University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

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

Vol. 16, No. 2, pp. 403-418 (Summer 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4695.2056

Original article

Effect of planting date and irrigation deficiency on the physiological, biochemical, and yield component of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) in Mashhad

M. Tavakkol Afshari[1], A. Nezami[2*], M.J. Ahmadi-Lahijani[3*], J. Nabati[4], H.A. Karimzadeh Soureshjani[5]

1. MSc. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
4. Assistant Professor, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
5. PhD. of Crop Physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Received 19 September 2021; Accepted 17 January 2022

Extended abstract

Introduction

The proper planting date is known as one of the most important agronomic programs to achieve the optimal yield in crops through increasing adaption of plants to environmental conditions and improving resource use efficiency. The synchronization of growth stages with climatic parameters in terms of rainfall, temperature, and humidity is considered as the main consequence of proper planting dates. One of the most basic methods for improving water consumption patterns in the agriculture sector is the accurate management of cropping and breeding methods, so the implementation of policies to change the pattern of cultivation based on comparative advantage, efforts to reduce the level of crop cultivation requiring high water consumption and developing drought-resistant plants. In this regard, water scarcity is a well-known factor in reducing quinoa yield under arid and semi-arid areas, which can seriously affect crop profitability. Thus, the present study aimed to evaluate the different planting dates and irrigation rounds on physiological traits and growth yield and component yields of quinoa under Mashhad climate.

Materials and methods

The current study was conducted at the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, in 2020. The experiment was designed as a split-plot arrangement based on randomized complete block design with three replications: planting date (July 6th, July 23th, and August 6th) as main plots and water deficit regimes (7, 14, and 21-d intervals) as subplots. The experimental data were analyzed using SAS 9.4. The mean values were statistically compared according to the least significant difference (LSD) test at the level of 5%.

Results and discussion

According to the results, decreasing water availability significantly caused an increase in chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoid contents. Also, leaf osmotic potential at the planting date of August 6th significantly decreased up to 39%, compared with the planting date of July 6th. It seems that in the case

* Corresponding authors: Ahmad Nezami; E-Mail: nezami@um.ac.ir; Mohammad Javad Ahmadi-Lahijani, E-Mail: mjahmadi@um.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).

of increasing temperature, with increasing leaf osmotic potential, the plant resistance to environmental conditions would be improved. The content of soluble carbohydrates as well as the activity of ascorbate peroxidase and peroxidase enzymes were significantly affected by the interaction between planting date and irrigation. The highest amount of ascorbate peroxidase enzyme was observed in the 21-d irrigation cycle and planting date of August 6th. Ascorbate activity increased with increasing drought stress. The highest content of soluble carbohydrates was found on the date of planting on July 23th and the 14-d irrigation cycle. In addition, grain yield at the 21-d irrigation cycle decreased by 25% compared to the 7-d irrigation cycle. Moreover, the highest grain yield was obtained from the planting date of august 6th (544 $g.m^{-2}$). Water shortage during the root development stage is a limiting factor against the optimal yield of quinoa

Conclusion

Based on the results, a planting date on August 6th with a 14-d irrigation cycle can be recommended to achieve the desired yield of quinoa along with reducing water consumption in the Mashhad region.

***Keywords*:** Ascorbate, Leaf osmotic potential, Proline, Phenol, 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.2022.4695.2056

مقاله پژوهشی

اثر تاریخ کاشت و کم‌آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) در مشهد

مسیح توکل‌افشاری[۱]، احمد نظامی[۲*]، محمدجواد احمدی لاهیجانی[۳*]، جعفر نباتی[۴]، هدایت‌اله کریم‌زاده سورشجانی[۵]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. استادیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴. استادیار، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد
۵. دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
پرولین
فنل
کینوا
نیاز آبی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۱۰/۲۷

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۲
۱۶(۲): ۴۰۳-۴۱۸

چکیده

تأمین نیاز آبی گیاه همراه با انتخاب تاریخ کاشت مناسب از مهم‌ترین اقدامات زراعی جهت کسب عملکرد مطلوب در گیاهان زراعی است. به‌منظور بررسی تأثیر سطوح کم‌آبیاری و تاریخ کاشت بر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد کینوا، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. تاریخ کاشت (۱۶ تیر، ۲ مرداد و ۱۶ مرداد) و رژیم‌های کم‌آبیاری (دور آبیاری ۷، ۱۴ و ۲۱ روز) به ترتیب عامل اصلی و فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که با کاهش فراهمی آب، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها افزایش یافت. محتوای کربوهیدرات‌های محلول و فعالیت آنزیم-های آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری قرار گرفتند. بیشترین میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز در دور آبیاری ۲۱ روز و تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه مشاهده شد. در تاریخ کاشت ۲ مردادماه با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۲۱ روز، محتوای پرولین برگ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. با کاهش فراهمی آب، عملکرد بیولوژیک کاهش یافت، به‌طوری‌که، بیشترین عملکرد بیولوژیک در دور آبیاری ۷ روز مشاهده شد، البته تفاوت معنی‌داری با دور آبیاری ۱۴ روز نداشت. عملکرد دانه در شرایط دور آبیاری ۲۱ روز در مقایسه با دور آبیاری ۷ روز، ۲۵ درصد کاهش یافت. همچنین، بالاترین عملکرد دانه از تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه به دست آمد. بر اساس نتایج این پژوهش، تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه همراه با دور آبیاری ۱۴ روز جهت دستیابی به عملکرد مطلوب کینوا همراه با کاهش مصرف آب در شرایط آب و هوایی مشهد پیشنهاد می‌شود.

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* willd) گیاهی یک‌ساله و دولپه با ریشه‌هایی عمیق و ارتفاعی بین یک تا دو متر است (Jacobsen., 1998). ارقام کینوا دارای سازگاری بالایی به طیف گسترده‌ای از شرایط اقلیمی می‌باشند (Gonzalez et al., 1989). با توجه به اینکه دانه‌های کینوا سرشار از پروتئین هستند، این گیاه می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسبی برای برنج، در نظر گرفته شود (Ghanbarian et al., 2017; Saeidi et al., 2020). پروتئین موجود در کینوا از معدود پروتئین‌های غیرحیوانی بوده که از نظر کمی و کیفی بهتر از غلات است؛ به‌طوری‌که میزان پروتئین آن تا دو برابر گندم گزارش شده است (Jame and Roldan, 2004). همچنین، دانه کینوا حاوی ۱۴ تا ۲۰ درصد پروتئین و درصد بالایی از اسیدهای آمینه ضروری همانند لیزین و متیونین است (Risi., 1984). با وجود مقاومت نسبی گیاه کینوا به تنش-های محیطی مانند سرما، شوری و خشکی، کمبود آب از

* نگارندگان پاسخگو: احمد نظامی. پست الکترونیک: nezami@um.ac.ir
محمدجواد احمدی لاهیجانی. پست الکترونیک: mjahmadi@um.ac.ir

مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد این گیاه به شمار می‌رود (Mamedi., 2016).

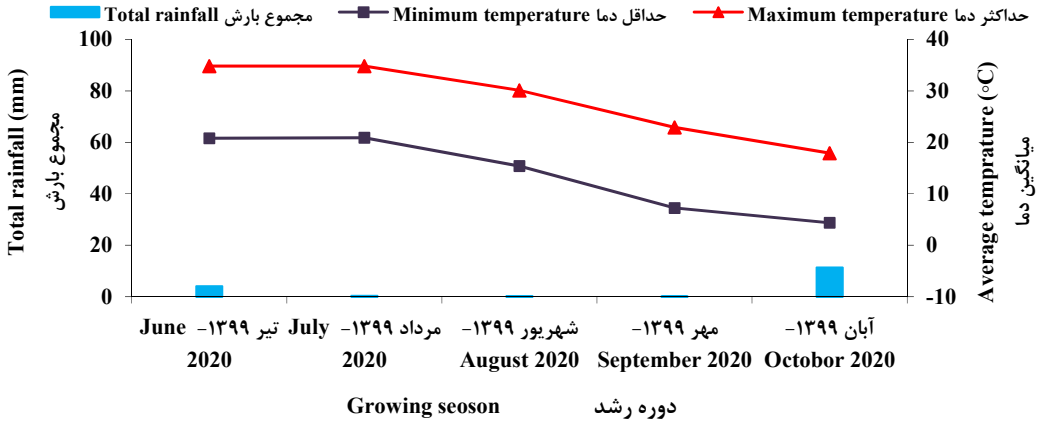
تاریخ کاشت مناسب از مهم‌ترین اقدامات زراعی جهت کسب عملکرد مطلوب در گیاهان زراعی است؛ چرا که در این شرایط، انطباق گیاهان با شرایط محیطی افزایش‌یافته و بهره‌برداری از منابع محیطی به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌یابد (Nouri et al., 2017). درواقع، هم‌زمانی مراحل رشدی با پارامترهای اقلیمی از نظر بارندگی، دما و رطوبت از مهم‌ترین فواید تاریخ کاشت مناسب است (Azizi et al., 2015). از طرفی، به دلیل آنکه بیشتر ژنوتیپ‌های کینوا حساس به طول روز هستند (Zlatev and Yordonov, 2004)، انتخاب دقیق تاریخ کاشت با تأثیر بر طول روز می‌تواند نقش مهمی در سازگاری گیاه به شرایط محیطی داشته باشد. چنین تأثیری موجب می‌شود که گیاه تا از شروع سرما و خشکی آخر فصل، چرخه زندگی خود را تکمیل کند (Yordanov et al., 2000)؛ بنابراین، تعیین تاریخ کاشت مناسب می‌تواند ضمن بهبود عملکرد، بهره‌وری بیشتر از آب را امکان‌پذیر کند.

از اساسی‌ترین روش‌های اصلاح الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی می‌توان به اجرای روش‌های به‌زراعی و به‌نژادی، اجرای سیاست‌های تغییر در الگوی کشت مبتنی بر مزیت نسبی، تلاش در جهت کاهش سطح کشت محصولات نیازمند مصرف آب زیاد و توسعه کاشت گیاهان مقاوم به خشکی اشاره نمود. در این راستا، توسعه کشت کینوا می‌تواند موردتوجه قرار گیرد (Sepahvand et al., 2015). محدودیت آب عامل اصلی کاهش عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده که می‌تواند تولید و سودآوری محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار دهد (Ahmadi-Lahijani and Emam, 2016; Nezami et al., 2008; Eslam., 2011). با کاهش مقدار آب قابل‌دسترس، گیاه دچار تنش خشکی شده که منجر به تأثیر نامطلوب بر صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک می‌شود (Ahmadi-Lahijani and Emam, 2013; Alinejadian Bidabadi., 2016). طبق مطالعه داشاب و امیدی (Dashab and Omidi, 2021)، افزایش تنش خشکی نقش مؤثری در کاهش رشد و عملکرد کینوا داشت. همچنین، جمالی و همکاران (Jamali et al., 2020) اظهار داشتند که تنش آبی ارتفاع، وزن هزار دانه و عملکرد کینوا را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. دیگر پژوهش‌ها نشان داده‌اند که سطح کمتر آبیاری موجب کاهش ارتفاع گیاه، سطح برگ و عملکرد دانه کینوا می‌شود (Razzaghi et al., 2011; Sun et al., 2014; Young et al., 2016)؛ بنابراین، تأمین نیاز آبی جهت دستیابی به عملکرد مناسب، همراه با کاهش مصرف آب در کشت کینوا ضروری به نظر می‌رسد.

با در نظر گرفتن پیامدهای سوء تنش خشکی و نیز محدودیت دسترسی به منابع آب، کم‌آبیاری ازجمله راهکارهایی است که جهت کاهش مصرف آب و سازگاری بهتر گیاه در مواجه با تنش خشکی در نظر گرفته شده است (Alinejadian et al., 2016). در شرایط کم‌آبیاری، به‌شرط عدم کاهش معنی‌دار عملکرد، مقدار آب کمتر از حد بهینه موردنیاز گیاه تأمین می‌شود (Fardad., 2011). انتخاب گیاه مناسب و تنظیم دور آبیاری از مهم‌ترین عواملی هستند که مدیریت و برنامه‌ریزی کم‌آبیاری مزارع را تعیین می‌کنند (Kakhaki and Sepehri, 2010). چنانچه میزان آب مصرفی زیاد و دور آبیاری کمتر از حد معمول باشند، تبخیر از سطح خاک افزایش یافته و راندمان مصرف آب نیز دچار کاهش می‌شود (Paknejad et al., 2009). گیاهانی که برای کم‌آبیاری انتخاب می‌شوند، می‌بایست مقاومت نسبی به تنش خشکی داشته باشند. گیاهان در مراحل مختلف رشد واکنش‌های متفاوتی به کم‌آبی دارند، بنابراین، لازم است با شناخت کامل رفتار گیاه به‌گونه‌ای که تأثیرات منفی به حداقل برسد، زمان آبیاری تنظیم شود. گیاهان دارای دوره رشد کوتاه، راندمان مصرف آب بالا و مقاوم به خشکی، از عملکرد بالاتری در شرایط کم‌آبیاری برخوردارند (Hammad et al., 2017)؛ بنابراین، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر کم‌آبیاری در تاریخ‌های متفاوت کاشت بر صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک و عملکرد گیاه کینوا اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. ویژگی‌های آب و هوایی منطقه موردمطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. با در نظر گرفتن تاریخ نسبی کاشت کینوا در اقلیم مشهد (دوم مردادماه)، سه زمان کاشت با فواصل ۱۵ روز زودتر و دیرتر (۱۶ تیرماه، ۲ مردادماه و ۱۶ مردادماه) و رژیم‌های کم‌آبیاری (دور آبیاری ۷ روز به‌عنوان شاهد، ۱۴ و ۲۱ روز)، به ترتیب، به‌عنوان عامل اصلی و فرعی تعیین شدند.



شکل ۱. ویژگی‌های آب و هوایی طی مراحل رشدی گیاه کینوا

Fig. 1. Climatic conditions during growth stages of quinoa

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1. Physiochemical characteristics of the experimental soil

رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total N	فسفر P	پتاسیم K	pH	هدایت الکتریکی EC
----------			%	----------	mg kg^{-1}			dS.m^{-1}
33	41	27	0.59	0.05	6.4	242	8.06	1.16

عملیات آماده‌سازی زمین در تیرماه ۱۳۹۹ (شامل شخم اولیه، دو مرحله دیسک، تسطیح زمین و ایجاد جوی و پشته با فواصل ۵۰ سانتی‌متر) انجام و سپس کرت‌هایی با ۴ متر طول و ۲/۵ متر عرض (شامل چهار ردیف) ایجاد شد. بین کرت‌ها و بلوک‌ها نیز به ترتیب یک و دو متر فاصله در نظر گرفته شد. قبل از کاشت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تعیین شد (جدول ۱). قبل از کشت کینوا (رقم تیتیکاکا، زودرس) جهت جبران کمبود ماده آلی خاک، اسید هیومیک (به میزان ۵ کیلو در هکتار به توصیه شرکت Plants choice) به خاک اضافه شد. عملیات کاشت با تراکم نهایی ۲۰ بوته در مترمربع (فاصله روی ردیف و بین ردیف به ترتیب ۱۰ و ۵۰ سانتی‌متر) انجام گرفت. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت و به‌منظور جلوگیری از خشک‌شدن خاک سطحی و تأثیر نامطلوب بر جوانه‌زنی و استقرار بوته‌ها، دومین آبیاری پس از سه روز مجدداً انجام شد. سپس تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، آبیاری برحسب تیمارهای آزمایش از طریق لوله‌های پلی‌اتیلن و تنظیم آب ورودی به هر کرت با استفاده از کنتور مولتی جت خشک (مدل KAYI MJD, R160, DN 15) جهت اعمال مقدار آب یکسان به تیمارها در هر نوبت آبیاری به اجرا در آمد. در اواسط دوره رشد هر یک از تیمارهای کاشت (قبل از گلدهی)، کود شیمیایی کامل (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) با توجه به نتایج تجزیه خاک همراه با آب آبیاری اعمال شد (Beyrami et al., 2020). در طی فصل رشد، علف‌های هرز به روش دستی وجین شدند.

با رعایت اثر حاشیه در مرحله گلدهی در هر تاریخ کاشت، با نمونه‌گیری از برگ‌های جوان و کاملاً توسعه‌یافته، صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شدند (Jahanbakhsh et al., 2020) (جدول ۲).

جدول ۲. تاریخ کاشت، استقرار، گلدهی و برداشت برحسب تیمارهای آزمایش در طی فصل رشد

Table 2. Date of planting, establishment, flowering and harvesting according to experimental treatments during the growing season

تاریخ برداشت harvest date		تاریخ گلدهی Flowering date		تاریخ استقرار Date of establishment		تاریخ کاشت planting date	
۲۸ مهرماه	Oct. 19th	۱۴ مردادماه	Aug. 14th	۳۱ تیرماه	July 21st	۱۶ تیرماه	July 6th
۲۹ آبان ماه	Nov. 19th	۳۰ مردادماه	Aug. 20th	۱۷ مردادماه	Aug. 7th	۲ مردادماه	July 23rd
۳۰ آبان ماه	Nov. 20th	۱۲ شهریور ماه	Sep. 2nd	۲۹ مردادماه	Aug. 19th	۱۶مردادماه	Aug. 6th

نمونه‌ها بلافاصله در نیتروژن مایع قرار گرفت و به فریزر ۷۰- درجه سانتی‌گراد منتقل و تا زمان اندازه‌گیری‌ها نگهداری شدند. جهت تعیین محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه برگ توزین و استخراج با اتانول ۹۶ درصد انجام گرفت و میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید با جذب در طول‌موج‌های ۶۶۴، ۶۴۸ و ۴۸۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/VIS-spectrophotometer Model SP-3000 Pulse) انجام گرفت (Dere et al.,1998). برای اندازه‌گیری محتوای فنل برگ، ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه برگ تازه با استفاده از هموژنایزر و میکروتیوب ۱/۵ میلی‌لیتری در اتانول (۹۶ درصد) همگن شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد (Singleton and Rashmi, 1965). جهت تعیین محتوای کربوهیدرات‌های محلول برگ، ۱۰۰ میلی‌گرم بافت برگی تازه با استفاده از الکل ۷۰ درصد همگن شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۸۰ نانومتر قرائت شد (Dubois et al., 1951). جهت اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید برگ، ۱۰۰ میلی‌گرم از برگ جوان توسعه‌یافته با ۱۰۰۰ میکرولیتر اسید تری کلرواستیک (TCA) ۰/۱ دارای ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید (TBAT) همگن شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم (۹۵ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت. سپس، بلافاصله در حمام یخ، سرد شده و در سرعت ۳۰۰۰ g به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب مایع رویی به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد (Heath and Packer, 1968). پس از استخراج عصاره محتوی پرولین بر اساس روش (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد. در این روش ۱۰۰ میلی‌گرم از برگ جوان کاملاً توسعه‌یافته با استفاده از اسید سولفوسالیسیلیک (C7H6O6S) سه درصد همگن و به مدت پنج دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از استخراج عصاره توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. اندازه‌گیری مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH از روش (Abe et al., 1998) استفاده شد. در این روش ۲۵ میکرولیتر از عصاره اتانولی (۱۰۰ میلی‌گرم بافت تازه برگی در ۱۰۰۰ میکرولیتر اتانول ۹۶ درصد) با ۶۷۵ میکرولیتر محلول DPPH (C18H12N5O6) محلول در اتانول ۰/۵ میلی‌مولار مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد سپس جذب محلول رویی در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (UV/VIS-spectrophotometer Model SP-3000 Pulse) قرائت شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز (EC 1.11.1.7) و آسکوربات پراکسیداز (EC 1.11.1.11) بر اساس روش (Srinivas et al., 1999) متعاقب شکل‌گیری تتراگایاکول با جذب در ۴۷۰ نانومتر و استفاده از ضریب خاموشی ۲۶/۶ میلی‌مولار برای محاسبه مقدار تتراگایاکول اندازه‌گیری شد.

جهت تعیین عملکرد دانه و بیولوژیک، هم‌زمان با زرد شدن برگ‌ها و سنبله‌ها و با رعایت اثر حاشیه‌ای، بوته‌ها از سطحی معادل یک مترمربع برداشت شدند و پس از دو هفته قرار گرفتن در هوای آزاد، بوجاری شده و توزین شدند. ابتدا سطح برگ بوته با دستگاه سطح برگ سنج (LAI-2000) اندازه‌گیری شد. پس از محاسبه عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت نیز محاسبه شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. میانگین‌ها برحسب آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و فنل‌ها

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تاریخ کاشت، کم‌آبیاری و برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل a داشت (جدول ۳). در تاریخ کاشت ۱۶ تیرماه و ۱۶ مردادماه با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۲۱ روز، محتوای کلروفیل a برگ به ترتیب ۴۶ و ۳۱ درصد افزایش یافت؛ درحالی‌که در تاریخ کاشت ۲ مردادماه، اگرچه محتوای کلروفیل a در دور آبیاری ۷ روز ۲۲ درصد بیشتر از دور آبیاری ۲۱ روز بود، اما تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). احتمال می‌رود که کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش ناشی از کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل است. دراین‌ارتباط، احمدی و سی‌وسه مرده (Ahmadi and Siosemardeh, 2004) مشاهده کردند که با افزایش شدت تنش خشکی، محتوای کلروفیل a با افزایش مواجه شد. طبق نتایج تجزیه واریانس، محتوای کلروفیل b برگ تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۳).

جدول ۳. منابع تغییرات، درجه آزادی و میانگین مربعات صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کینوا تحت تأثیر تاریخ کاشت و رژیم‌های کم‌آبیاری در شرایط مشهد در سال ۱۳۹۹.

Table 3. Analysis of variance (ANOVA) for some physiological and biochemical traits of quinoa effected by planting date and Water deficit regimes at Mashh in 2020

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل *a* Chlorophyll *a*	کلروفیل *b* Chlorophyll *b*	کاروتنوئیدها Carotenoids	فنل Phenol	کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates	پرولین Proline
بلوک Block (B)	2	0.005 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	699.6 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.12 ^{ns}
تاریخ کاشت Planting date (D)	2	0.022 **	0.0012 *	0.0018 *	3291.7 **	0.04 ^{ns}	2.38 **
خطا فرعی D × B	4	0.004	0.0001	0.0007	889.2	0.008	0.11
آبیاری Irrigation (I)	2	0.030 **	0.0008 *	0.0062 **	794.4 ^{ns}	0.03 ^{ns}	1.15 **
تاریخ کاشت×آبیاری D × I	4	0.037 **	0.0029 **	0.0034 **	296.9 ^{ns}	0.03 ^{ns}	1.12**
خطا Error	12	0.002	0.0002	0.0004	228.1	0.03	0.04
ضریب تغییرات CV (%)		*12.3*	*6.5*	*23.0*	*16.0*	*14.91*	*20.8*

:**تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد؛ *: تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد؛ :nsعدم تفاوت معنی دار.

*: Statistical differences at 5%; **: Statistical differences at 1%; ns: non-significant.

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde	مهار فعالیت رادیکال‌های آزاد DPPH†	آسکوربات Ascorbate	پراکسیداز Peroxidase
بلوک Block (B)	2	0.90 ^{ns}	0.003 ^{ns}	61.9 ^{ns}	0.004 ^{ns}
تاریخ کاشت Planting date (D)	2	1.33 ^{ns}	0.939 **	449.1 **	0.74 **
تاریخ کاشت در بلوک D × B	4	0.79	0.006	50.9	0.101
آبیاری Irrigation (I)	2	5.60 ^{ns}	0.133 **	714.7 **	0.018 ^{ns}
تاریخ کاشت × آبیاری D × I	4	8.08 ^{ns}	0.061 **	760.5 **	0.16 **
خطا Error	12	3.05	0.007	54.7	0.02
ضریب تغییرات CV (%)		*16.24*	*7.2*	*17.87*	*14.79*

**: تفاوت معنی دار در سطح یک درصد؛ *: تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد؛ ns: عدم تفاوت معنی دار

*: Statistical differences at 5%; **: Statistical differences at 1%; ns: non-significant. DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

در تاریخ کاشت ۱۶ تیرماه، با کاهش دور آبیاری از ۲۱ به ۷ روز، محتوای کلروفیل b، ۲۰ درصد کاهش داشت، درحالی‌که در تاریخ‌های کاشت دوم و ۱۶ مردادماه در شرایط مشابه، کلروفیل b به ترتیب ۱۵ و ۲۰ درصد افزایش داشت (جدول ۴). مشابه با کلروفیل a، افزایش محتوای کلروفیل b، به‌عنوان مکانیسمی جهت مقابله گیاه با تنش خشکی در نظر گرفته می‌شود. داشاب و امیدی (Dashab and Omidi, 2021) بیشترین محتوای کلروفیل a و b را در بالاترین سطح تنش خشکی مشاهده کردند. همچنین، در بین شاخص‌های موردمطالعه، تنها پراکسیداز تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل b داشت. به‌طوری‌که بین این دو شاخص همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۸). تحت تنش خشکی احتمال پیری و مرگ سلول‌ها و بافت‌های گیاه افزایش یافته و تجمع آنزیم پراکسیداز در تجزیه کلروفیل نقش

بسزایی را دارد. آنزیم پراکسیداز می‌تواند تجزیه کلروفیل را در حضور ترکیبات فنولیک افزایش دهد. در این پروسه پراکسیداز ترکیبات فنولیک را اکسید کرده که این اکسیداسیون توسط پراکسیدهیدروژن انجام‌شده و سبب تجمع رادیکال‌های آزاد فنوکسی خواهد شد. سپس این رادیکال‌های آزاد فنوکسی سبب اکسیدشدن کلروفیل و تجزیه و کاهش آن‌ها خواهد شد (Yamauchi et al., 2004). برهمکنش کم‌آبیاری و تاریخ کاشت بر غلظت کارتنوئیدهای برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). در تاریخ‌های کاشت ۱۶ تیرماه و ۱۶ مردادماه، با افزایش دور آبیاری به ۲۱ روز، غلظت کاروتنوئیدهای برگ به ترتیب حدود چهار و دو برابر نسبت به دور آبیاری ۷ روز افزایش یافت، درحالی‌که در تاریخ کاشت ۲ مردادماه در شرایط مشابه، غلظت کارتنوئیدها تحت تأثیر قرار نگرفت (جدول ۴).

همچنین، در شرایط دور آبیاری ۲۱ روز، بیشترین غلظت کاروتنوئید در تاریخ کاشت ۱۶ تیرماه مشاهده گردید. گیاهان در مواجه با شرایط پرتنش مکانیسم‌های سازگاری متنوعی را القا می‌کنند تا بتوانند تحمل‌پذیری مناسبی در شرایط نامساعد محیطی داشته باشند. طبق نتایج به‌دست‌آمده، احتمال می‌رود گیاه در مواجه با این تنش با افزایش غلظت این شاخص‌ها سازگاری خود را ارتقاء داده است؛ بنابراین، می‌توان افزایش محتوای کلروفیل را به‌عنوان یک راهکار مناسب در گیاه کینوا در نظر گرفت.

جدول ۴. برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کینوا تحت تأثیر برهم‌کنش تاریخ کاشت و رژیم‌های کم‌آبیاری

Table 5. Some physiological and biochemical traits of quinoa in relation to interaction between planting date and Water deficit regimes

تاریخ کاشت Planting date	رژیم‌های کم‌آبیاری water deficit regimes	کلروفیل *a* Chlorophyll *a*	کلروفیل *b* Chlorophyll *b*	کاروتنوئیدها Carotenoid	پرولین Proline	DPPH	آسکوربات Ascorbate	پراکسیداز Peroxidase
		----------mg.g^{-1} FW----------					------unit.ml^{-1}------	
۱۶ تیر July 6th	21 day	0.54 ^{a}	0.24 ^{ab}	0.13 ^{ab}	1.12 ^{bc}	0.83 ^{e}	10.56 ^{b}	1.77 ^{b}
	14 day	0.33 ^{bc}	0.19 ^{cd}	0.07 ^{def}	0.68 ^{de}	0.71 ^{e}	7.51 ^{b}	2.85 ^{a}
	7 day	0.29 ^{cd}	0.19 ^{cd}	0.03 ^{f}	1.03 ^{cd}	0.78 ^{e}	12.00 ^{b}	1.15 ^{bc}
۲ مرداد July 23th	21 day	0.31 ^{bcd}	0.19 ^{d}	0.08 ^{cde}	2.64 ^{a}	1.24 ^{bc}	7.41 ^{b}	1.06 ^{bcd}
	14 day	0.53 ^{a}	0.24 ^{a}	0.14 ^{a}	1.45 ^{b}	1.32 ^{b}	11.67 ^{b}	0.67 ^{cd}
	7 day	0.38 ^{b}	0.22 ^{bc}	0.09 ^{cd}	0.57 ^{e}	1.07 ^{d}	5.91 ^{b}	0.85 ^{cd}
۱۶ مرداد August 6th	21 day	0.35 ^{bc}	0.20 ^{cd}	0.11 ^{cd}	0.47 ^{e}	1.67 ^{a}	25.52 ^{a}	0.38 ^{d}
	14 day	0.36 ^{bc}	0.25 ^{a}	0.09 ^{bcd}	0.59 ^{e}	1.37 ^{b}	5.37 ^{b}	0.47 ^{cd}
	7 day	0.24 ^{d}	0.24 ^{a}	0.05 ^{ef}	0.54 ^{e}	1.17 ^{cd}	6.02 ^{b}	0.92 ^{cd}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند

In each column the means with similar letters are not significant based on the LSD test at 5% of probability.

با افزایش شدت تنش، میزان متابولیت‌های ثانویه در گیاه افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند به‌عنوان دیگر مکانیسم سازگاری در گیاه سبب افزایش غلظت کاروتنوئید شود. دیگر پژوهشگران با مشاهده افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید تحت تأثیر تنش خشکی در گونه‌های مرتعی، این افزایش را به‌شدت تنش خشکی و نوع گونه‌ها نسبت دادند (Maddah and Farhangian, 2011).

نتایج نشان داد که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر محتوای فنل برگ داشت (جدول ۳). محتوای فنل برگ در تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه در مقایسه با دو تاریخ کاشت دیگر افزایش ۳۹ درصدی داشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد که کاهش طول روز در تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه همراه با مواجه شدن مراحل رشدی گیاه با دماهای پایین‌تر، سبب افزایش غلظت فنل شده است. دراین‌ارتباط، کریمی و همکاران (Karami et al., 2017) نقش تاریخ کاشت بر تغییرات فنل برگ در گلرنگ را معنی‌دار ارزیابی کردند، به‌طوری‌که در کاشت بهاره، غلظت فنل بالاتر از کاشت تابستانه بود.

محتوای مالون دی‌آلدئید و کربوهیدرات محلول برگ

نتایج حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت، کم‌آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر کربوهیدرات‌های محلول و مالون دی-آلدئید برگ بود (جدول ۳). طبق این نتایج، ممکن است این صفات بیشتر در ارتباط با ویژگی‌ها ژنوتیپی این گیاه باشد و چندان تحت تأثیر عوامل محیطی و یا زراعی قرار نگیرد. مشابه با نتایج این آزمایش کیوان (Keyvan 2010) نیز عدم تأثیر تنش خشکی بر کربوهیدرات‌های محلول برگ را گزارش

کردند. در اثر تنش خشکی، ریشه‌های کینوا رشد سریع‌تر و انشعاب‌های خارجی فراوان‌تر و بلندتری تولید می‌کند که ظرفیت جستجوی آب را بهبود می‌بخشد. همچنین، تجمع پرولین و سایر متابولیت‌های ثانویه به تنظیم اسمزی و حفاظت از غشاهای سلولی و ماکرومولکول‌ها در این گیاه کمک می‌کند که نهایتاً می‌تواند منجر به عدم تأثیر معنی‌دار بر غشاهای سلولی، نشت الکترولیت‌ها و تولید مالون دی‌آلدئید شود. ریشه‌های این گیاه نیز با افزایش تولید آبسیزیک اسید که منجر به بسته شدن روزنه‌ها خواهد شد، موجب کاهش هدر رفت آب می‌گردد (Hinojosa et al., 2018).

جدول ۵. برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کینوا تحت تأثیر تاریخ کاشت

Table 6. Some physiological and biochemical traits of quinoa effected by planting date

تیمارهای آزمایش Experimental treatments		فنول Phenol	کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates	مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde
Planting date	تاریخ کاشت	----------mg.g^{-1} FW----------		nM.g^{-1} FW
July 6th	۱۶ تیرماه	83.3 b	0.290 a	121.5 a
July 23th	۲ مردادماه	83.3 b	0.452 a	107.2 a
August 6th	۱۶ مردادماه	116.4 a	0.311 a	127.3 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند

In each column the means with similar letters are not significant based on the LSD test at 5% of probability

پرولین برگ

اثرات ساده و متقابل تاریخ کاشت و کم‌آبیاری بر محتوای پرولین برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). در تاریخ کاشت ۱۶ تیرماه و ۱۶ مردادماه رژیم‌های آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان پرولین نداشتند؛ اما در تاریخ کاشت ۲ مردادماه با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۲۱ روز، محتوای پرولین برگ حدود ۴ برابر افزایش یافت (جدول ۴). پرولین دارای بالاترین همبستگی منفی با عملکرد دانه بود (جدول ۸). درواقع، تاریخ کاشت (ازجمله دما به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم مرتبط با تاریخ کاشت) با تأثیر بر غلظت پرولین می‌تواند بر محصول نهایی مؤثر باشد. دراین‌ارتباط جهانبخش و همکاران (Jahanbakhsh et al., 2020) اظهار داشتند که کشت کینوا در خردادماه از محتوای پرولین بیشتری نسبت به کاشت در ماه‌های فروردین و اردیبهشت برخوردار بود. پرولین جزو ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی به شمار می‌رود و تجمع آن در بافت گیاهی، یکی از بیشترین تغییرات القاشده ناشی از تنش خشکی در گیاهان است. از طرف دیگر، پرولین که تحت شرایط تنش خشکی در سلول‌های گیاهی تجمع می‌یابد، به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی مطرح می‌شود و به دلیل نقش حفاظتی که در سلول گیاهی ایفا می‌کند، در شرایط تنش‌های محیطی می‌تواند گیاه را از آسیب‌های احتمالی حفظ نماید. (Jahanbakhsh et al., 2020).

مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH برگ

تاریخ کاشت، کم‌آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر مهار فعالیت رادیکال DPPH معنی‌دار بود (جدول ۳). در هر یک از تاریخ-های کاشت با کاهش دور آبیاری، غلظت DPPH کاهش یافت. به‌عنوان‌مثال، در تاریخ کاشت ۲ مردادماه با کاهش دور آبیاری از ۲۱ به ۷ روز، میزان DPPH معادل ۱۵ درصد کاهش داشت (جدول ۴). از طرفی، در دور آبیاری ۷ روز، تأخیر در تاریخ کاشت از ۱۶ تیر به ۱۶ مرداد سبب افزایش ۳۳ درصدی غلظت DPPH شد (جدول ۴). همان‌طور که قبلاً عنوان شد، احتمالاً با کاهش فراهمی آب میزان متابولیت‌های ثانویه در گیاه افزایش یافته است که این مهم می‌تواند به‌عنوان یک مکانیسم سازگاری عمل کند. تاریخ کاشت می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های بیوشیمیایی داشته باشد؛ بنابراین، می‌توان تأثیر این تیمار برای مقاومت گیاه نسبت به خشکی را مؤثر دانست. جهانبخش و همکاران (Jahanbakhsh et al., 2020) مشاهده کردند در همه تاریخ‌های کاشت (فروردین، اردیبهشت و خرداد) با کاهش تأمین نیاز آبی کینوا میزان مالون دی‌آلدئید افزایش یافت. از طرفی بین فنل و سطح برگ با مهار رادیکال آزاد برگ (به ترتیب ۴۲۰ و ۰/۴۵-) رابطه معنی‌داری مشاهده شد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنزیم آسکوربات تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین و کمترین فعالیت این آنزیم در تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه به ترتیب برای آبیاری ۲۱ و ۱۴ روز ثبت شد (جدول ۴). همچنین، در دور آبیاری ۷ روز، تاریخ کاشت ۱۶ تیرماه در مقایسه با تاریخ‌های کاشت دوم و ۱۶ مردادماه، منجر به افزایش غلظت آسکوربات تا دو برابر شد. بر اساس نتایج جدول ۵، برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز تأثیرگذار بود. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در تاریخ کاشت ۱۶ تیرماه و دور آبیاری ۱۴ روز و کمترین فعالیت آن در تاریخ کاشت ۱۶ مرداد و دور آبیاری ۲۱ روز مشاهده شد (جدول ۴). در دور آبیاری ۷ روز نیز تاریخ کاشت اول در مقایسه با تاریخ کاشت دوم و سوم میزان این آنزیم به ترتیب ۲۷ و ۲۰ درصد افزایش یافت.

یکی از راهکارهای گیاه برای مقابله با تنش گرمایی و تنش خشکی افزایش فعالیت‌های آنزیمی است. احتمالاً افزایش غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی راهکاری است که گیاه بتواند از طریق سازوکارهای خودتنظیمی، پاسخ سریع‌تر و کارآمدتری در مواجه با خشکی داشته باشد. در پژوهشی توسط رضایی‌نیا و همکاران (Rezaeinia et al., 2019) گزارش شده است که با افزایش تنش خشکی فعالیت آنزیم آسکوربات افزایش پیدا کرده است. همچنین، در مطالعه‌ای با اعمال تنش خشکی شدید و ملایم بر روی گیاهی از خانواده تاج‌خروس افزایش میزان این آنزیم مشاهده شد (Sarker and Oba, 2018). در گیاه ذرت نیز با افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز، تحمل به خشکی در گیاه افزایش یافت (Ge et al., 2006). در پژوهشی دیگر، اعمال تنش خشکی در گندم، فعالیت این آنزیم افزایش یافت (Rahimi et al., 2019).

سطح برگ

نتایج نشان داد که سطح برگ گیاه تحت تأثیر تاریخ کاشت، کم‌آبیاری و برهمکنش آن‌ها قرار گرفتند (جدول ۶). در هر یک از سطوح آبیاری، بیشترین سطح برگ گیاه در تاریخ کاشت ۲ مردادماه مشاهده شد. حداقل و حداکثر دمای ماهانه طی فصل رشد در شکل ۱ ارائه شده است. مطابق شکل ۱، متوسط دمای تیرماه، مردادماه و شهریورماه به ترتیب ۲۸/۱، ۲۷/۸ و ۲۲/۷ بوده است.

جدول ۶. تجزیه واریانس سطح برگ، وزن خشک بوته و عملکرد دانه کینوا تحت تأثیر تاریخ کاشت و رژیم‌های کم‌آبیاری در شرایط مشهد در سال ۱۳۹۹

Table 7. Analysis of variance (ANOVA) for plant dry weight, leaf area, and grain yield of quinoa affected by planting date and water deficit regimes at Mashhad in 2020.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	سطح برگ بوته Plant leaf area	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
Block (B)	بلوک	2	0.00012559 ^{ns}	4068.4 ^{ns}	116337.3 ^{ns}	3.09 ^{ns}
Planting date (D)	تاریخ کاشت	2	0.10273526 **	114833.9 **	145085.5 ^{ns}	153.67 **
D × B	خطا فرعی	4	0.00014609 ^{ns}	1451.3 ^{ns}	64276.7 ^{ns}	3.28 ^{ns}
Irrigation (I)	کم‌آبیاری	2	0.01155715 **	25349.7 *	720404.2 *	1.01 ^{ns}
D × I	تاریخ کاشت × آبیاری	4	0.00385981 **	7510.2 ^{ns}	294787.5 ^{ns}	18.1 ^{ns}
Error	خطا	12	0.00045498	3685.7	393.9	88.41
CV (%)	ضریب تغییرات		*16.3*	*15.5*	*16.29*	*17.73*

**: تفاوت معنی دار در سطح یک درصد؛ *: تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد؛ ns: عدم تفاوت معنی دار

*: Statistical differences at 5%; **: Statistical differences at 1%; ns: non-significant

همان‌طور که مشاهده می‌شود، گیاهان در تاریخ کاشت اول نسبت به کاشت‌های دوم و سوم با دماهای بالاتری مواجه بوده‌اند و لذا به نظر می‌رسد افزایش دما در این شرایط سبب کاهش سطح برگ و وزن تک بوته شده است. از سوی دیگر، احتمالاً گیاهان در تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه با سرمای زودرس پاییزه مواجه شده باشند که موجب کاهش سطح برگ و وزن تک بوته در گیاه شده است. همچنین، شیرین‌نژاد و همکاران (Shirinnezhad et al., 2019) اظهار داشتند که

کاشت کینوا در تاریخ ۱۰ خرداد در مقایسه با ۲۰ اردیبهشت و ۳۱ اردیبهشت دارای سازگاری بهتری در برابر تنش‌های محیطی بوده و قطر ساقه و سطح برگ بیشتری داشته‌اند.

در هر سه تاریخ کاشت با افزایش دور آبیاری سطح برگ کاهش یافت (جدول ۷). سطح برگ بوته (۰/۳ مترمربع در بوته) در تاریخ کاشت ۲ مردادماه در دور آبیاری ۷ روز حاصل شد (جدول ۷). در تاریخ کاشت ۱۶ تیرماه و ۲ مردادماه، با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۲۱ روز، سطح برگ گیاه حدوداً تا دو برابر کاهش یافت. ضرورت تولید ماده خشک و رشد بهینه محصولات زراعی بر پایه تأمین بهینه آب صورت می‌گیرد (Afsharmohammadian et al., 2016)؛ بنابراین، نیاز است تا جهت تولید مطلوب ماده خشک در کینوا، برنامه آبیاری به شکل مناسبی اجرا شود.

جدول ۷. میانگین اثرات متقابل تاریخ کاشت و رژیم‌های کم‌آبیاری بر سطح برگ و ماده خشک کینوا

Table 8. The maximum dry weight and maximum leaf area of quinoa in relation to interaction between planting date and water deficit regimes.

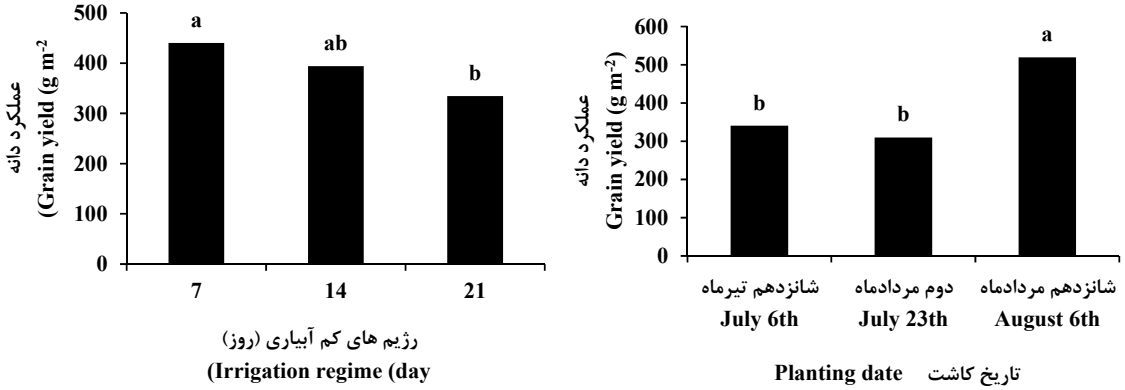
تاریخ کاشت Planting date	رژیم‌های کم‌آبیاری Water deficit regimes	سطح برگ بوته Plant leaf area (m^2)
۱۶ تیرماه July 6th	21 day	0.060 de
	14 day	0.092 cd
	7 day	0.119 c
۲ مردادماه July 23th	21 day	0.166 b
	14 day	0.284 a
	7 day	0.303 a
۱۶ مردادماه August 6th	21 day	0.043 e
	14 day	0.049 e
	7 day	0.053 e

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند

In each column the means with similar letters are not significant based on the LSD test at 5% of probability

عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

اثر تاریخ کاشت و کم‌آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین میزان عملکرد دانه (۵۱۹ گرم بر مترمربع) در تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه حاصل شد. بین دو تاریخ کاشت اول و دوم (۱۶ تیرماه و ۲ مردادماه) تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۲)



شکل ۲. اثر تاریخ کاشت و رژیم‌های کم‌آبیاری (دور آبیاری) بر عملکرد دانه کینوا. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD (۰/۰۵) است. تاریخ کاشت ۱ تا ۳ به ترتیب ۱۶ تیرماه، ۲ مردادماه و ۱۶ مردادماه

Fig. 2. Effect of planting date and water deficit regimes on grain yield of quinoa. LSD (5%). Planting date 1-3 are July 6th, July 23th, and August 6th, respectively

در شرایط کاشت در تاریخ ۱۶ مرداد (تاریخ کاشت سوم)، عملکرد دانه در مقایسه با تاریخ‌های کاشت ۱۶ تیر و ۲ مرداد به‌طور متوسط حدود ۳۵ درصد افزایش یافت. با افزایش شدت کم‌آبیاری، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌بیان‌دیگر، با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۲۱ روز، عملکرد دانه با کاهش ۲۵ درصدی مواجه شد. همچنین، در بین شاخص‌های موردمطالعه، کلروفیل a همبستگی منفی و معنی داری با عملکرد دانه (r=-۰/۵۰**) نشان داد (جدول ۸).

تنها اثر کم‌آبیاری بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری با دور ۷ روز مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با دور آبیاری ۱۴ روز نداشت (شکل ۳).

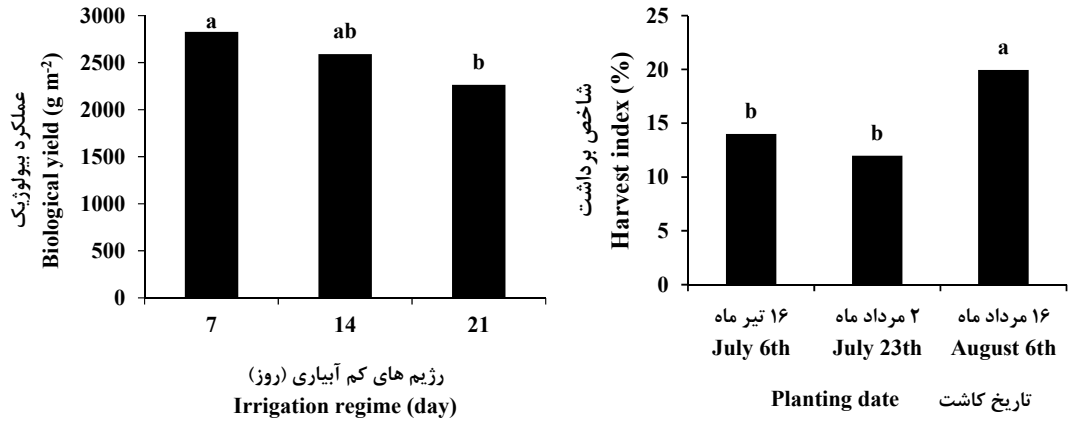
جدول ۸. همبستگی پیرسون بین صفات موردمطالعه

Table 9. The Pearson correlation between the traits

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	کلروفیل a Chlorophyll a	1											
2	کلروفیل b Chlorophyll b	0.46**	1										
3	فنل Phenol	-0.10ns	0.33ns	1									
4	کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates	0.70ns	0.15ns	0.003ns	1								
5	پرولین Proline	0.19ns	-0.19ns	-0.23ns	0.26ns	1							
6	مهار رادیکال آزاد برگ DPPH	-0.02ns	0.19ns	0.42*	0.32ns	-0.004ns	1						
7	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	-0.01ns	-0.21ns	0.33ns	0.26ns	-0.23ns	0.53**	1					
8	پراکسیداز Peroxidase	-0.04ns	-0.36*	-0.27ns	-0.36ns	0.002ns	-0.65**	-0.23ns	1				
9	سطح برگ Leaf area	0.31ns	-0.01ns	-0.45*	0.32ns	0.31ns	-0.3ns	-0.27ns	-0.16ns	1			
10	وزن خشک Dry weight max	0.16ns	0.23ns	-0.13ns	0.41*	0.16ns	0.41*	-0.12ns	-0.48*	0.83**	1		
11	عملکرد دانه Grain yield	-0.50**	0.13ns	0.32ns	0.04ns	-0.54**	0.36ns	0.25ns	-0.32ns	-0.44*	-0.06ns	1	
12	شاخص برداشت Harvest index	-0.49**	-0.02ns	0.41ns	-0.18ns	-0.56**	0.40ns	0.51**	-0.23ns	-0.57**	-0.24ns	0.82**	1

**: تفاوت معنی دار در سطح یک درصد؛ *: تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد؛ ns: عدم تفاوت معنی دار.

*: Statistical differences at 5%; **: Statistical differences at 1%; ns: non-significant.



شکل ۳. اثر کم‌آبیاری برعملکرد بیولوژیک کینوا

Fig. 3. Effect of water deficit regimes on biological yield of quinoa

افزایش دور آبیاری به ۲۱ روز موجب کاهش ۲۰ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شرایط شاهد شد. بیرامی و همکاران (Beyrami et al., 2020) نیز مشاهده کردند که با افزایش دور آبیاری از زیست‌توده گیاه کینوا کاسته شد و در تیمار آبیاری با دور ۷ روز دارای زیست‌توده بیشتری نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز بوده است. کاهش فراهمی آب می‌تواند با

تأثیر منفی بر تولید ماده خشک و سطح برگ، وزن خشک گیاه را کاهش دهد. چنانچه تأمین نیاز آبی گیاه کمتر از حد بهینه باشد، روند تولید ماده خشک با کاهش مواجه می‌شود. در مرحله رشد رویشی، تنش خشکی موجب کاهش تعداد و اندازه برگ‌ها می‌شود. در پژوهشی در شرایط کشت دیم گیاه کینوا، عدم آبیاری و بروز تنش با وقوع خشکی و عدم بارندگی در طول فصل رشد، با کاهش زیست‌توده همراه بوده است (Gharineh et al. 2019).

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که تنها اثر تاریخ کاشت بر شاخص برداشت معنی‌دار است (جدول ۶). در بین تاریخ‌های کاشت، بیشترین شاخص برداشت در ۱۶ مردادماه مشاهده شد، ضمن آنکه بین تاریخ کاشت ۱۶ تیرماه و ۲ مردادماه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳). کاهش شاخص برداشت در نتیجه کاشت در ۱۶ تیرماه و ۲ مردادماه می‌تواند به دلیل رشد رویشی و تولید شاخ و برگ بیشتر و همچنین، مواجه‌شدن مراحل حساس رشد گیاه مانند مرحله گلدهی با شرایط نامساعدتر محیطی باشد که درنهایت منجر به کاهش شاخص برداشت شده است. تاریخ کاشت نامناسب تأثیر زیادی بر تسهیم ماده خشک به دانه دارد و باعث کاهش کارایی انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده و عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Chen et al., 2005).

تاریخ کاشت از طریق تعیین دمای بهینه برای رشد، عامل مؤثری بر رشد گیاه است. با توجه به روند تغییرات دما طی فصل رشد، پایین‌تر بودن عملکرد دانه در تاریخ کاشت اول (در مقایسه با تاریخ کشت دوم و سوم) می‌تواند ناشی از دمای بالا در زمان پرشدن دانه باشد. همچنین، احتمالاً بالاتر بودن دمای محیط بیش‌ازحد بهینه در اوایل مرحله رشد با تأثیر بر تولید ماده خشک ممکن است بر سرعت پرشدن دانه تأثیر منفی داشته باشد. گیاهان عمدتاً با تعرق دمای خود را کاهش می‌دهند و در هنگام مواجه با کمبود آب به علت عدم تعرق، دمای گیاه افزایش پیدا می‌کند و سبب تنش گرمایی می‌شود. در اثر این تنش، فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک گیاه دچار اختلال می‌شود (Ghobadi et al, 2006). به‌عنوان نمونه، یانگ و همکاران (Young et al., 2016) با مشاهده کاهش ارتفاع بوته و وزن خشک کینوا در شرایط تنش خشکی اظهار داشتند که کمبود آب در منطقه توسعه ریشه عامل محدودکننده عملکرد مطلوب کینوا است. جهت رسیدن به عملکرد مطلوب، تأمین بهینه آب گیاه می‌بایست در برنامه‌های زراعی در نظر گرفته شود. با توجه به شکل ۲، بیشترین میزان عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه و آبیاری با دور ۷ روز مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با آبیاری با دور ۱۴ روز در این تاریخ کاشت نداشت. این نتایج نشان می‌دهد که به‌منظور افزایش راندمان مصرف آب در گیاه کینوا، رژیم‌های آبیاری باید طوری در نظر گرفته شود که کمتر از نیاز آبی کامل گیاه تأمین گردد که با توجه به محدودیت منابع آب موجود در ایران ضروری به نظر می‌رسد. از دیدگاه تجزیه‌وتحلیل هزینه و فایده، کاهش قابل‌توجه در تأمین آب گیاه کینوا، کاهش قابل‌توجهی در عملکرد ایجاد نخواهد کرد. گارسیا و همکاران (Garcia et al., 2003) نیز با مقایسه نیازهای مختلف آبیاری برای برآورده کردن نیاز آبیاری گیاه کینوا دریافتند که تأمین آب برای این گیاه را می‌توان تا حدود ۱۰۰ میلی‌متر (معادل ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار) کاهش داد که کاهش قابل‌توجهی در عملکرد ایجاد نخواهد کرد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که به‌جای تلاش برای آبیاری فشرده زمین‌های تحت کشت، پروژه‌های آبیاری باید بر اساس محدودیت تأمین آب باشد. این امر باعث افزایش سطح بالقوه برای آبیاری و کارایی سیستم می‌شود، زیرا حداکثر تولید در واحد آب مصرفی حاصل می‌شود (Garcia et al., 2003).

نتیجه‌گیری نهایی

کم‌آبیاری ازجمله راهکارهایی است که جهت کاهش مصرف آب و سازگاری بهتر گیاه در مواجهه با تنش خشکی مطرح‌شده است که با انطباق صحیح با سایر عوامل اقلیمی می‌تواند منجر به کاهش مصرف آب و عدم کاهش تولید و عملکرد شود. در تاریخ کاشت ۲ مردادماه با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۲۱ روز، محتوای پرولین برگ افزایش یافت که می‌تواند به دلیل مواجه‌شدن گیاه با دمای بالا در مراحل رشد گیاه به‌ویژه گلدهی باشد. پرولین به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی مهم نقش بسیار مهمی در حفاظت از گیاه در شرایط تنش دارد. با افزایش دور آبیاری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز افزایش یافت که نشان‌دهنده ایجاد تنش در گیاه است. اگرچه بیشترین سطح برگ و وزن خشک بوته در تاریخ کاشت ۲ مردادماه مشاهده شد، اما بیشترین میزان عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه و آبیاری با دور ۷ و ۱۴ روز مشاهده شد که نشان‌دهنده تسهیم بیشتر ماده خشک به بخش اقتصادی گیاه در این تاریخ کاشت است. بیشترین شاخص برداشت در تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه مشاهده شد. درمجموع، با توجه به اینکه عملکرد گیاه کینوا

در تاریخ کاشت ۱۶ مردادماه و آبیاری با دور ۱۴ روز در مقایسه با آبیاری معمول (دور ۷ روز) تفاوت معنی‌داری نداشت، لذا کاشت گیاه کینوا در تاریخ ۱۶ مردادماه و آبیاری با دور ۱۴ روز جهت دستیابی به عملکرد مطلوب و کاهش مصرف آب در منطقه مشهد پیشنهاد می‌گردد.

منابع

Abe, N., Murata, T., Hirota, A., 1998. Novel DPPH radical scavengers, bisorbicillinol and demethyltrichodimerol, from a fungus. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 62, 661-666.

Afshar Mohammdian, M., Ghanati, F., Ahmadiani, S., Sadrzamani, K., 2016. Effect of drought stress on the activity of antioxidant enzymes and soluble sugars content of Pennyroyal (*Mentha pulegium* L.). Nova Biologica Reperta. 3, 228-237.

Ahmadi, A., Ceiocemardeh, A., 2004. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and Proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Iranian Journal of Agriculture Science. 35, 753-763. [In Persian with English Summary].

Ahmadi-Lahijani, M.J., Emam, Y., 2013. Response of wheat genotypes to terminal drought stress using physiological indices. Journal of Crop Production and Processing. 3, 163-175. [In Persian with English Summary].

Ahmadi-Lahijani, M.J., Emam, Y., 2016. Post-anthesis drought stress effects on photosynthesis rate and chlorophyll content of wheat genotypes. Journal of Plant Physiology and Breeding. 6, 35-52.

Alinejadian Bidabadi, A., Jorooni, E., Barzegar, A.R., Maleki, A., 2016. The effect of different irrigation levels on water use efficiency on the basis of maize grain and soil moisture variations. Water and Irrigation Management. 6, 47-59. [In Persian with English Summary].

Azizi, E., Siahmarguee, A., Nezami, A., Mohamad Abadi, A.A., Soheili, R., 2015. Investigation of possibility of fennel (*Foeniculum vulgar* L.) autumnal sowing in Mashhad condition. Journal of Horticultural Science. 29, 1-10. [In Persian with English Summary].

Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free Proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207.

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, 347-357. [In Persian with English Summary].

Chen, H.H., Shenand Z.Y., Li. P.H., 2005. Adaptability of crop plant to high temperature strees. Crop Science. 22, 719-725.

Dashab, S., Omidi, H., 2021. Investigation the efect of drought tension and seed pretreatment on physiological and biochemical traits of quinoa (*Chenopodium quinoa*). Scientific Journal of Crop Physiology. 12, 5-23.

Dere, S., Gines, T., Sivaci, R., 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll - a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Turkish Journal of Botany. 22, 13-17.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., Smith, F., 1951. A colorimetric method for the determination of sugars. Nature. 168, 167-16.

Eslam, B.P., 2011. Study of possibility of delayed planting of oilseed rape (*Brassica napus* L.) in East Azarbaijan in Iran. Seed and Plant Production Journal. 27, 269-284

Fardad, H., 2011. General irrigation (Vol 3). Methods irrigation. University of Tehran. 338 pp. [In Persian].

Ghanbarian, D., Valaei, M., Ghasemi Varnamkhasti, M., Aghagoolzade, H., 2017. Discussion of Influence of parboiling in milling rice yield and head rice yield. Iranian Journal of Biosystems Engineering. 48, 299-304. [In Persian with English Summary].

Gharineh, M.H., Abdolmahdi, B., Bahram, A. and Mahvash, S., 2019. Effects of sowing dates and irrigation levels on morphological traits and yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in Khuzestan. Iranian Journal of Field Crop Science, 50, 149-156. [In Persian with English Summary].

Garcia, M., Raes, D., Jacobsen, S.E., 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation

requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. Agricultural Water Management. 60, 119-134.

Ghobadi, M., Bakhshandeh, A.A., Fathi, G.E., Gharineh, M.H., Aalami, S.K., Naderi, A., 2006. Effects of sowing date and heat stress during flowering on yield and yield components in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences. 8, 46-57. [In Persian with English Summary].

Gonzalez, J.A., Roldan, A., Gallardo, M., Escudero, T., Prado, F.E., 1989. Quantitative determinations of chemical compounds with nutritional value from Inca crops: Chenopodium quinoa ('quinoa'). Plant Foods for Human Nutrition. 39, 331-337.

Hammad, H.M., Farhad, W., Abbas, F., Fahad, S., Saeed, S., Nasim, W., Bakhat, H.F., 2017. Maize plant nitrogen uptake dynamics at limited irrigation water and nitrogen. Environ. Science Pollution Research. 24, 2549-2557.

Heath, R. L., Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics. 125, 189-198.

Hinojosa, L., González, J.A., Barrios-Masias, F.H., Fuentes, F., Murphy, K.M., 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. Plants. 7, 106.

Jacobsen, S.E., 1998. Developmental stability of quinoa under European conditions. Industrial Crops and Products. 7, 169-174.

Jahanbakhsh, S., Moradi, R., Khajoei-Nejad, G., Naghizadeh, M., 2020. Effect of planting date, drought stress and salicylic acid on yield and biochemical characteristics of quinoa. Iranian Journal of Field Crop Science. 51, 55-71. [In Persian with English Summary].

Jamali, S., Goldani, M., Zeynodin, S.M., 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield, yield components and water productivity on quinoa. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 6, 1687-1697. [In Persian with English Summary].

Jame, Y.W., Cutforth, H.W., 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. Agricultural and Forest Meteorology. 124, 207-218.

Kakhaki, M.K., Sepehri, A., 2010. Effect of deficit irrigation on water use efficiency and drought tolerance of new sunflower cultivars at reproductive stage. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 13, 163-176.

Karami, S., Sabzalian, M.R., Rahimmalek, M., Saeidi, G., Khodaee, L., 2017. Influence of seasonal variations on seed oil and total phenolic content of seeds and leaves in cultivated, wild species and F5 generation of inter-specific cross in *Carthamus* spp. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 33, 281-292. [In Persian with English Summary].

Keyvan, S., 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates, and chlorophyll of bread wheat cultivars. Journal of Animal and Plant Sciences. 8, 1051-1060.

Maddah, S.M., Farhangian Kashani, S., 2011. Investigation of growth and chlorophyll concentration. Crop Physiology Journal. 3, 89-102. [In Persian with English Summary].

Mamedi, A., Afshari, R.T., Sepahvand, N.A., Oweyse, M., 2016. Evaluation of various temperatures on Quinoa plant seeds under salinity stress. Iranian Journal of Field Crop Science. 46, 583-589. [In Persian with English Summary].

Nezami, A., Khazaei, H.R., Boroumand, R.Z., Hosseini, A., 2008. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. Desert. 12, 99-104.

Nouri, M., Homaee, M., Bannayan, M., Hoogenboom, G., 2017. Towards shifting planting date as an adaptation practice for rainfed wheat response to climate change. Agricultural Water Management. 186, 108-119.

Paknejad, F., Jami, A.M., Vazan, S., Ardakani, M.R., 2009. Effects of water stress at different growth stages on yield and water use efficiency of some wheat cultivars. Electronic Journal of Crop Production. 2, 17-36. [In Persian with English Summary].

Rahimi, Z., Hosseinpanahi, F., Siosemardeh, A., 2019. Effects of drought stress on antioxidant enzymes activity and some physiological traits of drought resistant and susceptible cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). Wheat Research. 2, 69-86. [In Persian with English Summary].

Razzaghi, F., Ahmadi, S.H., Adolf, V.I., Jensen, C.R., Jacobsen, S.E., Andersen, M.N., 2011. Water relations and transpiration of quinoa

(*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. Journal of Agronomy and Crop Science. 197, 348-360.

Risi, J.C., 1984. The Chenopodium grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. Annals of Applied Biology. 10, 145-216.

Saeidi, S., Siadat, S.A., Moshatati, A., Sepahvand, N., 2020. Effect of sowing time and nitrogen fertilizer rates on growth, seed yield and nitrogen use efficiency of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in Ahvaz, Iran. Iranian Journal of Crop Sciences. 21, 354-367. [In Persian with English Summary].

Sarker, U., Oba, S., 2018. Catalase, superoxide dismutase and ascorbate-glutathione cycle enzymes confer drought tolerance of Amaranthus tricolor. Scientific Reports. 8, 1-12.

Sepahvand, N.A., Sarhangi, M., Mehrabi, R., Mostafavi, KH., 2015. Study on genetic diversity of quinoa morphotypes using microsatellite molecular markers. Modern Genetics Journal. 10, 115-122.

Shirinnezhad R., Torabi M., Mahmoudi F., 2019. Evaluation of compatibility of Quinoa cultivars in different planting dates and their effects on morphological, physiological and biochemical parameters. 2nd international and 6th national conference on organic vs. conventional agriculture. 25 and 26 August 2019. University of Mohagegh Ardabili, Ardabil, Iran. [In Persian with English Summary].

Singleton, V. L., Rossi, J. A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture. 16, 144-158.

Srinivas, N.D., Rashmi, K.R., Raghavarao, K.S.M.S., 1999. Extraction and purification of a plant peroxidase by aqueous two-phase extraction coupled with gel filtration. Process Biochemistry. 35, 43-48.

Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S., Jacobsen, S.E., 2014. Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. Journal of Agronomy and Crop Science. 200, 12-23.

Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A., 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. Plant Science. 151, 59-66.

Voet, D., Voet, J.G, Pratt, C.W., 2001. Fundamentals of Biochemistry. New York, Wiley.

Yordanov, I., Velikova., V, Tsonev., T., 2000. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. Photosynthetica. 38, 171-186.

Yamauchi, N., Funamoto, Y., Shigyo, M., 2004. Peroxidase-mediated chlorophyll degradation in horticultural crops. Phytochemistry reviews, 3, 221-228.

Zlatev, Z.S., Yordanov, I.T., 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 30, 3-18.