاج‌خروسیان (Amaranthaceae) تعلق دارد. این گیاه ضمن مقاومت مناسب به تنش‌هایی مانند خشکی و شوری و عوامل نامساعد خاکی و اقلیمی، از ارزش غذایی بالایی نیز برخوردار است (Geerts et al., 2008; Muscolo et al., 2016). محصول اصلی کینوا دانه‌های آن است که حدوداً حاوی ۱۶ درصد پروتئین با مقادیر بالایی از اسیدآمینه‌های لیزین، متیونین و سیستئین می‌باشند (Abugoch et al., 2009). مهم‌ترین مکانیسم‌های تحمل به خشکی در این گیاه شامل فرار از خشکی، ریشه گسترده و سطح برگ نسبتاً کم است (Geerts et al., 2008; Razzaghi et al., 2012). با توجه به این موارد، به نظر می‌رسد کینوا گزینه مناسبی برای مطالعات مربوط به کم‌آبیاری باشد.

کم‌آبیاری یکی از روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب در زمین‌های زراعی است که در آن گیاه زراعی به مقداری کمتر از نیاز آبی آبیاری می‌شود (Akbari Nodehi, 2011). در مناطقی که محدودیت دسترسی به منابع آبی وجود دارد، هدف کشاورزان بایستی به‌جای افزایش تولید به ازای هر واحد زمین زیر کشت، به حداکثر رساندن درآمد خالص به ازای هر واحد آب مصرفی باشد. بر همین مبنا، در حال حاضر بر مفهوم بهره‌وری آب[1] یعنی عملکرد یا درآمد خالص در ازای هر واحد آب مصرفی در جریان تبخیروتعرق، تأکید می‌شود (Fereres and Soriano, 2007; Fallahi et al., 2015). تاکنون اثرات مثبت کم‌آبیاری بر افزایش کارایی مصرف آب، افزایش سطح زیرکشت و کسب درآمد بیشتر در گیاهان مختلفی مانند آفتاب‌گردان (*Helianthus annuus* L.) (Karimi and Sepehri, 2010)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (Shayannezhad, 2011)، ذرت (*Zea mays* L.) (Karimi et al., 2010) و جو (*Hordeum vulgare* L.) (Ramezani Etedali et al., 2009) گزارش شده است.

در پژوهشی گلخانه‌ای اثرات کم‌آبیاری بر رشد و عملکرد کینوا بررسی و گزارش شد که تبخیر و تعرق ۲۱۰ میلی‌متر (از سطح گیاه و خاک) برای تولید دانه در این گیاه موردنیاز است (Talebnejad and Sepaskhah, 2015). کارایی تعرق (نسبت اندام هوایی به تعرق فصلی) کینوا ۰/۰۲۸ مگاگرم در هکتار بر میلی‌متر بود و میزان حساسیت تولید دانه به تنش خشکی بیش از رشد ریشه و شاخساره بود. در این پژوهش، ۷۰ درصد کاهش در میزان آب موردنیاز برای آبیاری کامل، تنها باعث کاهش ۳۶ درصدی عملکرد دانه شد، درحالی‌که سودمندی مصرف آب ۱۲ درصد افزایش نشان داد. همچنین رشد شاخساره به کم‌آبیاری حساسیتی نشان نداد، به‌طوری‌که کاهش حجم آبیاری از ۰/۸ آبیاری کامل به ۰/۳ آبیاری کامل (کاهش ۵۰ درصدی در میزان آب مصرفی)، تنها موجب کاهش ۸ درصدی رشد شاخساره گردید (Talebnejad and Sepaskhah, 2015). در آزمایش دیگری در کشور دانمارک اثرات کم‌آبیاری در گیاه کینوا بررسی و گزارش شد که کارایی مصرف نور، درصد نیتروژن شاخساره و دانه، میزان نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه و کارایی مصرف نیتروژن در گیاهان تحت تنش خشکی و بدون تنش تفاوتی نداشت (Razzaghi et al., 2012). عملکرد دانه نیز در خاک شنی‌لومی برای آبیاری کامل ۳ تن و برای کم-آبیاری ۳/۱ تن در هکتار بود که بیانگر افزایش نسبی عملکرد است، ولی تنش خشکی به مقدار کم و غیر معنی‌داری عملکرد بیولوژیک را کاهش داد (Razzaghi et al., 2012). در پژوهش دیگری مراحل شیری شدن دانه و بعدازآن گلدهی ازجمله حساس‌ترین مراحل رشد کینوا به تنش خشکی بیان شد، درحالی‌که در مرحله قبل از ۱۲ برگی شدن تفاوتی بین تیمارهای کم‌آبیاری و آبیاری کامل مشاهده نشد. در این پژوهش، عملکرد کینوا بین ۱/۲ تا ۲ تن در هکتار در شرایط کم‌آبیاری و تنها با کاربرد نصف مقدار آب لازم برای آبیاری کامل به دست آمد (Geerts et al., 2008b).

[1] Water productivity

در شرایط اجرای مدیریت کم‌آبیاری، جهت کاهش خسارت ناشی از کاهش فراهمی آب می‌توان گزینه‌های مدیریتی دیگری مانند محلول‌پاشی گلایسین بتائین را اعمال نمود. این ترکیب ازجمله اسمولیت‌هایی است که در شرایط تنش خشکی موجب افزایش مقاومت گیاه می‌شود (Habib et al., 2012). این ماده موجب تعدیل فرآیند فتوسنتز و حفظ ساختار پروتئین‌ها می‌شود (Tian et al., 2017). تاکنون اثرات مثبت مصرف گلایسین بتائین بر بهبود رشد، عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاهان مختلفی مانند لوبیا چشم‌بلبلی (Manaf, 2016)، لوبیا سبز (Osman and Salim, 2016) و گندم (Aldesuquy et al., 2012; Tian et al., 2017) در شرایط تنش‌های محیطی مفید ارزیابی شده است.

گیاه کینوا در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور که با تنش‌های شوری و خشکی مواجه هستند می‌تواند گزینه مناسبی جهت معرفی به بوم‌نظام‌های زراعی باشد. بااین‌وجود، قبل از توسعه کاشت آن در اراضی زراعی بایستی امکان‌سنجی تولید این گیاه در نواحی مختلف و نیز نیازهای مختلف زراعیِ آن ازجمله نیاز آبیِ گیاه در پژوهش‌های علمی موردتحقیق قرار گیرد. بر این اساس، در پژوهش حاضر، ضمن ارزیابی میزان سازگاری این گیاه با شرایط اقلیمی استان خراسان جنوبی، پاسخ رشد و عملکرد آن در رژیم‌های مختلف کم-آبیاری تحت تأثیر مصرف خارجیِ گلایسین بتائین ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر رشد و عملکرد کینوا در شرایط اقلیمی شهرستان سرایان واقع در استان خراسان جنوبی در بهار و تابستان سال ۱۳۹۶ بررسی شد. برای این منظور آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی سرایان (وابسته به دانشگاه بیرجند) اجرا شد. آزمایش مذکور به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که در آن فاکتور اول رژیم‌های آبیاری (آبیاری پس از تبخیر ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر) و فاکتور دوم محلول-پاشی گلایسین بتائین [صفر (آب مقطر) و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر] بود. انتخاب رژیم‌های مختلف آبیاری بر مبنای بررسی منابع علمی مرتبط با گیاه کینوا (Geerts et al., 2008b; Talebnejad and Sepaskhah, 2015).

آبیاری پس از تبخیر ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به‌عنوان تیمار شاهد (عدم وجود تنش خشکی) و آبیاری پس از تبخیر ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به ترتیب به‌عنوان تیمارهای تنش ملایم و تنش شدید خشکی در نظر گرفته شدند. میزان تبخیر از تشتک تبخیر در محل اجرای آزمایش به‌طور متوسط در طی دوره اجرای پژوهش، حدود ۱۰ میلی‌متر در روز بود؛ بنابراین، فواصل آبیاری در تیمارهای تبخیر به میزان ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به ترتیب حدود ۷، ۱۴ و ۲۱ روز بود. میزان محلول مورداستفاده در هر یک از سطوح گلایسین بتائین حدود ۵۰۰ لیتر در هکتار بود؛ بنابراین، مقدار گلایسین بتائین مصرفی برای سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر معادل با ۷۵ گرم در هکتار در هر مرحله محلول‌پاشی بود. محلول‌پاشی گلایسین بتائین در سه نوبت در طی فصل رشد (از مرحله ۶ برگی با فواصل هر ده روز یک‌بار) صورت گرفت که به ترتیب در حدود ۳۰، ۴۰ و ۵۰ روز پس از کاشت اعمال گردید.

اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. پس از آماده‌سازی زمین، کاشت گیاه در نیمه اردیبهشت‌ماه با استفاده از رقم Titicaca در کرت‌هایی به مساحت سه مترمربع، با فواصل بین و روی ردیف به ترتیب ۵۰ و ۱۰ سانتی‌متر (تراکم ۲۰ بوته در مترمربع) انجام شد. تراکم مدنظر پس از انجام عملیات تنک در مرحله ۴ برگی حاصل شد. با توجه به اینکه در زمان اجرای تحقیق، پژوهش حاضر اولین پژوهش در خصوص کینوا در استان خراسان جنوبی بود، تراکم مطلوب این گیاه در شرایط اقلیمی محل اجرای طرح برای محققین چندان روشن نبود، ولی در آزمایش‌های بعدی بسته به رقم و تاریخ کاشت، تراکم ۶۰ بوته برای رقم تی‌تی‌کاکا (Samadzadeh et al., 2020) و تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع برای رقم NSRCQ1 (Mostafaei et al., 2018) در شرایط اقلیمی بیرجند برای این گیاه مناسب دانسته شد. ذکر این نکته نیز ضروری است که خسارت آفت برگ‌خوار از دلایل دیگر کاهش تراکم بوته در این آزمایش بود که کنترل آن (سم‌پاشی با استفاده از سم فن‌والریت با غلظت ۱/۵ در هزار) دیرهنگام صورت گرفت و چندان مؤثر واقع نشد. میزان خسارت این آفت در کرت‌های مختلف، مشابه بود و بنابراین تفاوتی در مقایسات بین تیمارها ایجاد نکرد. برای تأمین نیاز غذایی گیاه قبل از کاشت مقدار ۲۰ تن در هکتار کود دامی در تمامی کرت‌ها به‌طور یکنواخت

مصرف شد و برای مدیریت علف‌های هرز نیز یک‌مرتبه در مرحله ورود به فاز گلدهی از وجین دستی استفاده شد. اعمال تیمارهای کم‌آبیاری از مرحله چهار برگی شروع شد و تا پایان فصل رشد ادامه داشت. آبیاری به‌صورت شیاری و با استفاده از سیفون صورت گرفت. میزان آب مصرفی در هر نوبت آبیاری حدود ۵۰۰ مترمکعب در هکتار تعیین شد.

جدول ۱. داده‌های هواشناسی منطقه آزمایش در طول دوره رشد کینوا

Table 1. Monthly rainfall and temperature during quinoa growing season

	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October
متوسط رطوبت نسبی Average relative humidity (%)	37.22	38.56	18.19	18.19	17.91	16.14	12.5
مجموع بارندگی Total rainfall (mm)	42.2	24.71	0	0	0	0	0.01
حداکثر دما Max. temperature (ºC)	24.95	27.31	35.49	35.49	36.87	33.93	26.07
حداقل دما Min. temperature (ºC)	12.1	14.92	20.89	20.89	22.33	17.12	11.18

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Soil physical and chemical characteristics of experimental site

بافت خاک Soil texture	سیلت Silt	رس Clay	شن Sand	هدایت الکتریکی EC	واکنش خاک pH	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل دسترس P_{ava}	پتاسیم K_{ava}	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn
		%		dS m^{-1}		---------%---------		---------ppm------		----------mg.kg^{-1}--------		
Sandy Loam	31.6	15.4	54	2.56	7.85	0.38	0.032	10.6	248	3.8	3.1	0.42

سدیم Na	مس Cu	بور B	کلسیم Ca	منیزیم Mg	نسبت جذب سدیم SAR	سولفات So_4	کلر Cl	کربنات CO_3	بی‌کربنات HCO_3	آهک $CaCo_3$	گچ $CaSo_4$	TDS
meq.l^{-1}	---mg.kg^{-1}---		------meq.l^{-1}-----			----------meq.l^{-1}----------				---------%------		
13.5	0.35	0.49	7	3.8	5.5	10.8	7.5	0	6.2	19.5	-	1638

حدود دو ماه پس از آغاز رشد گیاه (اواسط رشد زایشی گیاه در نیمه تیرماه) شاخص کلروفیل (SPAD) در هر کرت به‌طور جداگانه موردسنجش قرار گرفت. این شاخص حدود پنج روز پس از آبیاری در ۲۰ برگ تصادفی (از یک‌سوم بالایی گیاه که جزو جدیدترین برگ‌های توسعه یافته بودند) از بوته‌های کرت تعیین و سپس میانگین‌گیری شد. در پایان فصل رشد (حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت) از هر کرت پنج بوته به‌طور تصادفی برداشت شد و صفات رویشی و زایشی مانند ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد پانیکول در هر بوته، طول پانیکول، متوسط وزن پانیکول و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. سایر بوته‌های باقی‌مانده در هر کرت (مساحت دو مترمربع) برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و نیز محاسبه شاخص برداشت گیاه مورداستفاده قرار گرفتند.

تجزیه‌وتحلیل نتایج آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ صورت گرفته و مقایسه میانگین‌های نیز به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل و رشد رویشی

اثر متقابل رژیم آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر شاخص کلروفیل معنی‌دار بود (جدول ۳). مصرف گلایسین بتائین در سطح تنش ملایم خشکی باعث افزایش شاخص کلروفیل شد (شکل ۱). این موضوع با یافته‌های کدخدایی و همکاران (Kadkhodaie et al., 2014) در گیاه کلزا همخوانی دارد. احتمال داده می‌شود که گلایسین بتائین موجب افزایش داخلی پیش‌ماده کولین در برگ شده و از تخریب کلروفیل و

فعالیت آنزیم کلروفیلاز ممانعت می‌کند که پیامد آن افزایش محتوای کلروفیل گیاه است (Miri and Zamani-Moghaddam, 2015). بین رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط عدم مصرف گلایسین بتائین تفاوت معنی‌داری ازنظر شاخص کلروفیل وجود نداشت ولی مصرف این ترکیب باعث شد در سطح تنش خشکی ملایم حداکثر میزان این شاخص به‌دست آید که به ترتیب ۱۰۵ و ۱۳۱ درصد بیشتر از سطوح عدم تنش و تنش شدید خشکی در شرایط مصرف گلایسین بتائین بود (شکل ۱). کاهش کلروفیل برگ کینوا در تنش شدید (تخلیه رطوبتی ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با سطوح تنش خشکی کم و متوسط (تخلیه رطوبتی ۴۰ و ۶۵ درصد ظرفیت زراعی) توسط شیرین‌نژاد و همکاران (Shirinnezhad et al., 2019) نیز گزارش شده است.

جدول ۳. میانگین مربعات مربوط به اثر رژیم آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر رشد رویشی، عملکرد و اجزاء عملکرد کینوا

Table 3. Mean squares of irrigation management and glycine betaine (GB) on vegetative growth parameters, yield and yield components of quinoa.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص کلروفیل SPAD	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک بوته Plant dry weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	تعداد پانیکول در گیاه Number of panicle per plant	طول پانیکول Panicle length
تکرار Replication	2	13.58^{ns}	11.80^{ns}	20.32^{ns}	37222.2^{ns}	22.98^{ns}	6.62^{ns}
آبیاری Irrigation	2	170.12**	57.42^{ns}	26.55^{ns}	440555.5**	3.78^{ns}	3.73^{ns}
گلایسین بتائین GB	1	14.94^{ns}	1.92^{ns}	340.43**	760555.5**	194.04**	0.70^{ns}
آبیاری × گلایسین Ir × GB	2	259.67**	18.37^{ns}	57.71^{ns}	243887.8**	145.44**	10.95^{ns}
خطا Error	10	7.71	25.25	15.75	16555.5	22.80	4.35
C.V (%)	-	*11.85*	*6.97*	*17.89*	*7.12*	*13.62*	*18.95*

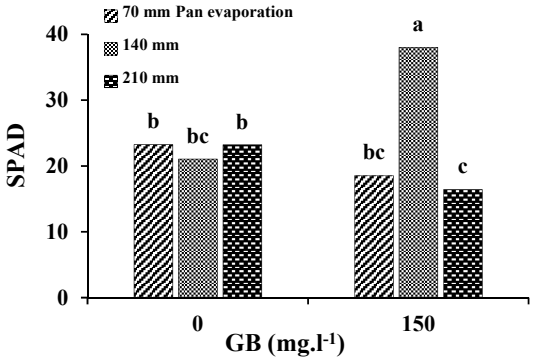
جدول ۳. ادامه

Table 3. Contionued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک پانیکول panicle dry weight	تعداد خوشه‌چه در پانیکول Number of sub-cluster per panicle	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	0.095^{ns}	1.81^{ns}	0.048^{ns}	384.0^{ns}	7.29^{ns}
آبیاری Irrigation	2	0.058^{ns}	8.39*	0.093^{ns}	1088.4**	19.53*
گلایسین بتائین GB	1	0.116*	1.24^{ns}	0.080^{ns}	33912.7**	225.42**
آبیاری × گلایسین Ir × GB	2	0.035^{ns}	6.19^{ns}	0.738**	8587.8**	44.35**
خطا Error	10	0.025	1.83	0.028	138.2	2.78
C.V (%)	-	*23.45*	*9.78*	*7.91*	*6.28*	*14.90*

ns: عدم معنی‌داری و * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: no-significant, * and ** significant at 5 and 1% levels of probability.

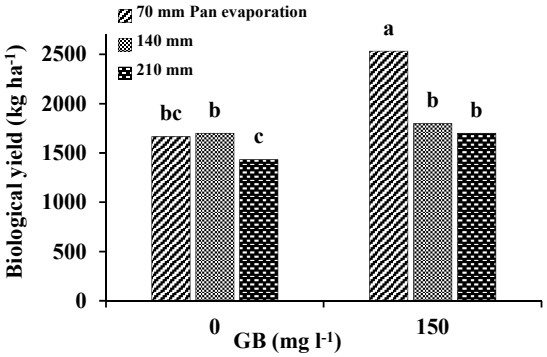


شکل ۱. اثر رژیم آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر شاخص کلروفیل در کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 1. Effect of irrigation management and glycine betaine spraying on chlorophyll index (SPAD) in quinoa. Means followed by at least one similar letter have no significant difference at 5% level of probability

اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی (رژیم آبیاری و مصرف گلایسین‌بتائین) بر وزن خشک تک بوته معنی‌دار نبود، ولی اثر ساده گلایسین بتائین بر این صفت معنی‌دار بود. ارتفاع بوته تحت تأثیر اثرات ساده و متقابل فاکتورهای موردمطالعه قرار نگرفت. همچنین، اثر متقابل عوامل آزمایشی بر صفت عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد (جدول ۳). وزن خشک تک بوته از کاهش میزان فراهمی آب اثر منفی نپذیرفت (جدول ۴). در تأیید این یافته‌ها بیرامی و همکاران (Beyrami et al., 2020) در تحقیقی مزرعه‌ای در استان یزد گزارش کردند که صفات رویشی کینوا ازجمله ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول پانیکول با افزایش فواصل آبیاری از ۳ به حدود ۱۰ روز افزایش و سپس با افزایش فواصل آبیاری به ۲۰ روز کاهش یافت، بااین‌وجود ارتفاع گیاه در دور آبیاری ۲۰ روز نیز بیشتر از ۳ و ۷ روز بود. کاهش رشد رویشی گیاه در شرایط مصرف آب به مقدار بیش از نیاز گیاه، به شستشوی عناصر غذایی از خاک نسبت داده شد. جمالی و همکاران (Jamali et al., 2019) نیز گزارش کردند که بین تأمین ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کینوا ازنظر سطح، طول و عرض برگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

آبیاری پس از تبخیر ۲۱۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر (تنش شدید) در مقایسه با تیمار عدم وجود تنش خشکی (آبیاری پس از تبخیر ۷۰ میلی‌متر از تشتک) در هر دو سطح مصرف گلایسین بتائین موجب کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک شد (شکل ۲). بر اساس این یافته انتظار می‌رود که وزن خشک تک بوته نیز در شرایط تنش شدید خشکی کاهش پیدا کند که این اتفاق رخ نداد (جدول ۴). این موضوع می‌تواند ناشی از خطای نمونه‌برداری باشد. با توجه به اینکه وزن خشک تک بوته در تعداد پنج بوته تعیین شد، ولی باقی‌مانده بوته‌های هر کرت به عملکرد بیولوژیک اختصاص داده شد، به نظر می‌رسد اطلاعات حاصل از عملکرد بیولوژیک به نحو دقیق‌تری بیان‌گر اثرات تیمارهای آزمایشی باشد.



شکل ۲. اثر رژیم آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر عملکرد بیولوژیک کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 2. Effect of irrigation management and glycine betaine spraying on quinoa biological yield. Means followed by at least one similar letter have no significant difference at 5% level of probability.

در پژوهشی بیشترین عملکرد بیولوژیک کینوا با حدود ۱۰ تن در هکتار از دور آبیاری ۲۰ روز به دست آمد که با دور آبیاری ۱۷ روز تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و از فواصل آبیاری ۳ تا ۱۴ روز بیشتر بود (Beyrami et al., 2020). در پژوهشی گلخانه‌ای در شرایط تأمین ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی کینوا در طی دوره رشد، ارتفاع بوته به ترتیب ۶۷/۹ و ۵۳ سانتی‌متر، تعداد شاخه جانبی در گیاه به ترتیب ۴/۵ و ۲ عدد و تعداد برگ در بوته به ترتیب ۹۳ و ۴۵ عدد گزارش شد (Jamali et al., 2020a). نتایج مشابهی نیز توسط بهداد (Behdad, 2021) در گیاه کینوا و در شرایط مزرعه‌ای گزارش شده است. ریزش برگ‌های کینوا که در شرایط تنش شدید خشکی رخ می‌دهد و از عوامل مهم مؤثر بر کاهش زیست‌توده گیاه است، به‌عنوان یک راهبرد اجتناب از تنش در گیاه تلقی می‌شود (Jacobsen and Jensen, 2003). مرحله‌ای که گیاه کینوا تحت تنش خشکی قرار می‌گیرد نیز

بر شدت کاهش وزن زیست‌توده گیاه اثرگذار است، به‌نحوی‌که اعمال تنش خشکی در مراحل پس از دانه بستن بر صفاتی مانند ارتفاع، ابعاد برگ و تعداد شاخه جانبی دارای اثر منفی نیست (Jamali et al., 2020a).

وزن خشک تک بوته از اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی اثر نپذیرفت، ولی اثر ساده مصرف گلایسین‌بتائین بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج حاصل از اثرات ساده، محلول‌پاشی گلایسین بتائین وزن خشک تک بوته را ۴۸/۸ درصد افزایش داد (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین مربوط به اثرات ساده رژیم آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر رشد رویشی کینوا

Table 2. Mean comparison of irrigation management and glycine betaine (GB) on vegetative growth of quinoa

		ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک هر بوته Plant dry weight
		cm	$g.pl^{-1}$
رژیم آبیاری	70	73.21[a]	20.27[a]
(میلی‌متر تبخیر از تشتک)	140	74.35[a]	24.43[a]
Irrigation management	210	68.51[a]	21.81[a]
(mm evaporation from pan)	LSD	*6.46*	*5.10*
محلول‌پاشی گلایسین بتائین	0	71.70[a]	17.82[b]
(میلی‌گرم بر لیتر)	150	72.35[a]	26.52[a]
GB application ($mg.l^{-1}$)	LSD	*5.27*	*4.16*

در هر ستون و برای هر تیمار میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌داری ندارند.

In each column and for each factor, means followed by at least one similar letter have no significant difference at 5% level of probability.

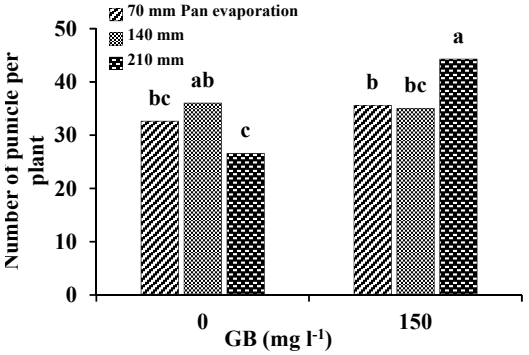
همچنین بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در تیمار مصرف گلایسین بتائین و عدم وجود تنش خشکی به دست آمد. مصرف گلایسین بتائین در سطوح عدم وجود تنش، تنش خشکی ملایم و تنش شدید باعث شد تا عملکرد بیولوژیک به ترتیب به میزان ۵۲، ۵/۹ و ۱۸/۶ درصد در مقایسه با شرایط عدم مصرف این ترکیب بهبود پیدا کند (شکل ۲). افزایش وزن گیاه در شرایط مصرف گلایسین بتائین به دلیل افزایش تنظیم اسمزی در گیاه است و درنتیجه با افزایش جذب آب توسط گیاه آماس سلول‌ها بیشتر شده و اندازه سلول‌ها و سرعت تقسیم آن‌ها افزایش پیدا می‌کند. افزایش محتوای آبی گیاه در شرایط مصرف گلایسین بتائین همچنین به بهبود فرآیند فتوسنتز کمک کرده و پیامد آن افزایش وزن اندام‌های مختلف گیاه است (Kadkhodaie et al., 2014).

رشد زایشی

تعداد پانیکول در گیاه از برهم‌کنش رژیم آبیاری در کاربرد گلایسین بتائین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت (جدول ۳). درمجموع سه رژیم آبیاری، محلول‌پاشی گلایسین بتائین باعث افزایش ۲۰/۷ درصدی تعداد پانیکول در هر گیاه شد. میزان افزایش تعداد پانیکول در سطح تنش خشکی شدید در شرایط مصرف گلایسین بتائین به‌مراتب بیشتر بود، به‌طوری‌که مصرف این ترکیب در این رژیم آبیاری (تبخیر ۲۱۰ میلی‌متر از تشتک) صفت مذکور را ۶۶/۴ درصد افزایش داد (شکل ۳). اثر ساده مصرف گلایسین بتائین بر وزن خشک پانیکول و اثر ساده آبیاری بر صفت تعداد خوشه‌چه در پانیکول معنی‌دار بود (جدول ۳). وزن خشک پانیکول در شرایط مصرف گلایسین بتائین در مقایسه با عدم مصرف این ترکیب به میزان ۲۶/۶ درصد افزایش پیدا کرد (جدول ۵). اثرات مثبت مصرف گلایسین بتائین بر بهبود رشد، عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاهان دیگری مانند لوبیا چشم‌بلبلی (Manaf, 2016)، کارلا (Momordica charantia)(Rezaei Alulu et al., 2020) و گندم (Aldesuquy et al., 2012; Tian et al., 2017) به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی مفید ارزیابی شده است. مصرف خارجی گلایسین بتائین تولید برخی ترکیبات مانند پرولین را در گیاه تسهیل کرده و مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی را بهبود می‌بخشد. کاربرد برگی این ترکیب و جذب سلولی آن موجب می‌شود که مسیر سنتز آمینواسیدها به‌جای سنتز

گلایسین بتائین به سمت تولید پرولین و دیگر آمینواسیدها حرکت کند (Rezaei Alulu et al., 2020). نقش گلایسین بتائین در حفظ و تنظیم اسمزی، حفظ تمامیت غشای پلاسمایی و حفظ ساختمان چهارم پروتئین از طریق افزایش تجمع کلروفیل‌ها و جذب دی‌اکسید کربن و تسهیل انتقال الکترون و محافظت از فعالیت پروتئین‌ها و چربی غشای تیلاکوئیدی در فتوسیستم دو، خصوصاً در شرایط تنش خشکی موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Miri and Zamani-Moghaddam, 2015).

ازنظر صفت تعداد خوشه‌چه در هر پانیکول بین سطوح عدم تنش و تنش ملایم خشکی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی تنش شدید خشکی مقدار این صفت را نسبت به سطح ماقبل ۱۷/۳ درصد کاهش داد (جدول ۵). بااین‌وجود، اعمال تنش شدید خشکی مشابه با نتایج بیرامی و همکاران (Beyrami et al., 2020) موجب کاهش برخی دیگر از صفات متعلق به رشد زایشی کینوا شامل طول و وزن خشک پانیکول نشد (جدول ۵). اثر متقابل کاربرد گلایسین بتائین و رژیم آبیاری بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان وزن هزار دانه در سطح میانی آبیاری (آبیاری پس از تبخیر ۱۴۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر) همراه با مصرف گلایسین بتائین به دست آمد که در مقایسه با سطح متناظر فراهمی آب و عدم مصرف گلایسین بتائین ۵۳/۱ درصد افزایش نشان داد. مصرف گلایسین بتائین در دو رژیم دیگر آبیاری اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت (شکل ۴).



شکل ۳. اثر رژیم آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر تعداد پانیکول در کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig 3. Effect irrigation management and glycine betaine spraying on number of panicle in quinoa. Means followed by at least one similar letter have no significant difference at 5% level of probability.

جدول ۵. مقایسه میانگین مربوط به اثرات ساده رژیم آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر رشد زایشی کینوا

Table 5. Mean comparison for simple effects of irrigation management and glycine betaine (GB) on reproductive growth of quinoa

		طول پانیکول Panicle length	وزن خشک پانیکول Panicle dry weight	تعداد خوشه‌چه در پانیکول Number of sub-cluster per panicle
		cm	g	No.
رژیم آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک) Irrigation management (mm evaporation from pan)	70	10.18[a]	0.71a	14.39[a]
	140	11.09[a]	0.76[a]	14.64[a]
	210	11.75[a]	0.57[a]	12.48[b]
	LSD	*2.68*	*0.20*	*1.74*
محلول‌پاشی گلایسین بتائین (میلی‌گرم بر لیتر) GB application (mg l-1)	0	10.81[a]	0.60[b]	14.10[a]
	150	11.21[a]	0.76[a]	13.57[a]
	LSD	*2.19*	*0.16*	*1.42*

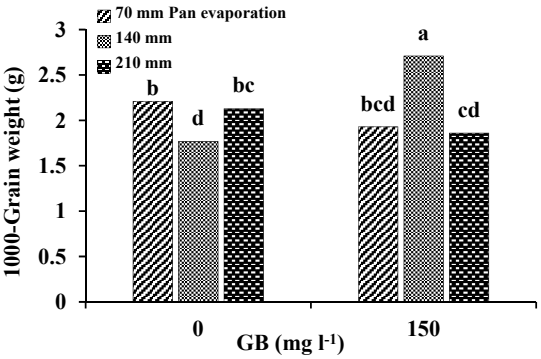
در هر ستون و برای هر فاکتور میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت آماری معنی‌داری ندارند.

In each column and for each factor, means followed by at least one similar letter have no significant difference at 5% level of probability

بهداد (Behdad, 2021) در پژوهشی در شرایط اقلیمی بیرجند گزارش کرد که با افزایش میزان فراهمی آب برای کینوا از ۵۰ به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در طی فصل رشد تعداد پانیکول در بوته از حدود ۸ به ۱۵، تعداد دانه در پانیکول از حدود ۴۰ به ۱۴۰ و وزن هزار دانه از حدود ۱ به ۱/۸ گرم افزایش پیدا کرد. نتایج جمالی و همکاران نیز نشان داد (Jamali et al., 2020a) که وزن هزار دانه کینوا در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه ۳/۹۹ گرم و در شرایط تأمین

۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در کل فصل رشد ۲/۹۳ گرم بود. این مقادیر برای تیمارهای تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی در مراحل رشد رویشی، گلدهی و دانه بستن به ترتیب ۳/۲۳، ۳/۶۳ و ۳/۸۱ گرم تعیین شد.

بیرامی و همکاران (Beyrami et al., 2020) وزن هزار دانه کینوا را در فواصل آبیاری ۳ و ۲۰ روز به ترتیب ۲/۷ و ۲/۱ گرم گزارش کردند و از حیث این شاخص بین دورهای آبیاری ۱۰ تا ۱۷ روز تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نکردند. در پژوهشی گلدانی کاهش آب مصرفی کینوا به میزان ۵۰ درصد با استفاده از روش آبیاری بخشیِ ریشه تنها باعث کاهش ۹/۹ درصد وزن هزار دانه و ۱۰/۲ درصد عملکرد دانه شد و از این حیث این گیاه جهت زراعت در مناطق خشک و کم‌آب مناسب تشخیص داده شد (Jamali et al., 2020b). کاهش سهم فتوسنتز جاری و تسریع در رسیدگی و کاهش طول دوره پر شدن دانه از عوامل مهم کاهش وزن دانه در شرایط کم‌آبی است (Behdad, 2021). بااین‌حال مصرف ترکیباتی مانند گلایسین بتائین می‌تواند با افزایش توان فتوسنتزی گیاه در شرایط تنش خشکی به بهبود وزن دانه کمک نماید (Miri and Zamani-Moghaddam, 2015).



شکل ۴. اثر رژیم آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر وزن هزار دانه کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

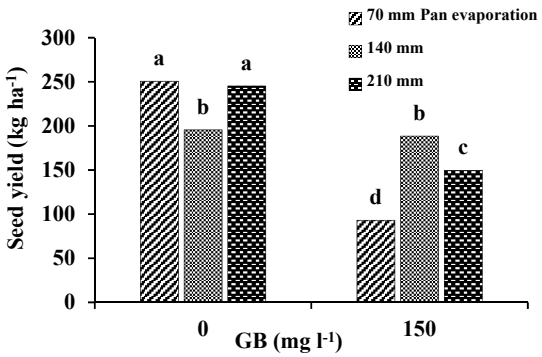
Fig. 4. Effect of irrigation intervals and glycine betaine spraying on 1000-grain weight in quinoa. Means followed by at least one similar letter have no significant difference at 5% level of probability

اثرات متقابل فاکتورهای آزمایشی (رژیم آبیاری و کاربرد گلایسین بتائین) بر عملکرد دانه و شاخص برداشت کینوا معنی‌دار بود (جدول ۳). میانگین اثرات سه رژیم آبیاری نشان داد که میزان عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری پس از تبخیر ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به ترتیب ۱۷۱، ۱۹۲ و ۱۹۷ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۵). پیامد این موضوع نیز افزایش شاخص برداشت در شرایط افزایش شدت تنش خشکی بود (شکل ۶). این موضوع با یافته‌های جمالی و همکاران (Jamali et al., 2019) همخوانی دارد. در تحقیقی در شرایط اقلیمی بیرجند در تاریخ کاشت ۲۰ اسفندماه و تراکم کاشت ۶۰ بوته در مترمربع، میزان عملکرد کینوا در سطوح رطوبتی ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۱۹۶۵، ۱۲۰۰ و ۳۵۷ کیلوگرم در هکتار و شاخص برداشت به ترتیب ۱۱/۷، ۱۰ و ۴/۴ درصد بود (Behdad, 2021). جمالی و همکاران (Jamali et al., 2020a) در تحقیقی گلدانی در شرایط گلخانه‌ای عملکرد کینوا در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و نیز تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره‌های رشد رویشی، گلدهی، دانه بستن و کل فصل رشد را به ترتیب ۲۱/۲، ۱۷/۱، ۱۸/۷، ۱۹/۶ و ۱۶/۷ گرم گزارش کردند. در پژوهشی مزرعه‌ای در یزد و در شرایط آبیاری با آب‌شور (هدایت الکتریکی ۱۰ دسی زیمنس بر متر) در تاریخ کاشت اول اسفند و تراکم حدود ۱۰۰ بوته در مترمربع، میزان عملکرد دانه کینوا در دورهای آبیاری ۳، ۷، ۱۰، ۱۴، ۱۷ و ۲۰ روز به ترتیب حدود ۳/۲، ۲/۹، ۲/۸، ۲/۵، ۲/۳ و ۱/۷ تن در هکتار بود. در پژوهش مذکور مصرف ۴۳۵۰ مترمکعب آب با فواصل ۱۴ روز با استفاده از روش آبیاری با تیپ برای کینوا مناسب ارزیابی شد (Beyrami et al., 2020).

درمجموع، به نظر می‌رسد که کینوا تحمل مناسبی به تنش خشکی دارد و در این خصوص از مکانیسم‌های مختلف مقاومت به خشکی[۲] شامل فرار از خشکی[۳] (بلوغ زودهنگام)، تحمل تنش خشکی[۴] (انعطاف‌پذیری رشد، ارتجاع بافت‌ها و پتانسیل اسمزی کم[۵]) و اجتناب از تنش[۶] (سیستم ریشه‌ای عمیق و متراکم، رفتارهای روزنه‌ای، کاهش سطح برگ از طریق ریزش برگ‌ها، داشتن غدد وزیکولی[۷] و نیز سلول‌های کوچک با دیواره‌های ضخیم با امکان از دست دادن آب بدون

[2] Drought resistance
[3] Escape
[4] Tolerance
[5] Growth plasticity, tissue elasticity, and low osmotic potential.
[6] Avoidance
[7] Special vesicular glands

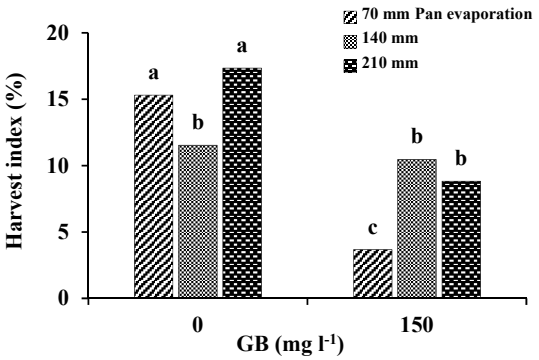
کاهش فشار تورگر) استفاده می‌کند (Jacobsen and Jensen, 2003). پایین بودن عملکرد دانه کینوا در آزمایش کنونی در مقایسه با آزمایش‌های مشابه (Beyrami et al., 2020; Behdad, 2021) ناشی از پایین بودن تراکم کاشت و نیز تاریخ کاشت نامناسب (اواسط اردیبهشت) است. این موضوع توسط صمدزاده و همکاران (Samadzadeh et al., 2020) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. آن‌ها بیان کردند که در شرایط اقلیمی بیرجند میزان عملکرد دانه در تراکم‌ها و تاریخ‌های مختلف کاشت از ۱۵ اردیبهشت تا ۱۵ تیر بین ۲۵ تا ۳۸۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود و این موضوع را به دمای بالای هوا در طی دوره گرده‌افشانی نسبت دادند. کینوا در دوره رشد زایشی، به دمای بالاتر از ۲۵ درجه و کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد حساس است و دمای خارج از این محدوده به‌شدت باعث کاهش عملکرد می‌شود (Salehi and Dehghani, 2017).



شکل ۵. اثر رژیم آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر عملکرد دانه در گیاه کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Fig 5. Effect of irrigation intervals and glycine betaine spraying on quinoa seed yield. Means followed by at least one similar letter have no significant difference at 5% level of probability

مصرف گلایسین بتائین باوجوداینکه موجب بهبود برخی صفات زایشیِ اندازه‌گیری شده (تعداد پانیکول در گیاه و وزن هزار دانه) گردید، ولی کاهش عملکرد دانه و شاخص برداشت را در پی داشت (شکل ۵). بیشترین میزان عملکرد دانه در سطح عدم مصرف گلایسین بتائین و عدم وجود تنش خشکی به دست آمد که البته با تیمار تنش شدید خشکی تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۵). در آزمایش کنونی صفت تعداد دانه در هر پانیکول اندازه‌گیری نشد و با توجه به وابستگی عملکرد به اجزای عملکرد تنها دلیل احتمالی کاهش عملکرد با توجه به بهبود اجزای عملکرد اندازه‌گیری شده در این آزمایش، کاهش تعداد دانه در هر پانیکول است. یکی از مراحل محلول‌پاشی در این آزمایش در طی دوره رشد زایشی گیاه انجام شد و این احتمال وجود دارد که این موضوع موجب اختلال در فرآیند تلقیح و تشکیل دانه شده باشد. صحت این فرضیه بایستی در آزمایش‌های آتی موردبررسی قرار گیرد. بیشترین میزان شاخص برداشت در تیمار تنش خشکی شدید و عدم مصرف گلایسین بتائین حاصل شد (شکل ۶).



شکل ۶. اثر رژیم آبیاری و مصرف گلایسین بتائین بر شاخص برداشت در گیاه کینوا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig 6. Effect of irrigation intervals and glycine betaine spraying on quinoa harvest index. Means followed by at least one similar letter have no significant difference at 5% level of probability.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد گیاه کینوا سازگاری قابل‌توجهی به تنش خشکی دارد، به‌طوری‌که در شرایط آبیاری پس از تبخیر ۲۱۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر (معادل با فواصل آبیاری حدود ۲۱ روز در طی فصل رشد) نیز رشد رویشی بسیار مناسبی داشت و از عملکرد دانه آن نیز در مقایسه با سطوح بیشتر فراهمی آب کاسته نشد. همچنین مصرف خارجی گلایسین بتائین موجب بهبود رشد رویشی و بیشتر شاخص‌های مربوط به رشد زایشی کینوا شد، ولی بر بهبود عملکرد دانه مؤثر نبود. بر این اساس، بایستی در مطالعات آتی به دلایل این رخداد به‌خصوص به موضوع احتمالی کاهش تلقیح گل‌ها در شرایط مصرف این ترکیب پرداخته شود. همچنین، انجام تحقیقاتی در خصوص سایر ارقام کینوا، سایر تاریخ‌های

کاشت و نیز محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین در سایر غلظت‌ها و زمان‌ها می‌تواند نتایج آزمایش کنونی را تکمیل نماید.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۱۳۹۷/د/۲۰۱۲۳ مورخ ۹۷/۹/۲۶ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Abugoch, L., Castro, E., Tapia, C., Añón, M.C., Gajardo, P., Villarroel, A., 2009. Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa*. Willd.) during storage. International Journal of Food Science & Technology. 44, 2013-2020.

Akbari Nodehi, A., 2011. The effect of different water quantities on yield, water use efficiency and cotton yield function in Mazandaran province, Iran. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 21, 103-11. [In Persian with English Summary].

Aldesuquy, H.S., Abbas, M.A., Abo-Hamed, S.A., Elhakem, A.H., Alsokari, S.S., 2012. Glycine betaine and salicylic acid induced modification in productivity of two different cultivars of wheat grown under water stress. Journal of Stress Physiology and Biochemistry. 8, 72-89

Behdad, M., 2021. Effect of deficit irrigation and application of diatomite on growth and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Birjand region. M.Sc Thesis. University of Birjand. 139p. [In Persian with English Summary].

Beyrami, H., Rahimian, M.H., Salehi, M., Yazdani Biouki, R., Shiran-Tafti, M., Nikkhah, M., 2020. Effect of irrigation frequency on yield and yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline condition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 30, 447-357. [In Persian with English Summary].

Dabhi, R., Bhatt, N., Pandit, B., 2013. Superabsorbent polymers- an innovative water saving technique for optimizing crop yield. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2, 5333-5340.

Fallahi, H.R., Taherpour Kalantari, R., Aghhavani-Shajari, M., Soltanzadeh, M., 2015. Effect of super absorbent polymer and irrigation deficit on water use efficiency, growth and yield of Cotton. Notulae Scientia Biologicae. 7, 338-344.

Fereres, E., Soriano, M.A., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany. 58, 147-159.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Mendoza, J., Huanca, R., 2008a. Crop water use indicators to quantify the flexible phenology of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to drought stress. Field Crops Research. 108, 150-156.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., Taboada, C., 2008b. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). European Journal of Agronomy. 28, 427-436.

Habib, N., Ashraf, M., Ali, Q., Perveen, R., 2012. Response of salt stressed okra (*Abelmoschus esculentus* Moench) plants to foliar-applied glycine betaine and glycine betaine containing sugarbeet extract. South African Journal of Botany. 83, 151-158.

Jacobsen, S.E., Mujica, A., Jensen, C.R., 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. Food Reviews International. 19, 99–109.

Jamali, S., Shaifan, H., Sajadi, F., 2019. The effect of different seawater and deficit irrigation regimes on leaf properties of quinoa. Water and Irrigation Management. 8, 177-191. [In Persian with English Summary].

Jamali, S., Goldani, M., Zeynodin, S.M., 2020a. Evaluation the effects of periodic water stress on yield, yield components and water productivity on Quinoa. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 13, 1687-1697 [In Persian with English Summary].

Jamali, S., Ansari, H., Zeynodin, S.M., 2020b. The effects of partial root zone drying and growing bed on yield and its components of quinoa (cv. Titicaca). Journal of Water and

Soil. 34, 1-10. [In Persian with English Summary].

Kadkhodaie, H., Sodaeizadeh, H., Mosleh Arani, A., 2014. The effects of exogenous application of glycine betain on growth and some physiological characteristics of Brossica napus under drought stress in field condition. Desert Ecosystem Engeneering Journal. 3, 79-90. [In Persian with English Summary].

Karimi Kakhaki, M., Sepehri, A., 2010. Effect of deficit irrigation on water use efficiency and drought tolerance of new sunflower cultivars at reproductive stage. Journal of Water and Soil Science. 50, 163-176. [In Persian with English Summary].

Karimi, M., Esfahani, M., Bigluei, M.H., Rabiee, B., Kafi Ghasemi, A., 2010. Effect of deficit irrigation treatments on morphological traits and growth indices of corn forage in the Rasht Climate. Journal of Crop Production. 2, 91-110. [In Persian with English Summary].

Manaf, H.H., 2016. Beneficial effects of exogenous selenium, glycine betaine and seaweed extract on salt stressed cowpea plant. Annals of Agricultural Science. 61, 41-48.

Miri, H.R., Zamani-Moghaddam, A., 2015. The effect of external usage of glycine betaine on corn (*Zea mays* L.) in drought condition. Iranian Journal of Field Crops Research. 12, 704-717. [In Persian with English Summary].

Mostafaei, M., Jami Al-Ahmadi, M., Salehi, M., Shahidi, A., 2018. Effect of different irrigation and density levels on functional properties of quinoa plant. 1st National Congress on the new Opportunities for Production and Employment in Agriculture Sector of Eastern Iran. 14 Feb, Birjand, Iran, pp: 153. [In Persian with English Summary].

Muscolo, A., Panuccio, M.R., Gioffre, A.M., Jacobsen, S.E., 2016. Drought and salinity differently affect growth and secondary metabolites of *Chenopodium quinoa* seedlings. In: Khan, M.A., Ozturk, M., Gul, B., Ahmed, M.Z. (eds.), Halophytes for Food Security in Dry Lands. Elsevier Inc. pp.259-275.

Osman, H.S., Salim, B.B.M., 2016. Influence of exogenous application of some phytoprotectants on growth, yield and pod quality of snap bean under NaCl salinity. Annals of Agricultural Science. 61, 1-13.

Ramezani Etedali, H., Nazari, B., Tavakoli, A., Parsinejad, M., 2009. Evaluation of CROPWAT model in deficit irrigation management of wheat and barley in Karaj. Journal of Water and Soil. 23, 119-129. [In Persian with English Summary].

Razavi, S.S., Davary, K., 2014. The role of virtual water in water resource management. Journal of Water and Sustainable Development. 1, 9-18. [In Persian with English Summary].

Razzaghi, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. Agricultural Water Management. 109, 20-29.

Rezaei Alulu, A., Kheiry, A., Sani Khani, M., Arghavan, M., 2020. Effect of salicylic acid and glycine betaine foliar application on morpho-physiological characteristics of carla (*Momordica charantia* L.) under water deficit stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 29, 223-235. [In Persian with English Summary].

Salehi, M., Dehghani, F., 2017. Quinoa: Pseudo-cereals suitable for saline water. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Amouzesh Keshavari Press. 32p. [In Persian].

Samadzadeh, A.R., Fallahi, H.R., Zamani, G.R., 2020. Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. Applied Field Crops Research. 33, 82-104. [In Persian with English Summary].

Shayannezhad, M., 2011. Effect of deficit irrigation on quantitative properties of winter wheat and determination of its optimum applied water in Shahrekord. Journal of Irrigation and Water Engineering. 2, 24-35. [In Persian with English Summary].

Shirinnezhad, R., Torabi, M., Mahmoudi, F., 2019. Evaluation of drought stress resistance of quinoa cultivars in the presence of salicylic acid on biochemical indices of quinoa. 2nd International conference on organic vs. Conventional Agriculture. 25-26 August, Ardabil, Iran [In Persian with English Summary].

Talebnejad, R., Sepaskhah, A.R., 2015. Effect of deficit irrigation and different saline groundwater depths on yield and water productivity of quinoa. Agricultural Water Management. 159, 225-238.

Tian, F., Wang, W., Liang, C., Wang, X., Wang, G., Wang, W., 2017. Overaccumulation of glycine betaine makes the function of the thylakoid membrane better in wheat under salt stress. The Crop Journal. 5, 73-82.

Zhang, H., 2003. Improving water productivity through deficit irrigation: Examples from Syria, the north China plain and Oregon, USA. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (eds.), Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. CAB International. pp. 301-309.