University of Birjand

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

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 17, No. 2, pp. 405-424 (Summer 2024)

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5995.2185

Original article

Investigating seed priming on some physiological characteristics and yield of three genotypes (Q12, Q29 and Giza1) of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) under different irrigation regimes

A. Shadmehri[1*], H. Abbasdokht[2]

1. PhD. Graduate of Ecology of crops, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

2. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received 8 January 2023; Accepted 16 April 2023

Extended abstract

Introduction

One of the non-biological stresses for crop plants is drought and lack of water, which is the most important factor limiting the growth of crop plants in arid and semi-arid areas, including Iran. Drought impairs normal growth, disturbs water relations, and reduces water use efficiency in plants. Plants, however, have a variety of physiological and biochemical responses at cellular and whole organism levels, making it a more complex phenomenon. The rate of photosynthesis is reduced mainly by stomatal closure, membrane damage, and disturbed activity of various enzymes, especially those involved in ATP synthesis. Plants display a range of mechanisms to withstand drought, such as reduced water loss by increased diffusive resistance, increased water uptake with prolific and deep root systems, and smaller and succulent leaves to reduce transpirational loss. Therefore, the effects of drought stress and seed nutritional priming on plants can play an important role in managing different irrigation regimes to deal with adverse environmental conditions and improve crop yield management.

Materials and methods

Quinoa is one of the crops that has received special attention in recent years due to its high nutritional value and resistance to dehydration. For this purpose, an experiment was conducted in the form of a factorial split plot, with three rounds of irrigation of 7, 10 and 14 days as the main factor and seed priming at two levels without prime as a control and Iron sulfate + zinc sulfate combination as the second factor was applied on three genotypes (Q12, Q29 and Giza1) of quinoa as secondary factors, in the crop year of 2021-2022 in the regions of Neishabour and Kashmar.

Results and discussion

Moisture stress decreased the relative water content and percentage of membrane stability. In Kashmir region, the highest relative water content was observed in cultivars Q12 and Giza under the treatment of irrigation once every 14 days. While in the Neishabur region, the highest value of the mentioned variable was obtained in the treatment of irrigation once every 7 days and cultivar Q29. Slicing analysis of the interaction effect of cultivar and irrigation treatments and the interaction effect of irrigation and priming in Kashmir region showed that the 7 and 10 day irrigation treatment was significant on cell membrane stability. Comparison of the average interaction effect of the three tested factors in Neishabur area

[*] Corresponding author: Ahmad Shadmehri; E-Mail: ahmadshadmehri@yahoo.com

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

showed that the variety Q12 (regardless of seed priming) along with applying 14 days of irrigation caused a significant increase in membrane stability in Neishabur. Although the lowest level of membrane stability was obtained in the priming treatment of Q12 and Giza cultivars with the application of 7 days of irrigation once. It was observed that the priming treatment of Q29 and Giza cultivars with irrigation every 10 and 7 days, respectively, showed the highest amount of total chlorophyll in the Kashmir region, while in the Neishabur region, the highest amount of total chlorophyll was obtained in non-priming of Giza cultivar with the application of 10 Irrigation once a day. The results of the experiment showed that seed priming of Q12 and Q29 cultivars under irrigation once every 7 days caused a significant increase in seed yield in Kashmir region. In Neishabur region, the highest amount of seed yield was obtained in the non-priming cultivar Giza under irrigation once in 10 days.

Conclusion

In general, seed priming with zinc sulfate and iron sulfate can improve the physiological characteristics of quinoa under water stress. Although in regarding the relative water content, the Q29 variety had a dominant effect on the priming treatment in Neishabour region. According to the results of the Q29 variety in the Kashmar region and the Giza variety In the Neishabour region, it will help plant growth by maintaining the chlorophyll content of the leaves under low irrigation conditions.

Keywords: Cereal, Chlorophyll, Iron, RWC, Zinc

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هفدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5995.2185

مقاله پژوهشی

بررسی پرایمینگ بذر روی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد سه ژنوتیپ (Q12، Q29 و Giza1) کینوا (*Chenopodium quinoa* willd) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

احمد شادمهری[1*]، حمید عباس‌دخت[2]

۱. دانش‌آموخته دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود، شاهرود
۲. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود، شاهرود

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آهن
روی
غلات
کلروفیل
محتوای نسبی آب

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۱/۲۷

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۳

۱۷(۲): ۴۰۵-۴۲۴

چکیده

یکی از تنش‌های غیر زیستی برای گیاهان زراعی، کمبود آب است که در نواحی خشک و نیمه‌خشک ازجمله ایران به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان است. لذا اثرات تنش خشکی و پرایمینگ تغذیه‌ای بذر بر گیاهان می‌تواند نقش مهمی در مدیریت رژیم‌های مختلف آبیاری جهت مقابله با شرایط نامساعد محیطی و بهبود عملکرد محصولات زراعی داشته باشد. کینوا یکی از محصولات زراعی است که علاوه بر ارزش غذایی بالا، به دلیل مقاومت به کم‌آبی در سال‌های اخیر موردتوجه قرار گرفته است. به همین منظور در سال زراعی ۱۳۹۹ -۱۴۰۰ در شهرستان‌های نیشابور و کاشمر آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل که سه دور آبیاری ۷، ۱۰ و ۱۴ روز به‌عنوان فاکتور اصلی و پرایمینگ بذور در دو سطح بدون پرایم (شاهد) و ترکیب سولفات آهن + سولفات روی به‌عنوان فاکتور دوم روی سه ژنوتیپ (Q12، Q29 و Giza1) کینوا به‌عنوان فاکتورهای فرعی انجام شد. در منطقه کاشمر، بیشترین میزان محتوای نسبی آب در ارقام Q12 و گیزا تحت تیمار ۱۴ روز یک‌بار آبیاری مشاهده شد. درحالی‌که در نیشابور بیشترین مقدار متغیر مذکور در تیمار ۷ روز یک‌بار آبیاری و رقم Q29 به دست آمد. تیمار پرایمینگ ارقام Q29 و گیزا به ترتیب همراه با اعمال ۱۰ و ۷ روز یک‌بار آبیاری بیشترین مقدار کلروفیل کل را در منطقه کاشمر نشان داد، درحالی‌که در منطقه نیشابور بیشترین مقدار کلروفیل کل تحت تیمار عدم پرایمینگ رقم گیزا به همراه کاربرد ۱۰ روز یک‌بار آبیاری به دست آمد. به‌طورکلی پرایمینگ بذر با سولفات روی و سولفات آهن می‌تواند سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی کینوا تحت تنش آبی گردد. در منطقه نیشابور، رقم Q29 اثر غالبی بر تیمار پرایمینگ در مورد محتوای نسبی آب داشت. با توجه به نتایج رقم Q29 در منطقه کاشمر و رقم گیزا در منطقه نیشابور در شرایط کم‌آبیاری، با حفظ محتوای کلروفیل برگ به رشد و نمو گیاه کمک شایانی خواهد نمود.

مقدمه

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa* Willd) از خانواده (Chenopodeaceae) گیاهی است یک‌ساله که از سطح دریا تا ارتفاع ۳۸۰۰ مترمربع قابل‌کشت است (Ruiz et al., 2014). این محصول در حال حاضر به دلیل محتوای پروتئین استثنایی با تمام اسیدهای آمینه ضروری، گلوتن آزاد، محتوای مواد معدنی بالا و تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، به‌ویژه شوری و خشک‌سالی موردتوجه قرار گرفته است (Repo-Carrasco-Valencia and Serna, 2011).

به دلیل تنوع ژنتیکی گسترده، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با مناطق مختلف زراعی اکولوژیکی سازگار است (Nowak et al., 2016). همچنین، تولید آن به زمین کمتری نیاز دارد و درنتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر می‌شود (Tessari et al., 2016). در ایران به گیاه کینوا توجه شایانی شده است و اخیراً در بسیاری از نقاط کشور با موفقیت کشت شده است (Talebnejad and Sepaskhah, 2016).

* نگارنده پاسخگو: احمد شادمهری. پست الکترونیک: ahmadshadmehri@yahoo.com

تنش آبی مهم‌ترین تنش غیرزیستی است که مانع رشد و نمو گیاهان و در نتیجه کاهش شدید عملکرد می‌شود (Zheng et al., 2016). تنش آبی به‌عنوان مختل‌کننده یکپارچگی غشاء، محتویات کلروفیل، روابط آب، تنظیم اسمزی و فعالیت فتوسنتزی در تعدادی از محصولات شناخته شده است (Hussain et al., 2018; Hussain et al., 2019; Anjum et al., 2016). بااین‌حال، سازگاری گیاهان با شرایط کمبود آب در نتیجه رویدادها و فرآیندهای مختلف عمدتاً شامل تغییر در الگوی رشد، ساختار گیاه، فرآیندهای فیزیو-بیوشیمیایی، پتانسیل اسمزی و سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی رخ می‌دهد (Hussain et al., 2018). کاهش تولید بیوماس ناشی از تنش آبی در برخی از گیاهان زراعی در گذشته به‌خوبی گزارش شده است (Hussain et al., 2018; Hussain et al., 2019). تنش آبی همچنین باعث تغییر در سیستم دفاع اکسیداتیو، سنتز رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و تجمع لیپیدها و پروتئین‌ها می‌شود (Hussain et al., 2018). اکرم و همکاران (Akram et al., 2018) ثابت کرد که تنش آبی تجمع رنگ‌دانه‌های کلروفیل را در کلزا کاهش می‌دهد که در نهایت باعث استفاده از انرژی و برداشت نور توسط گیاهان شد. از دست دادن کلروفیل علت اصلی غیرفعال شدن فرآیند فتوسنتز به دلیل از دست دادن آب است. گزارش شده است که تنش آبی باعث کاهش رنگ‌دانه‌های کلروفیل در بسیاری از محصولات زراعی مانند هویج (Razzaq et al., 2017)، نخود (Mafakheri et al., 2010) و سیب‌زمینی (Arabshahi et al., 2017) شده است.

پرایمینگ بذر برای بهبود جوانه‌زنی و متعاقباً افزایش رشد گیاهانی مانند گندم، گشنیز و کینوا تائید شده است (Ceccato et al., 2011; Ibrahim, 2016; Tabassum et al., 2017). استفاده از پرایمینگ به‌عنوان راه‌حلی برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه توسط محققان روی گیاهانی مانند ذرت (Jiang et al., 2016)، گندم (Ulfat et al., 2017)، استویا (Aghighi Shahverdi et al., 2017) و برنج (Hussain et al., 2017) بررسی شده است.

عناصر ریزمغذی روی و آهن نقش برجسته‌ای در فرآیندهای حیاتی گیاهان ازجمله متابولیسم، سرعت تعرق، فتوسنتز، اختلال در عملکرد آنزیم‌های مربوطه، کاهش جذب عناصر غذایی، پژمردگی گیاه، نامتعادل شدن روابط آبی و کیفیت و کمیت محصول دارند (Afsahi et al., 2020; Prasad, 2004; Dhir et al., 2011; Fageria, 2016).

غشای سلولی اولین هدف تنش‌های غیرزیستی (Hera et al., 2018) است و حفظ پایداری آن در شرایط خشکی بخش اصلی تحمل به خشکی است (Bajjii et al., 2002). عرضه کافی روی در تنش خشکی باعث حفظ نفوذپذیری غشا، فعالیت مواد آنتی‌اکسیدانی، کارایی فتوسنتزی می‌شود (Karam et al., 2007; Bagci et al., 2007; Babaeian et al., 2010). علاوه بر این، کاربرد روی منجر به افزایش قابل‌توجه در سطح برگ، محتوای کلروفیل و سایر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای می‌شود و در نتیجه رشد و عملکرد را بهبود می‌بخشد (Sultana et al., 2016). سلطانا و همکاران (Sultana et al., 2016) همچنین اشاره کردند که روی با تأثیر نامطلوب تنش آبی مقابله می‌کند و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بهره‌وری گندم را افزایش داد. در مطالعه دیگری، چاتا و همکاران (Chattha et al., 2017) اشاره کردند که کاربرد روی باعث بهبود عملکرد ذرت و شاخص برداشت در تنش خشکی شد. علاوه بر این، هرا و همکاران (Hera et al., 2018) اشاره کردند که محلول‌پاشی روی اثرات منفی کمبود آب را کاهش و رشد و عملکرد گندم را افزایش داد.

در گیاهان، آهن و روی برای واکنش‌های متابولیکی کلیدی و عملکردهای بیولوژیکی موردنیاز هستند (Singh et al., 2017). آهن باعث تشکیل کلروفیل می‌شود، به‌عنوان یک حامل اکسیژن عمل می‌کند، برای تقسیم و رشد سلولی ضروری است (Zhang, 2014; Morrissey and Guerinot, 2009)، در تشکیل برخی آنزیم‌ها (کاتالاز، پراکسیداز، سیتوکروم اکسیداز و گزانتین اکسیداز) شرکت می‌کند. برای تنفس، فتوسنتز و انتقال الکترون از طریق چرخه بین Fe^{2+} و Fe^{3+} ضروری است (Marenco and Lopes, 2009; Guerinot and Yi, 1994). روی جزء بیش از ۳۰۰ آنزیم گیاهی و پروتئین‌های حیاتی مانند پروتئین‌های اتصال‌دهنده DNA است (Vallee and Falchuk, 1993; Laity et al., 2001). در سلول‌های گیاهی، در عملکردهای بیوشیمیایی اصلی مانند تاشدگی پروتئین، عملکردهای کاتالیزوری و تنظیمی در آنزیم‌ها نقش دارد (Broadley et al., 2007; Hafeez et al,. 2013).

مقدار آهن و روی در دانه‌های واریته‌های گندم از نظر ژنتیکی کنترل می‌شود (White and Broadley, 2005;

(Cakmak, 2008; Velu et al., 2014). تلاش‌هایی مانند روش‌های اصلاحی کلاسیک و تراریخته به‌منظور افزایش میزان این ریزمغذی‌ها در گونه‌های جدید گندم توسعه‌یافته‌اند، زیرا کمبود آهن و روی در رژیم غذایی انسان عاملی مسئول برای برخی بیماری‌ها است (Welch and Graham, 2004; Cakmak, 2008). بااین‌حال، یکی از مقرون به‌صرفه‌ترین روش‌ها برای افزایش سطوح ریزمغذی‌ها در گندم و سایر محصولات، تقویت زیستی زراعی با استفاده از محلول‌پاشی، کاربرد خاک و یا پرایمینگ بذر است (Sheteiwy et al., 2015; Cakmak, 2008; Gibson, 2006).

عناصر آهن و روی در ساختار تعداد زیادی از آنزیم‌ها شرکت دارند و بیشتر از سایر عناصر میکرو در تغذیه گیاه نقش دارند (Ghasemian et al., 2010). در سنتز کربوهیدرات‌ها به‌ویژه در شرایط تنش خشکی نقش مهمی دارند و مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهند (Babaeian et al., 2011). کمبود عناصر روی و آهن یکی از شایع‌ترین کمبودهای عناصر کم‌مصرف در جهان و ایران است (Malakoti and Tehrani, 2000). در شرایط کمبود آهن سرعت تثبیت دی‌اکسید کربن و فتوسنتز در واحد سطح برگ کاهش می‌یابد که با کاهش ذخیره نشاسته و قند در برگ‌ها وزن صد دانه و عملکرد اقتصادی کاهش می‌یابد (Alvarez-Fernandez et al., 2004). کمبود روی بر فرآیندهای تایلاکوئیدها تأثیر منفی دارد و باعث کاهش و آسیب شدید به ساختار کلروپلاست می‌شود (Chen et al., 2007). محققان دریافتند کاربرد آهن به همراه روی عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه را در گیاه گلرنگ افزایش داده است (Ravi et al., 2008).

پرایمینگ بذر یک عمل قبل از کاشت است که جوانه‌زنی یکنواخت را تسهیل می‌بخشد. این تکنیک می‌تواند مبتنی بر آب، محلول‌های اسمزی، مواد شیمیایی، تنظیم‌کننده‌های رشد و غیره باشد. بااین‌وجود اثربخشی آن به نوع گونه گیاهی و روش پرایمینگ انتخاب‌شده بستگی دارد (Marthandan et al., 2020). این روش سطح هیدراتاسیون بذرها را کنترل می‌کند و فرآیندهای آنزیمی و متابولیکی را فعال می‌کند که باعث بهبود جوانه‌زنی، سبز شدن و قدرت گیاهچه‌ها، تحمل تنش غیرزیستی، رشد اولیه گیاه، وزن و ارتفاع ساقه، طول ریشه و عملکرد دانه می‌شود (Ajouri et al. 2004; Burguieres et al., 2007; Sarlach et al., 2013; Sharma et al., 2014; Sheteiwy et al., 2015; Ahmed et al., 2016).

کم‌آبیاری یکی از شیوه‌های مدیریتی است که می‌توان آن را به شیوه‌های مختلف در مقاطعی از دوره رشد و یا در طول دوره رشد گیاه اعمال نمود. کم‌آبیاری از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب است که طی آن به محصولات زراعی اجازه داده می‌شود مقداری تنش رطوبتی را در طول فصل رشد تحمل نماید. نتایج جهانی همچنین پتانسیل کینوا را برای رشد به‌عنوان یک محصول جایگزین در مناطقی که خشک‌سالی، دمای بالا، شرایط تنش شوری یا کیفیت پایین خاک محدودیت‌های اصلی بر بهره‌وری کشاورزی کارآمد هستند تائید می‌کند (Jacobsen et al., 2006; Razzaghi et al., 2012; Cocozza et al., 2012). بااین‌حال، رطوبت خاک نقش مهمی در تعیین زمان و سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا و رشد گیاهچه ایفا می‌کند (Gonzalez et al., 2009). با توجه به ارزش غذایی قابل‌توجه و توانایی آن برای رشد در شرایط مختلف زراعی، کینوا توسط فائو به‌عنوان یکی از محصولاتی که قرار است امنیت غذایی را در قرن بیست و یکم ارائه کند انتخاب شده است (FAO, 2013).

بنابراین، کشت کینوا یک فرصت ارزشمند به‌عنوان یک محصول بالقوه با توجه به شرایط فعلی و تغییرات آب و هوایی آینده است (Mabhaudhi et al., 2019). هدف از این بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکردی کینوا تحت شرایط تنش آبی است. به‌علاوه این آزمایش امکان غلبه بر تنش آبی را با پرایمینگ بذور مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در قالب اسپلیت‌پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. داده‌های هواشناسی فصل کشت دو منطقه کاشمر و نیشابور در جدول (۱) آمده است. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری با دورهای ۷، ۱۰ و ۱۴ روز به‌عنوان فاکتور اصلی و فاکتورهای فرعی شامل ۳ رقم کینوا (Q12، گیزا و Q29) (بذور از موسسه تحقیقات اصلاح نهال و تهیه بذر کرج تهیه شده است و علت انتخاب ۲ ژنوتیپ Q12 و Q29 به دلیل عملکرد بالا در سال ۹۵ بر اساس گزارش نهایی انجام شده در مؤسسه تحقیقات بذر و نهال کرج که به ترتیب با عملکرد ۳۸۹۳ و ۳۹۶۱ کیلوگرم در هکتار رتبه اول و دوم در بین لاین و رقم‌های کشت شده بوده است)

و تیمار پرایمینگ در ۲ سطح شامل عدم پرایمینگ و پرایمینگ (سولفات روی + سولفات آهن) (علت انتخاب ترکیب سولفات آهن +روی که به نسبت ۴ در هزار عنصر ریزمغذی آهن و ۳ در هزار روی باهم ترکیب و بذور به مدت یک ساعت پرایم و سپس در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد خشک شده‌اند، این بوده است که در منطقه کمبود این عناصر مشهود است و در مقالات مختلف عنوان شده است که ترکیب این دو عنصر باعث افزایش عملکرد شده است) انجام شد.

آبیاری به‌وسیله تیپ انجام شد. جهت پرایم کردن بذور از سولفات روی ۳ در هزار و سولفات آهن ۴ در هزار استفاده شد. این آزمایش در یک سال و در دو منطقه شهرستان‌های نیشابور و کاشمر اجرا گردید. زمان کاشت بذور در نیشابور ۱۵ اسفند ۱۳۹۹ و زمان برداشت ۲۹ خرداد ۱۴۰۰ و زمان کاشت در کاشمر ۱۷ اسفند ۱۳۹۹ و برداشت ۲۰ خرداد ۱۴۰۰ بود. آزمایش درمجموع شامل ۹۰ کرت بود. در هر کرت آزمایش ۹ خط کاشت به طول ۳ متر با فواصل ردیف ۹۰ سانتیمتر و روی ردیف ۹ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. از ۸ ردیف خطوط وسط برای اندازه‌گیری صفات استفاده خواهد شد. در بین هر کرت اصلی یک و بین هر تکرار دو خط نکاشت فاصله قرار می‌دهیم تا از تداخل احتمالی آبیاری جلوگیری به عمل آید. داده‌های هواشناسی دو منطقه موردمطالعه طی فصل کشت، در جدول ۱ ارائه گردیده است. همچنین نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک و آنالیز آب در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. داده‌های هواشناسی دو منطقه کاشمر و نیشابور در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰

Table 1. Meteorological data of the two regions of Kashmar and Neishabour in the crop year 2021-2022

	ماه Month	میانگین دمای ماهیانه Average monthly temperature	میانگین حداکثر دمای ماهیانه Average monthly maximum temperature	میانگین حداقل دمای ماهیانه Average monthly minimum temperature	حداکثر سرعت باد ماهیانه Maximum monthly wind speed	مجموع بارش ماهیانه Total monthly rainfall
		---------- °C ----------			km.h^{-1}	mm
کاشمر Kashmar	اسفند March	10.9	16.5	5.3	15	15.7
	فروردین April	18.6	25.0	12.2	15	1
	اردیبهشت May	23.5	29.9	17.2	10	56.8
	خرداد June	30.4	37.2	23.6	12	0
نیشابور Neishabour	اسفند March	7.1	14.3	-0.1	17	49.1
	فروردین April	15.1	23.2	7.1	21	5.1
	اردیبهشت May	20.1	28.2	12.1	20	16.4
	خرداد June	26.6	35.5	17.8	17	0.1

جدول ۲. نتایج آنالیز آب‌وخاک محل اجرای آزمایش

Table 2. The results of water and soil analysis of the test site

			Soil خاک			
ویژگی Trait	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	کربن آلی Organic carbon	شوری Salinity	اسیدیته pH
	---------- % ----------				dS.m^{-1}	
Value	30	52	18	0.74	1.603	7.58
			Water آب			
ویژگی Trait	املاح معلق در آب Suspended solutes in water	نسبت جذب سدیم Sodium absorption ratio	کلر Cl^-	سولفات SO_4^-	شوری Salinity	اسیدیته pH
	mg.l^{-1}		----------mEq.lit^{-1}----------		dS.m^{-1}	
Value	1035.12	2.46	7.2	4.7	1.625	7.29

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های برگ از روش آرنون (Arnon, 1967) استفاده شد. میزان هدایت الکترولیتی با روش پوپو و همکاران (Popov et al., 2005) تعیین شد. بدین منظور هشتاد میلی‌گرم برگ پس از برش افقی، به لوله‌آزمایش حاوی ده سی‌سی آب مقطر انتقال یافت. لوله‌های آزمایش به مدت سی دقیقه در دستگاه شیکر قرار گرفتند. سپس میزان هدایت الکترولیتی نمونه‌ها (EC_1) با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. محتوی لوله‌آزمایش پس از قرار گرفتن در بن ماری (۹۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۱۰ دقیقه و ۳۰ دقیقه قرارگیری در دستگاه شیکر و میزان هدایت الکترولیتی (EC_2) تعیین شد و در نهایت مقدار شاخص خسارت بر اساس فرمول ذیل محاسبه گردید.

$$\text{نشت یونی} = (EC_1/EC_2)\times 100 \quad [۱]$$

به‌منظور اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی، از انتهایی‌ترین برگ‌های توسعه‌یافته نمونه‌های برگی انتخاب و در داخل یخ به آزمایشگاه منتقل شدند، سپس ۰/۳ گرم از نمونه برگی توزین و ۳ مرتبه با آب مقطر، شستشو داده شدند. این قطعه‌ها در لوله‌های آزمایش حاوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر (شاهد) و ۲۵ میلی‌لیتر پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG6000) به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور و در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد، قرار داده شدند. بعدازاین مدت، محتوی لوله‌ها تخلیه و نمونه‌ها شستشو داده شدند. سپس، نمونه‌های شاهد و تیمارشده با PEG به مدت ۲۴ ساعت درون ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. پس از سپری کردن زمان تعیین‌شده، هدایت الکتریکی اندازه‌گیری و سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در فشار یک اتمسفر اتوکلاو شد. بعد از اتوکلاو، هدایت الکتریکی برای بار دوم اندازه‌گیری انجام شد. برای محاسبه پایداری غشا از رابطه زیر استفاده شد (Lutts et al., 1996):

$$\text{درصد خسارت} = 1-(1-T1/T2)/(1-C1/C2)\times 100 \quad [۲]$$

$$CMS=100-(\text{درصد خسارت}) \quad [۳]$$

که در آن CMS، پایداری غشا و C و T به ترتیب هدایت الکتریکیِ تیمار پلی‌اتیلن گلیکول و شاهد بوده اندیس ۱ و ۲ به ترتیب هدایت الکتریکی اولیه و نهایی هستند.

محتوای نسبی آب برگ (RWC) طبق روش ریچی و همکاران (Ritchie et al., 1990) به‌صورت فرمول زیر اندازه‌گیری شد:

$$RWC = \frac{Fw-Dw}{Sw-Dw}\times 100 \quad [۴]$$

Fw: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری، Dw: وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون، Sw: وزن خشک اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3 و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام گردید. میانگین صفات موردمطالعه نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD در سطح پنج درصد با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب

اثر ساده و متقابل تیمارهای آبیاری و پرایمینگ بر محتوای نسبی آب در منطقه کاشمر معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین آنالیز واریانس داده‌های برداشت‌شده از منطقه نیشابور نشان داد که اثر ساده و متقابل تیمارهای موردمطالعه بر محتوای نسبی آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین برش‌دهی اثر متقابل آبیاری و رقم در منطقه کاشمر، محتوای نسبی آب تنها در تیمار ۱۴ روز یک‌بار آبیاری معنادار بود، به‌طوری‌که بیشترین محتوای نسبی آب در ارقام Q12 و گیزا و کمترین مقدار در رقم Q29 به دست آمد (جدول ۶). از طرفی اثر متقابل آبیاری و پرایمینگ، تیمار ۷ روز یک‌بار آبیاری توانست محتوای نسبی آب را تحت تأثیر قرار دهد، نتایج نشان داد که پرایمینگ بذر در تیمار ۷ روز یک‌بار آبیاری سبب افزایش معنادار محتوای نسبی آب نسبت به شرایط عدم پرایمینگ بذر گردید (جدول ۸). همچنین برش‌دهی اثر متقابل رقم و پرایمینگ، رقم Q29 اثر معناداری بر محتوای نسبی آب داشت، به‌طوری‌که در شرایط پرایمینگ افزایش معناداری در متغیر مذکور حاصل شد (جدول ۱۰). با بررسی اثر متقابل سه فاکتور موردمطالعه در منطقه نیشابور، بیشترین میزان محتوای نسبی آب در رقم Q29 (صرف‌نظر از پرایمینگ بذر) و عدم پرایم رقم Q12 تحت تیمار ۷ روز یک‌بار آبیاری به‌دست آمد.

همچنین کمترین میزان محتوای نسبی آب در تیمار عدم پرایمینگ بذر رقم گیزا به همراه ۱۴ روز یک‌بار آبیاری، در نیشابور حاصل شد و در منطقه نیشابور با افزایش دور آبیاری محتوای نسبی آب کاهش یافت (جدول ۱۱).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات تأثیر آبیاری، نوع رقم و پرایمینگ بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه کینوا در منطقه کاشمر

Table 3. The results of mean square variance analysis of the effect of irrigation, cultivar type and priming on some physiological traits and yield of quinoa plant in Kashmar region

S.O.V	منبع تغییر	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب RWC	نشت یونی EC	پایداری غشا CMS	کلروفیل a Chl a
Replication	تکرار	2	13.16^{ns}	1.45^{ns}	6.17^{ns}	0.0068^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	4298.64**	1975.05**	10229.28**	0.4432**
Error a	خطای اصلی	4	99.00^{ns}	9.73^{ns}	79.40^{ns}	0.0130^{ns}
Variety (V)	رقم	2	95.42^{ns}	62.48**	239.95*	1.2613**
Priming (P)	پرایمینگ	1	541.94**	367.24**	1599.44**	0.2535**
I × V	آبیاری × رقم	4	180.50*	47.46**	231.17**	0.1651**
I × P	آبیاری × پرایمینگ	2	268.94*	125.11**	378.97**	0.4002**
V × P	رقم × پرایمینگ	2	637.20**	5.44^{ns}	113.98^{ns}	0.8238**
I × V × P	آبیاری × رقم × پرایمینگ	4	51.78^{ns}	11.71^{ns}	82.70^{ns}	0.4168**
Error b	خطای فرعی	30	60.16	10.12	54.98	0.0324
(CV%)	ضریب تغییرات		*11.95*	*8.80*	*12.36*	*21.78*

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

S.O.V	منبع تغییر	درجه آزادی df	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Total Chl	کاروتنوئید Carotenoid	عملکرد Yield
Replication	تکرار	2	0.002^{ns}	0.05^{ns}	0.002^{ns}	1200718.52**
Irrigation (I)	آبیاری	2	0.118**	0.10^{ns}	0.020*	16897096.30**
Error a	خطای اصلی	4	0.002^{ns}	0.02^{ns}	0.003^{ns}	302187.96**
Variety (V)	رقم	2	0.375**	0.80**	0.001^{ns}	257874.07*
Priming (P)	پرایمینگ	1	0.690**	0.12^{ns}	0.164**	4687557.41**
V × I	آبیاری × رقم	4	0.105**	0.25**	0.086**	736335.19**
P × I	آبیاری × پرایمینگ	2	0.395**	1.15**	0.106**	766229.63**
P × V	رقم × پرایمینگ	2	0.324**	0.54**	0.067**	89985.19^{ns}
P × V × I	آبیاری × رقم × پرایمینگ	4	0.139**	0.73**	0.102**	181590.74*
Error b	خطای فرعی	30	0.008	0.04	0.003	51535.93
CV%)	ضریب تغییرات		26.18	17.24	15.72	13.12

ns، ** و * به ترتیب معرف غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند.

*, **, significant at P< 0.05 and P< 0.01 respectively

محققان گزارش کردند که تغذیه کافی روی باعث بهبود رشد رویشی و تحمل به خشکی در یونجه با افزایش رشد ریشه و RWC می‌شود (Grewal and Williams, 2000). حفظ وضعیت آب خوب برگ نتیجه کنترل مناسب سلول‌های نگهبان در شرایط مختلف است که باعث بهبود رشد و افزایش بقای محصول در شرایط تنش می‌شود (Steudle, 2002)؛ بنابراین، از این دیدگاه، بهبود RWC باواسطه کاربرد روی و آهن منجر به سازگاری بهتر محصول با شرایط کمبود آب می‌شود. کاربرد روی به دلیل نقش روی در بهبود تشکیل بافت، تجمع اسمولیت و جلوگیری از اثرات مخرب شرایط کمبود آب در بافت‌های برگ، از RWC پشتیبانی می‌کند (Gadallah and Ramadan, 1997; Gadallah, 2000). در نتیجه، کاربرد روی باعث بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش نشت الکترولیت می‌شود که به‌نوبه خود پایداری غشا را افزایش می‌دهد و منجر به افزایش RWC تحت تنش خشکی می‌شود. به نظر می‌رسد در شرایط تنش تیمارهای پرایمینگ با افزایش محتوی نسبی آب برگ و در نتیجه تنظیم اسمزی سلول سبب حفظ و بهبود رشد گیاه می‌گردند.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات تأثیر آبیاری، نوع رقم و پرایمینگ بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه کینوا در منطقه نیشابور

Table 4. The results of mean square variance analysis of the effect of irrigation, cultivar type and priming on some physiological traits and yield of quinoa plant in Neishabour region

S.O.V	منبع تغییر	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب RWC	نشت یونی EC	پایداری غشا CMS	کلروفیل a Chl a
Replication	تکرار	2	105.44*	10.95^{ns}	30.56^{ns}	0.025^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	8333.48**	1848.15**	8047.02**	3.081**
Error a	خطای اصلی	4	34.36^{ns}	17.91^{ns}	45.60^{ns}	0.027^{ns}
Variety (V)	رقم	2	1300.21**	106.12**	811.34**	0.708**
Priming (P)	پرایمینگ	1	454.31**	169.63**	795.72**	0.269**
V × I	آبیاری × رقم	4	455.88**	176.75**	887.76**	0.242**
P × I	آبیاری × پرایمینگ	2	341.86**	32.08*	255.24**	0.365**
P × V	رقم × پرایمینگ	2	961.13**	20.83^{ns}	61.64*	0.582**
P × V × I	آبیاری × رقم × پرایمینگ	4	936.20**	37.04**	106.22**	0.267**
Error b	خطای فرعی	30	28.04	7.14	23.61	0.011
CV%	ضریب تغییرات		11.15	9.73	11.94	17.31

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

S.O.V	منبع تغییر	درجه آزادی df	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Total Chl	کاروتنوئید Carotenoid	عملکرد Yield
Replication	تکرار	2	0.002^{ns}	0.024^{ns}	0.0079^{ns}	940024.07**
Irrigation (I)	آبیاری	2	0.066**	3.530**	0.0014^{ns}	7500690.74**
Error a	خطای اصلی	4	0.005^{ns}	0.051^{ns}	0.0015^{ns}	52382.41**
Variety (V)	رقم	2	0.050**	1.103**	0.0005^{ns}	2458590.74**
Priming (P)	پرایمینگ	1	0.114**	0.032^{ns}	0.0153*	161157.41**
I × V	آبیاری × رقم	4	0.139**	0.483**	0.0043^{ns}	1174024.07**
I × P	آبیاری × پرایمینگ	2	0.0001^{ns}	0.375**	0.0033^{ns}	661357.41**
V × P	رقم × پرایمینگ	2	0.555**	2.237**	0.0038^{ns}	5291890.74**
I × V × P	آبیاری × رقم × پرایمینگ	4	0.345**	0.696**	0.0001^{ns}	1639807.41**
Error b	خطای فرعی	30	0.008	0.026	0.0026	12989.63
(CV%)	ضریب تغییرات		19.95	15.32	14.67	7.17

ns، ** و * به ترتیب معرف غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند.

*, **, significant at P< 0.05 and P< 0.01 respectively

پایداری غشای سلولی و نشت یونی

پایداری غشای سلولی در هر دو منطقه تحت تأثیر اثر ساده و متقابل تیمارهای موردبررسی قرار گرفت، گرچه اثر متقابل رقم و پرایمینگ و اثر متقابل سه فاکتور در منطقه کاشمر، اثر معناداری بر متغیر مذکور نداشت (جداول ۳ و ۴). برش‌دهی اثر متقابل تیمارهای رقم و آبیاری و اثر متقابل آبیاری و پرایمینگ در منطقه کاشمر نشان داد که تیمار ۷ و ۱۰ روز یک‌بار آبیاری بر پایداری غشای سلول معنادار بود. نتایج نشان داد که رقم Q29 در تیمارهای آبیاری ۷ و ۱۰ روز یک‌بار سبب کاهش معنادار متغیر مذکور گردید، از طرفی بیشترین مقدار پایداری غشای سلول در رقم Q12 به دست آمد (جدول ۶). همچنین پرایمینگ بذور در تیمارهای آبیاری ۷ و ۱۰ روز یک‌بار سبب کاهش معنادار پایداری غشا گیاه کینوا در منطقه کاشمر گردید (جدول ۸) مقایسه میانگین اثر متقابل سه فاکتور مورد آزمایش در منطقه نیشابور نشان داد که رقم Q12 (صرف‌نظر از پرایمینگ بذر) به همراه اعمال ۱۴ روز یک‌بار آبیاری باعث افزایش معنادار پایداری غشا در نیشابور گردید. گرچه کمترین میزان پایداری غشا در تیمار پرایمینگ بذر رقم Q12 و گیزا به همراه کاربرد ۷ روز یک‌بار آبیاری به دست آمد (جدول ۹).

آنالیز واریانس داده‌های برداشت‌شده از منطقه کاشمر نشان داد که اثر ساده تیمارهای آبیاری، رقم و پرایمینگ و

اثر متقابل آن‌ها (به‌جز اثر متقابل تیمار رقم × پرایمینگ و اثر متقابل سه فاکتور) بر میزان نشت یونی در گیاه کینوا معنی‌دار بود (جدول ۳). در برش‌دهی اثر متقابل آبیاری و رقم و اثر متقابل آبیاری و پرایمینگ در منطقه کاشمر مشخص شد که تنها تیمار ۷ روز یک‌بار آبیاری بر میزان نشت یونی معنادار بود. (جدول ۷). نتایج نشان داد که رقم Q29 کمترین و ارقام Q12 و گیزا بیشترین میزان نشت یونی را نشان دادند (جدول ۵). در برش‌دهی اثر متقابل آبیاری و پرایمینگ نتایج نشت یونی مشابه پایداری غشا در منطقه کاشمر بود، به‌طوری‌که پرایمینگ در تیمارهای آبیاری ۷ و ۱۰ روز یک‌بار میزان نشت یونی را به‌طور معناداری کاهش داد (جدول ۸). در منطقه نیشابور اثر ساده و متقابل تیمارهای مذکور بر میزان نشت یونی معنی‌دار بود، گرچه اثر متقابل رقم × پرایمینگ نتوانست متغیر مذکور را تحت تأثیر قرار دهد (جدول ۴). اثر متقابل سه تیمار موردبررسی در نیشابور نشان داد که بیشترین مقدار نشت یونی، در رقم Q12 به همراه تیمار ۱۴ روز یک‌بار آبیاری (صرف‌نظر از پرایمینگ بذر) به دست آمد. پرایمینگ بذر ارقام Q12 و گیزا به همراه اعمال تیمار ۷ روز یک‌بار آبیاری سبب کاهش معنادار میزان نشت یونی گردید. نتایج نشان داد که پرایمینگ بذر رقم Q29 در دورهای مختلف آبیاری، اختلاف معناداری در میزان نشت یونی با یکدیگر نداشتند (جدول ۱۱).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی اثر متقابل میانگین مربعات ارقام مختلف در هر سطح آبیاری بر محتوای نسبی آب، نشت یونی و پایداری غشا گیاه کینوا در منطقه کاشمر

Table 5. The results of analysis of variance of slicing effect of mean square of different cultivars in each irrigation level on relative water content, ion leakage and membrane stability of quinoa plant in Kashmar region.

		درجه آزادی	میانگین مربعات (Mean Square)		
			محتوای نسبی آب	نشت یونی	پایداری غشا
S.O.V	منبع تغییر	df	RWC	EC	CMS
7 days once	۷ روز یک‌بار	2	22.70^{ns}	120.76**	381.76**
10 days once	۱۰ روز یک‌بار	2	51.84^{ns}	25.88^{ns}	201.77*
14 days once	۱۴ روز یک‌بار	2	376.89**	10.76^{ns}	118.72^{ns}

ns، ** و * به ترتیب معرف غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند.

*, **, significant at P< 0.05 and P< 0.01 respectively

جدول ۶. مقایسه میانگین برش دهی اثر متقابل آبیاری × رقم بر محتوای نسبی آب، نشت یونی و پایداری غشا در گیاه کینوا در منطقه کاشمر

Table 6. Comparison of the average interaction effect of irrigation × variety on relative water content, ion leakage and membrane stability in quinoa plant in Kashmar region

آبیاری Irrigation	رقم Variety	محتوای نسبی آب RWC	نشت یونی EC	پایداری غشا CMS
		----------%----------		
۷ روز یک‌بار 7 days once	Q12	80.54^{a}	28.42^{a}	41.01^{a}
	G	83.82^{a}	24.79^{a}	33.58^{ab}
	Q29	79.77^{a}	19.49^{b}	25.07^{b}
۱۰ روز یک‌بار 10 days once	Q12	59.76^{a}	42.27^{a}	73.73^{a}
	G	62.14^{a}	40.10^{a}	67.38^{ab}
	Q29	65.60^{a}	38.12^{a}	62.15^{b}
۱۴ روز یک‌بار 14 days once	Q12	56.06^{a}	43.54^{a}	77.47^{a}
	G	54.53^{a}	42.91^{a}	75.44^{a}
	Q29	41.63^{b}	45.48^{a}	83.95^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

In each column means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability using LSD.

علاوه بر این، تنش خشکی به دلیل کاهش فعالیت آنتی-اکسیدان‌ها، محتوای مالون دی‌آلدئید (MDA) و نشت یون را افزایش می‌دهد (Ghanepour et al., 2015). کاربرد روی باعث بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) و پراکسیداز (POD) و کاهش اثرات استرس اکسیداتیو، تجمع MDA و نشت الکترولیت

می‌شود؛ بنابراین روی غشاهای سلولی را از آسیب‌های ناشی از تنش خشکی محافظت می‌کند. زاگو و اوتیزا (Zago and Oteiza, 2001) بیان کردند عناصر روی و آهن با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان نقش مهمی در تعدیل رادیکال‌های آزاد و آثار تخریبی آن‌ها در سیستم‌های غشایی دارند؛ ازاین‌رو به نظر می‌رسد پرایمینگ سولفات روی و آهن با افزایش تولید آنزیم‌های حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد، تحمل گیاه را به تنش رطوبتی افزایش می‌دهد؛ در نتیجه گیاه دیرتر با شرایط تنش مواجه شده و درصد نشت آن کاهش می‌یابد.

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی اثر متقابل میانگین مربعات سطوح پرایمینگ در هر سطح آبیاری بر محتوای نسبی آب، نشت یونی و پایداری غشا گیاه کینوا در منطقه کاشمر

Table 7. The results of analysis of variance of slicing effect of mean square of priming levels in each irrigation level on relative water content, ion leakage and membrane stability of quinoa plant in Kashmar region.

		درجه آزادی	میانگین مربعات (Mean Square)		
S.O.V	منبع تغییر	df	محتوای نسبی آب RWC	نشت یونی EC	پایداری غشا CMS
7 days once	۷ روز یک‌بار	1	927.82**	521.63**	1587.39**
10 days once	۱۰ روز یک‌بار	1	5.10^{ns}	95.49**	766.96**
14 days once	۱۴ روز یک‌بار	1	146.90^{ns}	0.33^{ns}	3.00^{ns}

ns، ** و * به ترتیب معرف غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند.

*, **, significant at P< 0.05 and P< 0.01 respectively

جدول ۸. مقایسه میانگین برش‌دهی اثر متقابل آبیاری × پرایمینگ بر محتوای نسبی آب، نشت یونی و پایداری غشا در گیاه کینوا در منطقه کاشمر

Table 8. Comparison of the mean of slicing interaction effect of irrigation × priming on relative water content, ion leakage and membrane stability in quinoa plant in Kashmar region

آبیاری Irrigation	Priming	پرایمینگ	محتوای نسبی آب RWC	نشت یونی EC	پایداری غشا CMS
			----------%----------		
۷ روز یک‌بار 7 days once	Priming	پرایمینگ	88.55^{a}	18.85^{b}	23.83^{b}
	non-Priming	عدم پرایمینگ	74.19^{b}	29.62^{a}	42.61^{a}
۱۰ روز یک‌بار 10 days once	Priming	پرایمینگ	61.97^{a}	37.86^{b}	61.23^{b}
	non-Priming	عدم پرایمینگ	63.03^{a}	42.47^{a}	74.28^{a}
۱۴ روز یک‌بار 14 days once	Priming	پرایمینگ	53.60^{a}	43.84^{a}	78.54^{a}
	non-Priming	عدم پرایمینگ	47.88^{a}	44.12^{a}	79.36^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

In each column means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability using LSD.

کلروفیل و کاروتنوئید

اثر ساده و متقابل تمامی فاکتورها بر مقدار کلروفیل a، در هر دو منطقه کاشمر نیشابور معنادار بود (جداول ۳ و ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × رقم × پرایمینگ نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a در منطقه کاشمر در رقم Q29 پرایمینگ شده، تحت شرایط آبیاری ۷ و ۱۰ روز یک‌بار و همچنین در رقم Q29 تحت شرایط عدم پرایمینگ و آبیاری هر ۷ روز یک‌بار به دست آمد. درحالی‌که در منطقه نیشابور بیشترین مقدار کلروفیل a در رقم گیزا تحت شرایط عدم پرایمینگ و آبیاری هر ۱۰ روز یک‌بار مشاهده شد. کمترین مقدار کلروفیل a در منطقه کاشمر در رقم Q12 صرف‌نظر از دورهای مختلف آبیاری، تحت شرایط عدم پرایمینگ بذر حاصل شد. در منطقه نیشابور صرف‌نظر از ارقام مختلف، شرایط عدم پرایمینگ و آبیاری ۱۴ روز یک‌بار سبب کاهش معنادار کلروفیل a نسبت به سایر تیمارها گردید (جدول ۱۲).

جدول ۹. نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی اثر متقابل میانگین مربعات سطوح پرایمینگ در ارقام مختلف بر محتوای نسبی آب گیاه کینوا در منطقه کاشمر

Table 9. The results of analysis of variance of slicing effect of mean square of priming levels in different cultivars on the relative water content of quinoa plant in Kashmar region.

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square) محتوای نسبی آب RWC
۷ روز یک‌بار 7 days once	1	0.20^{ns}
۱۰ روز یک‌بار 10 days once	1	7.11^{ns}
۱۴ روز یک‌بار 14 days once	1	1809.03^{**}

ns، ** و * به ترتیب معرف غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند.

*, **, significant at P< 0.05 and P< 0.01 respectively

جدول ۱۰. مقایسه میانگین برش‌دهی اثر متقابل رقم × پرایمینگ بر محتوای نسبی آب در گیاه کینوا در منطقه کاشمر

Table 10. Comparison of the mean of slicing interaction effect of cultivar × priming on relative water content in quinoa plant in Kashmar region

رقم Variety	پرایمینگ Priming	محتوای نسبی آب RWC (%)
Q12	Priming پرایمینگ	65.56^{a}
	non-Priming عدم پرایمینگ	65.35^{a}
G	Priming پرایمینگ	66.20^{a}
	non-Priming عدم پرایمینگ	67.46^{a}
Q29	Priming پرایمینگ	72.36^{a}
	non-Priming عدم پرایمینگ	52.31^{b}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

In each column means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability using LSD

جدول ۱۱. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری×پرایمینگ×رقم بر محتوای نسبی آب، نشت یونی و پایداری غشا گیاه کینوا در منطقه نیشابور

Table 11. Comparison of the mean interaction effect of irrigation × priming × cultivar on relative water content, ion leakage and membrane stability of quinoa plant in Neishabour region

پرایمینگ Priming	آبیاری Irrigation	رقم Variety	محتوای نسبی آب RWC	نشت یونی EC	پایداری غشا CMS
			----------%		
پرایمینگ Priming	۷ روز یک‌بار 7 days once	Q12	60.22^{c}	11.93^{k}	13.59^{i}
		G	79.85^{b}	15.71^{jk}	18.68^{hi}
		Q29	87.88^{ab}	25.01^{fg}	33.87^{ef}
	۱۰ روز یک‌بار 10 days once	Q12	45.57^{de}	27.14^{f}	37.38^{e}
		G	32.46^{fgh}	21.41^{ghi}	27.30^{fg}
		Q29	47.39^{d}	24.69^{fg}	32.78^{ef}
	۱۴ روز یک‌بار 14 days once	Q12	28.54^{gh}	44.64^{ab}	80.65^{a}
		G	37.88^{ef}	33.01^{de}	49.30^{d}
		Q29	33.69^{fg}	27.48^{f}	38.02^{e}
عدم پرایمینگ non-Priming	۷ روز یک‌بار 7 days once	Q12	81.69^{ab}	18.51^{hij}	22.87^{gh}
		G	23.86^{h}	17.23^{ij}	20.83^{ghi}
		Q29	89.83^{a}	21.14^{ghi}	27.56^{fg}
	۱۰ روز یک‌بار 10 days once	Q12	44.39^{de}	32.22^{e}	47.54^{d}
		G	47.73^{d}	27.04^{f}	37.19^{e}
		Q29	46.09^{de}	22.03^{gh}	28.31^{fg}
	۱۴ روز یک‌بار 14 days once	Q12	25.17^{gh}	46.96^{a}	88.57^{a}
		G	11.81^{i}	40.59^{bc}	68.59^{b}
		Q29	30.70^{fgh}	37.20^{cd}	59.23^{c}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

In each column means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability using LSD.

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده و متقابل تمامی فاکتورها، بر مقدار کلروفیل b در هر دو منطقه کاشمر و نیشابور (به‌جز اثر متقابل آبیاری × پرایمینگ در منطقه نیشابور) اثر معناداری داشت (جداول ۳ و ۴). نتایج اثر متقابل آبیاری × رقم × پرایمینگ نشان داد که در منطقه کاشمر عدم پرایمینگ رقم Q12 تحت شرایط آبیاری هر ۱۴ روز یک‌بار

سبب افزایش معنادار مقدار کلروفیل b نسبت به سایر تیمارها گردید. در منطقه نیشابور بیشترین مقدار کلروفیل b در رقم گیزا تحت شرایط عدم پرایمینگ بذر و آبیاری ۱۰ روز یک‌بار به دست آمد. درحالی‌که عدم پرایمینگ رقم گیزا تحت شرایط آبیاری ۱۰ روز یک‌بار سبب کاهش معنادار مقدار کلروفیل b در منطقه کاشمر گردید. در منطقه نیشابور کمترین مقدار کلروفیل b در تیمار پرایمینگ ارقام Q29 و گیزا تحت آبیاری ۷ روز یک‌بار بود. از طرفی در هر دو منطقه پرایمینگ بذور به همراه آبیاری ۱۴ روز یک‌بار، صرف‌نظر از ارقام مختلف سبب کاهش معنادار در مقدار کلروفیل b گردید (جدول ۱۲).

متغیر کلروفیل کل در هر دو منطقه، به‌طور معناداری تحت تأثیر اثر ساده و متقابل تیمارهای آبیاری، رقم و پرایمینگ (به‌جز اثر ساده پرایمینگ در دو منطقه) قرار گرفت (جداول ۳ و ۴). نتایج حاصل از آزمایش بیانگر آن بود که عدم پرایمینگ بذر رقم Q29 تحت دورهای آبیاری ۷ و ۱۴ روز یک‌بار و همچنین پرایمینگ ارقام Q29 و گیزا به ترتیب تحت شرایط آبیاری ۱۰ و ۷ روز یک‌بار سبب افزایش معنادار کلروفیل کل در منطقه کاشمر گردید. در منطقه نیشابور بیشترین مقدار کلروفیل کل در رقم تیمار عدم پرایمینگ رقم گیزا تحت آبیاری هر ۱۰ روز یک‌بار به دست آمد. عدم پرایمینگ بذور صرف‌نظر از ارقام مختلف منطقه کاشمر و تیمار پرایمینگ رقم Q12 در منطقه نیشابور تحت شرایط آبیاری ۱۴ روز یک‌بار سبب کاهش معنادار مقدار کلروفیل کل گردید (جدول ۱۲). با توجه به نتایج افزایش دور آبیاری بسته به رقم سبب کاهش یا افزایش مقدار کلروفیل می‌گردد.

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده و متقابل تمامی فاکتورها (به‌جز اثر ساده رقم)، بر مقدار کاروتنوئید در منطقه کاشمر اثر معناداری داشت (جدول ۳). درحالی‌که در منطقه نیشابور تنها اثر ساده پرایمینگ بر مقدار کاروتنوئید معنادار بود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل آبیاری × رقم × پرایمینگ نشان داد که در منطقه کاشمر تیمار عدم پرایمینگ رقم Q12 در شرایط آبیاری هر ۱۴ روز یک‌بار سبب افزایش معنادار مقدار کاروتنوئید گردید. درحالی‌که همان تیمار تحت شرایط پرایمینگ بذر کمترین مقدار را در کاروتنوئید گیاه سبب شد (جدول ۱۲).

کاهش کلروفیل تحت تنش آبی به علت از دست دادن استحکام غشای کلروپلاست است که مربوط به افزایش فعالیت فسفاتاز قرار گرفته بر روی غشای کلروفیل است (De Silva et al., 1979). همچنین به نظر می‌رسد کاهش محتوای کلروفیل در تنش آبی، در اثر تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و به دنبال آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل بوده است (Jiang and Huang, 2001). سینگ و همکاران (Singh et al., 1985) بیان کردند که تداوم تنش آبی منجر به کاهش کلروفیل برگ و شاخص پایداری کلروفیل می‌شود و تنش نسبتاً متوسط از سنتز کلروفیل در گندم جلوگیری می‌کند. کاهش مقدار کلروفیل در اثر تنش آبی در گیاهان مختلف ازجمله پنبه (Massacci et al., 2008)، گلرنگ (Jaleel et al., 2008)، آفتابگردان (Manivannan et al., 2007) و نخود (Mafakheri et al., 2010) گزارش شده است. علاوه بر این، کاربرد روی سنتز کلروفیل را بهبود می‌بخشد، زیرا روی یک جزء ساختاری پروتئین‌ها و آنزیم‌های مختلف و یک عامل کمکی برای بیوسنتز طبیعی رنگ‌دانه‌ها است (Balashouri, 1995). همچنین، روی نفوذپذیری و یکپارچگی غشاء را تحت تنش آب تثبیت می‌کند که منجر به افزایش فتوسنتز می‌شود (Ma et al., 2017; Cakmak, 2000). علاوه بر این، روی بر غلظت مواد مغذی دخیل در سنتز کلروفیل و در دسترس بودن سایر مواد مغذی ازجمله نیتروژن و منگنز تأثیر می‌گذارد که به‌عنوان اجزای سازنده در ساختار مولکولی عمل می‌کنند. از طرف دیگر نتایج پژوهش گرزی و همکاران (Gorzi et al., 2020) نشان می‌دهد که تأثیر منفی تنش خشکی بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی، در شرایط کاربرد تیمارهای مختلف پرایمینگ نسبت به شرایط عدم پرایمینگ کم‌تر شده است، به‌طوری‌که در بالاترین سطح تنش خشکی (۰/۹- مگاپاسکال)، مؤثرترین تیمارها در افزایش معنی‌دار محتوی کلروفیل a،b و کل، تیمارهای اسید سالیسیلیک + آهن + روی و آهن + روی بودند. کاهش محتوی کلروفیل در اثر تنش‌های خشکی و شوری و جبران و افزایش محتوی کلروفیل در اثر کاربرد تیمارهای پرایمینگ در مطالعات قبلی دیگر نیز گزارش شده است (Aghighi Shahverdi et al., 2017; Hussain et al., 2017). سایر محققان دریافتند که کاربرد هم‌زمان آهن و روی، به‌ویژه با پرایمینگ نانو روی، محتوای کلروفیل a، b و Chl a+b را بیشتر افزایش داد (Azimi et al., 2022). دلیل این پدیده می‌تواند محدودیت در مقدار دلتا آمینولوولینیک به دلیل کمبود آهن باشد (Kiani, 2012)، بنابراین کاربرد هم‌زمان آهن و روی، دسترسی آهن را فراهم می‌کند و در نتیجه میزان کلروفیل افزایش می‌یابد. رو و

جدول ۱۲. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × پرایمینگ × رقم بر میزان کلروفیل و کاروتوئید گیاه کینوا در دو منطقه کاشمر و نیشابور

Table 12. Comparison of the mean interaction effect of irrigation × priming × cultivar on the amount of chlorophyll and carotenoids of quinoa plant in two regions of Kashmar and Neishabour

			کاشمر (Kashmar)				
پرایمینگ Priming	آبیاری Irrigation	رقم Variety	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Total Chl	کاروتنوئید Carotenoid	عملکرد Yield
			---------- mg.g^{-1} FW ----------				kg.ha^{-1}
پرایمینگ Priming	۷ روز یک‌بار 7 days once	Q12	0.98^{cde}	0.35^{cd}	1.34^{bcd}	0.37^{efg}	3383^{a}
		G	1.38^{ab}	0.37^{cd}	1.75^{ab}	0.50^{c}	2923^{b}
		Q29	0.59^{ghi}	0.26^{cd}	0.86^{efg}	0.28^{ghi}	3437^{a}
	۱۰ روز یک‌بار 10 days once	Q12	1.03^{cd}	0.21^{cd}	1.25^{cde}	0.28^{ghi}	1707^{e}
		G	0.80^{defg}	0.17^{d}	0.98^{def}	0.47^{cd}	2337^{d}
		Q29	1.56^{a}	0.24^{cd}	1.80^{ab}	0.26^{hi}	1720^{e}
	۱۴ روز یک‌بار 14 days once	Q12	0.48^{hijk}	0.18^{cd}	0.67^{fg}	0.22^{i}	987^{g}
		G	0.55^{ghij}	0.15^{d}	0.71^{fg}	0.26^{hi}	650^{h}
		Q29	0.65^{fghi}	0.21^{cd}	0.86^{efg}	0.33^{fgh}	1077^{g}
عدم پرایمینگ non-Priming	۷ روز یک‌بار 7 days once	Q12	0.28^{ijk}	0.22^{cd}	0.51^{g}	0.20^{i}	2620^{c}
		G	0.70^{efgh}	0.13^{d}	0.83^{efg}	0.39^{def}	1453^{f}
		Q29	1.53^{a}	0.44^{bcd}	1.98^{a}	0.61^{b}	2633^{c}
	۱۰ روز یک‌بار 10 days once	Q12	0.36^{ijk}	0.80^{b}	1.17^{cde}	0.36^{efgh}	1307^{f}
		G	0.62^{ghi}	0.23^{cd}	0.85^{efg}	0.39^{def}	1443^{f}
		Q29	1.11^{bc}	0.25^{cd}	1.37^{bcd}	0.33^{fgh}	1310^{f}
	۱۴ روز یک‌بار 14 days once	Q12	0.19^{k}	1.28^{a}	1.47^{bc}	0.87^{a}	653^{h}
		G	0.93^{cdef}	0.24^{cd}	1.18^{cde}	0.35^{fgh}	757^{h}
		Q29	1.06^{cd}	0.56^{bc}	1.62^{abc}	0.45^{cde}	740^{h}

Table 12. Continued **جدول ۱۲. ادامه**

			نیشابور (Neishabour)				
پرایمینگ Priming	آبیاری Irrigation	رقم Variety	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Total Chl	کاروتنوئید Carotenoid	عملکرد Yield
			---------- mg.g^{-1} FW ----------				kg.ha^{-1}
پرایمینگ Priming	۷ روز یک‌بار 7 days once	Q12	0.934^{d}	0.83^{b}	1.77^{b}	0.38^{a}	2647^{b}
		G	1.286^{b}	0.18^{hi}	1.47^{c}	0.38^{a}	2207^{c}
		Q29	1.100^{cd}	0.12^{i}	1.22^{cd}	0.36^{a}	1830^{cd}
	۱۰ روز یک‌بار 10 days once	Q12	0.981^{cd}	0.47^{bc}	1.45^{c}	0.36^{a}	2180^{c}
		G	0.661^{ef}	0.23^{ghi}	0.89^{ef}	0.38^{a}	1340^{ef}
		Q29	0.589^{efg}	0.74^{bc}	1.33^{c}	0.38^{a}	2000^{c}
	۱۴ روز یک‌بار 14 days once	Q12	0.492^{fg}	0.29^{fgh}	0.78^{ef}	0.29^{a}	1183^{ef}
		G	0.047^{h}	0.41^{ef}	0.46^{g}	0.39^{a}	693^{i}
		Q29	0.052^{h}	0.41^{ef}	0.47^{g}	0.35^{a}	710^{i}
عدم پرایمینگ non-Priming	۷ روز یک‌بار 7 days once	Q12	0.695^{e}	0.29^{fgh}	0.98^{ef}	0.35^{a}	1483de
		G	1.157^{bc}	0.77^{bc}	1.92^{b}	0.29^{a}	2873^{b}
		Q29	0.162^{h}	0.34^{efg}	0.50^{g}	0.30^{a}	757^{ghi}
	۱۰ روز یک‌بار 10 days once	Q12	0.589^{efg}	0.35^{efg}	0.94^{ef}	0.35^{a}	1117^{efg}
		G	1.587^{a}	1.10^{a}	2.69^{a}	0.33^{a}	4013^{a}
		Q29	0.454^{g}	0.27^{fghi}	0.72^{efg}	0.35^{a}	1090^{fgh}
	۱۴ روز یک‌بار 14 days once	Q12	0.074^{h}	0.38^{efg}	0.45^{g}	0.32^{a}	690^{i}
		G	0.073^{h}	0.41^{ef}	0.48^{g}	0.35^{a}	730^{hi}
		Q29	0.079^{h}	0.62^{cd}	0.70^{fg}	0.34^{a}	1053^{fghi}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

In each column means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability using LSD.

همکاران (Ru et al., 2018) همچنین بیان کرد که کاربرد هم‌زمان آهن و روی باعث افزایش محتوای کلروفیل در گندم شد. کارتنوئیدها رنگ‌دانه‌های کمکی هستند که با جذب و انتقال تابش نقش حفاظت کننده از کلروفیل در مقابل اکسیداسیون نوری را دارند (Eldahshan and Singab, 2013). گونه‌هایی که دارای کاروتنوئید بیشتری هستند، در شرایط اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی، قادر به دفاع مؤثرتری بوده و تحمل بهتری را در برابر تنش خشکی نشان می‌دهند (Nematollahi et al., 2013). افزایش میزان کارتنوئیدها و کاهش میزان کلروفیل در ارقام ذرت در شرایط تنش خشکی توسط سایر محققان گزارش شده است (Mohammadkhani and Heidari, 2007).

عملکرد دانه

عملکرد دانه در هر دو منطقه، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده و متقابل تیمارهای آبیاری، رقم و پرایمینگ (به‌جز اثر متقابل رقم×پرایمینگ در کاشمر) قرار گرفت (جداول ۳ و ۴). نتایج حاصل از آزمایش بیانگر آن بود که پرایمینگ بذر ارقام Q12 و Q29 تحت شرایط آبیاری ۷ روز یک‌بار سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در منطقه کاشمر گردید. در منطقه نیشابور بیشترین مقدار عملکرد دانه در رقم تیمار عدم پرایمینگ رقم گیزا تحت آبیاری ۱۰ روز یک‌بار به دست آمد. عدم پرایمینگ بذر صرف‌نظر از ارقام مختلف منطقه کاشمر تحت شرایط آبیاری ۱۴ روز یک‌بار و یا ۱۰ روز یک‌بار اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در عملکرد دانه نداشتند (جدول ۱۲).

بابائیان و همکاران (Babaeian et al., 2011) دریافتند که مدار آبیاری نامناسب علاوه بر کاهش سطح برگ و پیری زودرس آن‌ها، سبب کاهش میزان عملکرد نیز می‌گردد. ایشان ضمن تأکید بر افزایش عملکرد ناشی از کاربرد کودهای کم‌مصرف در آفتابگردان، افزایش سبزینگی و شادابی بیشتر برگ‌های آفتابگردان در تیمارهای تحت کاربرد این عناصر را گزارش کردند. همچنین سایر محققان نشان دادند که کاربرد آهن و روی عملکرد دانه را در گیاه گندم تا ۱۰/۴ درصد افزایش داد (Monjezi et al., 2013).

نتیجه‌گیری نهایی

تنش آبی اثرات منفی بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاه کینوا داشت و باعث کاهش معنی‌دار در میانگین این صفات گردید. همچنین پرایمینگ با عناصر غذایی کم‌مصرف آهن و روی سبب بهبود محتوای کلروفیل و پایداری غشا در شرایط نرمال و تنش گردید. با توجه به نتایج می‌توان اظهار داشت که در شرایط تنش ملایم و با پرایمینگ بذر می‌توان محتوای نسبی آب را در سطح قابل قبولی حفظ کرد و درصد نشت یونی را کاهش داد. همچنین با توجه به نتایج برای منطقه نیشابور رقم گیزا و برای منطقه کاشمر رقم Q29، ارقام مناسب و تا حدودی متحمل به تنش آبی خواهند بود.

منابع

Afsahi, K., Nazari, M., Omidi, H., Shekari, F., Bostani, A. A., 2020. The effects of different methods of zinc application on canola seed yield and oil content. Journal of Plant Nutrition. 43, 1-20. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1724299

Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H., Tabatabaei, SJ., 2017. Effect of nutri-priming on germination indices and physiological characteristics of stevia seedling under salinity stress. Journal of Seed Science. 39, 353-362. https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n4172539

Ahmed, I., Mabood Qazi, I., Jamal, S., 2016. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 34, 29–43. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.003

Ajouri, A., Asgedom, H., Becker, M., 2004. Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 167, 630–636. https://doi.org/10.1002/jpln.200420425

Akram, N.A., Iqbal, M., Muhammad, A., Ashraf, M., AlQurainy, F., Shafiq, S., 2018. Aminolevulinic acid and nitric oxide regulate oxidative defense and secondary metabolisms in canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. Protoplasma. 255, 163–174. https://doi.org/10.1007/s00709-017-1140-x

Alvarez-Fernandez, A., Garcıa-Lavina, P., Fidalgo, C., Abadıa, J., Abadıa A., 2004. Foliar fertilization to control iron chlorosis in pear

(*Pyrus communis* L.) trees. Plant and Soil. 263, 5-15. https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000047717.97167.d4

Anjum, S.A., Tanveer, M., Ashraf, U., Hussain, S., Shahzad, B., Khan, I., Wang, L., 2016. Effect of progressive drought stress on growth, leaf gas exchange, and antioxidant production in two maize cultivars. Environmental Science and Pollution Research. 23, 17132–17141. https://doi.org/10.1007/s11356-016-6894-8

Arabshahi, M., Mobasser, H.R., 2017. Effect of drought stress on carotenoid and chlorophyll contents and osmolyte accumulation. Chemisty Research Journal. 2, 193–197

Arnon, AN., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23, 112-121.

Azimi, S.M., Eisvand, H.R., Ismaili, A., Akbari, N., 2022. Effect of gibberellin, nano-nutrition with titanium, zinc and iron on yield and some physiological and qualitative traits of white beans. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 50, 12538. https://doi.org/0.15835/nbha50112538

Babaeian, M., Piri, I., Tavassoli, A., Esmaeilianand, Y., Gholami, H., 2011. Effect of water stress and micronutrients (Fe, Zn and Mn) on chlorophyll fluorescence, leaf chlorophyll content and sunflower nutrient uptake in sistan region. African Journal of Agricultural Research. 6, 3526-3531. https://doi.org/10.5897/AJAR10.1142

Babaeian, M., Heidari, M., Ghanbari, A., 2010. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characterstics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Iranian Journal Of Crop Sciences. 12, 311–391. [In Persian].

Bagci, S.A., Ekiz, H., Yilmaz, A., Cakmak, I., 2007. Effect of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. Journal of Agronomy and Crop Science. 193, 198–206. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00256.x

Bajjii, M., Kinet, J.M., Lutts, S., 2002. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. Plant Growth Regulation. 36, 61–70. https://doi.org/10.1023/A:1014732714549

Balashouri, P., 1995. Effect of zinc on germination, growth, pigment content and phytomass of *Vigna radiata* and Sorghum bicolor. Journal of Ecobiology. 7, 109–114.

Broadley, MR., White, PJ., Hammond, JP., Zelko, I., Lux, A., 2007. Zinc in plants. New Phytologist. 173, 677–702. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x

Burguieres, E., Mccue, P., Kwon, YI., Shetty, K., 2007. Effect of vitamin C and folic acid on seed vigour response and phenolic-linked antioxidant activity. Bioresource Technology. 98, 1393–1404. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.05.046

Cakmak, I., 2000. Tansley Review No. 111–possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist. 146, 185–205. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00630.x

Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant Soil. 302, 1–17. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3

Ceccato, D.V., Bertero, H.D., Batlla, D., 2011. Environmental control of dormancy in quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds: two potential genetic resources for pre-harvest sprouting tolerance. Seed Science Research. 21, 133-141. https://doi.org/10.1017/S0960258511000002X

Chattha, M.U., Hassan, M.U., Khan, I., Chattha, M.B., Mahmood, A., Chattha, M.U., Nawaz, M., Subhani, M.N., Kharal, M., Khan, S., 2017. Biofortification of Wheat Cultivars to Combat Zinc Deficiency. Frontiers in Plant Science. 8, 281. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00281

Chen, W., Yang, X., He, Z., Feng Y., Hu, F., 2007. Differential changing photosynthetic capacity, 77K chlorophyll fluorescence in chloroplast ultra-structure between Zincefficient and Zinc inefficient rice genotypes (*Oryza sativa* L.) under low Zinc stress. Journal of Plant Physiology. 132, 89-101. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00992.x

Cocozza, C., Pulvento, C., Lavini, A., Riccardi, M., d'Andria, R., Tognetti, R., 2012. Effects of increasing salinity stress and decreasing water availability on ecophysiological traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) grown in a mediterranean type-agroecosystem. Journal of

Agronomy and Crop Science. 199, 229-240. https://doi.org/10.1111/jac.12012

De Silva, J., Naylor, A., Krammer, P., 1979. Some ultra structural and enzymatic effects of water stress in cotton leaves. Paper presented at the Proceedings of National Academy Science, USA. 71,3243-7. https://doi.org/10.1073/pnas.71.8.3243

Dhir, B., Sharmila, P., Pardha, S.P., Sharma, S., Kumar, R., Mehta, D., 2011. Heavy metal induced physiological alterations in *Salvinia natans*. Ecotoxicology and Environmental Safety. 74, 1678–1684. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.05.009

Eldahshan, O.A., Singab, A.B., 2013. Carotenoids. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2, 225-234.

Fageria, N. K., 2016. The Use of Nutrients in Crop Plants. Boca Raton CRC Press, 448P.

FAO., 2013. International Year of Quinoa IYQ-2013. https://www.rlc.fao.org/en/about-fao/iyq-2012/ (accessed 11 March 2013; verified 11 March 2013). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gadallah, M.A.A., 2000. Effects of indole-3-acetic acid and zinc on growth, osmotic potential and soluble carbon and nitrogen components of soybean plants growing under water deficit. Journal of Arid Environments. 44, 451–467. https://doi.org/10.1006/jare.1999.0610

Gadallah, M.A.A., Ramadan, T., 1997. Effects of zinc and salinity on growth and anatomical structure of *Carthamus tinctorius* L. Biologia Plantarum. 39, 411–418. https://doi.org/10.1023/A:1001036411413

Ghanepour, S., Shakiba, M.R., Toorchi, M., Oustan, S., 2015. Role of Zn nutrition in membrane stability, leaf hydration status, and growth of common bean grown under soil moisture stress. Journal of Biodiversity and Environmental Science. 6, 9–20. https://doi.org/10.3390/agriculture10090396

Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh Zadeh, A., Pirzad, A., 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. Journal of Phytology. 2, 73-9.

Gibson, RS., 2006. Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. Proceedings of The Nutrition Society. 65, 51–60. https://doi.org/10.1079/PNS2005474

Gonzalez, J.A., Gallardo, M., Mirna Hilal, M., Rosa, M., Prado, F.E., 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. Botanical Studies. 50, 35-42.

Gorzi, A., Omidi, H., Bostani, A., 2020. Effect of Stevia (*Stevia rebaudiana*) Seed priming treatments with salicylic acid, iron, and zinc on some germination traits and photosynthetic pigments under drought stress. Iranian Journal of Seed Research. 6(2), 125-135. [In Persian with English Summary]

Grewal, H.S., Williams, R., 2000. Zinc nutrition affects alfalfa responses to water stress and excessive moisture. Journal of Plant Nutrition. 23, 949–962. https://doi.org/10.1080/01904160009382073

Guerinot, MA., Yi, Y., 1994. Iron: nutritious, noxious, and not readily available. Plant Physiology. 104, 815–820. https://doi.org/10.1104/pp.104.3.815

Hafeez, B., Khanif, YM, Saleem, M., 2013. Role of zinc in plant nutrition - a review. American journal of Experimental Agriculture. 50, 374–391.

Hera, M.H.R., Hossain, M., Paul, A.K., 2018. Effect of foliar zinc spray on growth and yield of heat tolerant wheat under water stress. International Journal of Biological and Environmental Engineering. 1, 10–16.

Hussain, H.A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S.A., Men, S., Wang, L., 2018. Chilling and Drought Stresses in Crop Plants: Implications, Cross Talk, and Potential Management Opportunities. Frontiers in Plant Science. 9, 393. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00393

Hussain, M., Farooq, M., Lee, DJ., 2017. 'Evaluating the role of seed priming in improving drought tolerance of pigmented and non-pigmented rice'. Journal of Agronomy and Crop Science. 203, 269-276. https://doi.org/10.1111/jac.12195

Hussain, S., Hussain, S., Qadir, T., Khaliq, A., Ashraf, U., Parveen, A., Saqib, M., Rafiq, M., 2019. Drought stress in plants: An overview on implications, tolerance mechanisms and agronomic mitigation strategies. Plant Science Today. 6, 389-402. https://doi.org/10.14719/pst.2019.6.4.578

Ibrahim, EA., 2016. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. Journal of

Plant Physiology. 192, 38-46. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.011

Jacobsen, S.E., 2006. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food Reviews International. 19, 167-177. https://doi.org/10.1081/FRI-120018883

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Lakshmanan, G.M.A., Gomathinayagam, M., Panneerselvam, R., 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of Catharanthus roseus under soil water deficits. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 61, 298-300. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.09.008

Jiang, X., Li, H., Song, X., 2016. 'Seed priming with melatonin effects on seed germination and seedling growth in maize under salinity stress'. Pakistan Journal of Botany. 48, 1345-1352.

Jiang, Y., Huang, B., 2001. Drought and heat injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science. 41, 436-442. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x

Karam, F., Lahoud, R., Masaad., R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., Rouphael, Y., 2007. Evaporation, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management. 90, 213–223. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.03.009

Kiani, S., 2012. Effects of iron on efficiency and map of photosystem II photochemical yield of rose flower using chlorophyll fluorescence imaging. Journal of Science and Technology of Greemhouse Culture. 2, 25-33. [In Persian].

Laity, JH., Lee, BM., Wright, PE., 2001. Zinc finger proteins: new insights into structural and functional diversity. Current Opinion in Structural Biology. 11, 39– 46. https://doi.org/10.1016/s0959-440x(00)00167-6

Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany. 78, 389-398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134

Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y., Guo, T., 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. Frontiers in Plant Science. 8, 860. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00860

Mabhaudhi, T., Chimonyo, VGP., Hlahla, S., Massawe, F., Mayes, S., Nhamo, L., Modi, AT., 2019. 'Prospects of orphan crops in climate change'. Planta. 1-14. https://doi.org/10.1007/s00425-019-03129-y

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., Sohrabi, Y., 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. Australian Journal of Crop Science. 4, 580-585.

Malakoti, M., Tehrani, M., 2000. The Role of Micronutrients on Yield and Qualify Increasing of Crops. Tabiat Modares University Press. 300p. [In Persian].

Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Alagu Lakshmanan, G.M., Panneerselvam, R., 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 59, 141-149. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.05.002

Marenco, RA., Lopes, NF., 2009. Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral, 3rd edn. Marenco RA, Lopes NF (eds), Publisher: Editora Universidade Federal de Viçosa, pp 267–297.

Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., Ramalingam, J., 2020. Seed priming: a feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. International Journal of Molecular Sciences. 21, 8258. https://doi.org/10.3390/ijms21218258

Massacci, A., Nabiev, S. M., Pietrosanti, L., Nematov, S. K., Chernikova, T. N., Thor, K., Leipner, J., 2008. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. Plant Physiology and Biochemistry. 46, 189-195. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.10.006

Mohammadkhani, N., R. Heidari., 2007. Effects of water stress on respiration, photosynthetic pigments and water content in two maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Sciences. 10, 4022-4028. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.4022.4028

Monjezi, F., Vazin, F., Hassanzadehdelouei, M., 2013. Effects of iron and zinc spray on yield and yield components of wheat (T*riticum*

Aestivum L.) in drought stress. Cercetări Agronomice în Moldova. Vol. XLVI, No. 1.

Morrissey, J., Guerinot, ML., 2009. Iron uptake and transport in plants: the good, the bad, and the ionome. Chemical Reviews. 109, 4553–4567. https://doi.org/10.1021/cr900112r

Nematollahi, E., A. Jafari., A. Bagheri., 2013. Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthesis pigments and macronutrients absorption in two sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. Journal of Plant Ecophysiology. 12, 37-51. [In Persian with English abstract].

Nowak, V., Du, J., Charrondière, UR., 2016. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food Chemistry. 193, 47-54. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111

Popov, V., Orlova, I., Kipaikina, N., Serebriiskaya, T., Merkulova, N., Nosov, Trunova, T. I., Tsydendambaev, V. D., Los, D. A., 2005. The effect of tobacco plant transformation with a gene for acyl-lipid δ9-desaturase from synechococcus vulcanus on plant chilling tolerance. Russian Journal of Plant Physiology. 52, 664-667. https://doi.org/10.1007/s11183-005-0098-2

Prasad, M. N. V., 2004. Heavy metal stress in plants. From biomolecules to ecosystems'. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag 2nd Ed, Pp: 462.

Ravi, S., Channal, H.T., Hebsur, N.S., Patil, B.N., Dharmatti, P.R., 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Karnataka Journal Agriculture Science. 21, 382-385.

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. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.02.002

Razzaq, M., Akram, N.A., Ashraf, M., Naz, H., Al-Qurainy, F., 2017. Interactive effect of drought and nitrogen on growth, some key physiological attributes and oxidative defense system in carrot (*Daucus carota* L.) plants. Scientia Horticulturae. 225, 373–379. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.055

Repo-Carrasco-Valencia, RA., Serna, LA., 2011. Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. Food Science and Technology. 31, 225-30. https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100035

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop science. 30, 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x

Ru, K., Hl, S., Kunjadia, B., 2018. Effect of zinc and iron application on leaf chlorophyll, carotenoid, grain yield and quality of wheat in calcareous soil of Saurashtra region. International Journal of Chemical Studies. 6, 2092-2096.

Ruiz, K. B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I. S., Antognoni, F., Martinez-Mosqueira, E. A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., Zurita-Silva, A., Bazile, D., Jacobsen, S.E., Molina-Montenegro, M.A., 2014. Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. Agronomy for Sustainable Development. 34, 349-359. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0

Sarlach, RS., Sharma, A., Bains, NS., 2013. Seed priming in wheat: effect on seed germination, yield parameters and grain yield. International Journal of Agricultural Research. 8, 109–112. https://doi.org/10.3923/ijar.2006.259.264

Sharma, AD., Rathore, SVS., Srinivasan, K., Tyagi. RK., 2014. Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). Scientia Horticulturae. 165, 75–81. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.044

Sheteiwy, M., Shen, H., Xu, J., Guan, Y., Song, W., Hu, J., 2017. Seed polyamines metabolism induced by seed priming with spermidine and 5- aminolevulinic acid for chilling tolerance improvement in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. Environmental and Experimental Botany. 137, 58–72. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.02.007

Singh, K., Verma, HD., Singh, PP., Jasmini, DK., 1985. Effect of sowing dates and nitrogen on growth and yield of some new wheat varieties. Indian Journal of Agronomy. 30, 72-74.

Singh, SP., Keller, B., Gruissem, W., Bhullar, NK., 2017. Rice NICOTIANAMINE SYNTHASE 2 expression improves dietary iron and zinc levels in wheat. Theoretical and Applied Genetics.130, 283–292. https://doi.org/10.1007/s00122-016-2808-x

Steudle, E. 2002. Transport of water in plants. Environment Control in Biology. 40,1, 29-37. https://doi.org/10.2525/ecb1963.40.29

Sultana, S., Naser, H.M., Shil, N.C., Akhter, S., Begum, R.A., 2016. Effect of foliar application of zinc on yield of wheat grown by avoiding irrigation at different growth stages. Bangladesh Journal of Agricultural Research. 41, 323–334. https://doi.org/10.3329/bjar.v41i2.28234

Tabassum, T., Farooq, M., Ahmad, R., Zohaib, A., Wahid, A., 2017. Seed priming and transgenerational drought memory improves tolerance against salt stress in bread wheat. Plant Physiology and Biochemistry. 118, 362-369. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.07.007

Talebnejad, R., Sepaskhah, A., 2016. Quinoa: a new crop for plant diversification under water and salinity stress conditions in Iran. In International Symposium on the Role of Plant Genetic Resources in Reclaiming Lands and Environment Deteriorated by Human. 1190, 101-106. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1190.10

Tessari, P., Lante, A., Mosca, G., 2016. Essential amino acids: master regulators of nutrition and environmental footprint? Scientific Reports. 6, 260-74. https://doi.org/10.1038/srep26074

Ulfat, A., Majid, SA., Hameed, A., 2017. Hormonal seed priming improves wheat (*Triticum aestivum* L.) field performance under drought and non-stress conditions. Pakistan Journal of Botany. 49, 1239-1253.

Vallee, BL., Falchuk, KH., 1993. The biochemical basis of zinc physiology. Physiology Review. 73, 79–118. https://doi.org/10.1152/physrev.1993.73.1.79

Velu, G., Ortiz-Monasterio, I., Cakmak, I., Hão, Y., Singh, RP., 2013. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. Journal of Cereal Science. 59, 365–372. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.09.001

Welch, RM., Graham, RD., 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. Journal of Experimental Botany. 55, 353– 364. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.10.001

White, PJ., Broadley, MR., 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. Trends Plant Science. 10, 586–593. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.10.001

Zago, M. P., Oteiza, P. l., 2001. The antioxidant properties of zinc: Interactions with iron and antioxidants. Free Radical Biology and Medicin. 31, 266-274. https://doi.org/10.1016/s0891-5849(01)00583-4

Zhang, C., 2014. Essential functions of iron-requiring proteins in DNA replication, repair and cell cycle control. Protein Cell. 5, 750–760. https://doi.org/10.1007/s13238-014-0083-7

Zheng, M., Tao, Y., Hussain, S., Jiang, Q., Peng, S., Huang, J., Cui, K., Nie, L. 2016. Seed priming in dry direct-seeded rice: Consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. Plant Growth Regulation. 78, 167–178. https://doi.org/10.1007/s10725-015-0083-5