

## واکنش‌های فیزیولوژیکی و زراعی ارقام مختلف کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به هیدروپرایمینگ در شرایط تنش خشکی

فتح اله نادعلی<sup>۱،۲\*</sup>، حمیدرضا اصغری<sup>۲</sup>، حمید عباس دخت<sup>۲</sup>، وجیه درستکار<sup>۲</sup>، محمود باقری<sup>۴</sup>

۱- مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود)، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۳- گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۴- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

\* مسؤل مکاتبه: [f.nadali@areo.ac.ir](mailto:f.nadali@areo.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.333785.1211

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

### چکیده

آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی ایستگاه تحقیقات پسته دامغان اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح ۱۰۰ (شاهد)، ۷۵ و ۵۰ درصد براساس نیاز آبی گیاه به عنوان عامل اصلی، رقم در سه سطح Titicaca، Q26 و Q29 و پرایمینگ در دو سطح عدم پرایمینگ و هیدروپرایمینگ به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند که به صورت فاکتوریل در تیمار فرعی خرد شدند. تنش خشکی شدید سبب کاهش شاخص پایداری غشاء برگ (۲۱/۲ درصد)، مقدار کلروفیل (۳۸/۷ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۱۳/۱ درصد)، وزن هزار دانه (۱۸/۲ درصد)، تعداد پانیکول در بوته (۲۷/۵ درصد)، تعداد دانه در پانیکول (۷/۷۱ درصد) و عملکرد دانه (۴۰/۴ درصد) گردید. استفاده از هیدروپرایمینگ موجب افزایش شاخص پایداری غشاء (۳/۵۵ درصد)، مقدار کلروفیل برگ (۱۶/۷ درصد)، وزن هزار دانه (۵/۳۱ درصد) و نیز تعداد پانیکول در بوته (۱۵/۳ درصد) شد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز برگ در شرایط تنش ۵۰ درصد نیاز آبی نسبت به شاهد به ترتیب ۱۳۹/۵ درصد و ۴۲/۵ درصد افزایش یافت. تنش خشکی هم‌چنین موجب افزایش درصد پروتئین بذر و نیز کاهش عملکرد دانه در کینوا گردید. در شرایط تنش خشکی، بین سه رقم مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. رقم Titicaca نسبت به سایر ارقام به خشکی مقاوم‌تر بود و در منطقه دامغان کشت این رقم پیشنهاد می‌گردد. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد هیدروپرایمینگ در جهت بهبود صفات فیزیولوژیکی در گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آنتی‌اکسیدان، پروتئین دانه، پیش تیمار، تنش کم‌آبیاری، عملکرد دانه

### مقدمه

مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران از اهمیت بیشتری برخوردار است. به همین دلیل بایستی به دنبال گیاهانی بود که در این شرایط محصول مناسبی تولید نمایند. کشت گیاهان مقاوم به خشکی همانند کینوا، می‌تواند راهکاری برای جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان زراعی باشد (Vega-Galves et al., 2010). تحقیقات کینوا از سال ۱۳۸۸ در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر آغاز و کشت آن همراه با تحقیقات، در مناطق مختلف کشور در نیمه دوم دهه ۹۰ توسعه پیدا کرده است. سطح زیر کشت این گیاه در ایران حدود ۲۰۰۰ هکتار (اطلاعات منتشر نشده وزارت جهاد کشاورزی) می‌باشد که در سال‌های مختلف نوسان داشته و مناطق کشت آن شامل استان‌های

در بین تنش‌های محیطی تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات کشاورزی می‌باشد (Franklin et al., 2010). اولین پاسخ گیاهان به تنش خشکی کاهش رشد است، زیرا تنش خشکی موجب کاهش فشار تورژانس می‌شود (Farooq et al., 2008). در شرایط تنش خشکی، گیاه به منظور ادامه دادن جذب آب، انواع مواد محلول سازگار با وزن مولکولی کم مانند قندهای محلول، پرولین، گلايسين‌بتائين، هورمون‌ها و پروتئین‌ها را در سلول‌های خود تجمع داده و موجب کاهش پتانسیل اسمزی و افزایش جذب آب می‌شود (Salek Mearaji et al., 2020). این موضوع در

تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار در صفات مورفولوژی، فیزیولوژی و عملکرد دانه در گیاهان می‌شود؛ بنابراین یافتن راهکاری کارآمد برای کاهش آثار منفی ناشی از تنش و هم‌چنین معرفی ارقام مقاوم به خشکی الزامی است. با توجه به اینکه تا به حال تحقیقی به منظور بررسی اثر هیدروپرایمینگ در راستای بهبود شرایط تنش خشکی در ارقام مختلف کینوا در منطقه دامغان انجام نشده است و سندی در این مورد یافت نگردید، در این تحقیق به بررسی این موضوع پرداخته شد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت آزمایش اسپلینت پلات فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. آزمایش در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات پسته دامغان واقع در جنوب شهرستان دامغان با مختصات جغرافیایی طول شمالی ۵۳/۱۵ درجه و عرض شمالی ۳۴/۴۵ درجه با ارتفاع ۱۱۷۰ متری از سطح دریا، در سال ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل میزان آبیاری در سه سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۷۵ درصد نیاز آبی و ۵۰ درصد نیاز آبی به عنوان عامل اصلی بود. رقم در سه سطح Titicaca، Q26 و Q29 و پرایمینگ در دو سطح عدم پرایمینگ و هیدروپرایمینگ به عنوان عامل فرعی قرار گرفتند. بذور مورد استفاده در این پژوهش، از موسسه تحقیقاتی اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج تهیه شد. برخی از مشخصات ارقام مورد استفاده در این پژوهش و آمار هواشناسی منطقه مورد آزمایش در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

یزد، اهواز، اصفهان، البرز، کرمانشاه و چند استان دیگر محدود می‌شود (Bagheri, 2018).

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd گیاهی یکساله از خانواده تاج خروسپان است. پروتئین بذر گیاه کینوا معادل ۱۳ تا ۲۱ درصد گزارش شده است. بذر این گیاه تمامی اسیدهای آمینه ضروری بدن انسان را دارا می‌باشد و ارزش غذایی بالایی دارد (Keshtkar et al., 2021). محققان نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش تعداد خوشه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و عملکرد دانه در کینوا می‌گردد (Salek Mearaji et al., 2020). محققان دیگری نیز گزارش کردند که تنش خشکی در کینوا موجب کاهش سطح برگ (Stikic et al., 2015)، ارتفاع بوته (Sun et al., 2014) و تعداد شاخه فرعی (Dawood, 2018) شده است.

از جمله روش‌هایی که برای کاهش اثرات تنش در گیاهان استفاده می‌شود می‌توان به آماده‌سازی بذر قبل از کاشت یا پرایمینگ، اشاره کرد (Cavusoglu and Kabar, 2010). هیدروپرایمینگ یکی از انواع پرایمینگ است که در این روش بذور با آب خالص تیمار می‌شوند. در این روش که بسیار ساده و ارزان می‌باشد، مقدار جذب آب توسط بذر از روش مدت زمانی که بذور در تماس با آب خالص هستند، کنترل می‌شود (Abbasdokht and Edalatpish, 2013). پرایمینگ بذور، سبب بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاه کینوا شده است (Jisha et al., 2013). در پژوهشی مشخص گردید که هیدروپرایمینگ سبب کوتاه شدن دوره جوانه‌زنی بذور کینوا در شرایط تنش خشکی می‌شود (Daur, 2018).

پژوهش‌های انجام شده نشان‌دهنده این می‌باشد که بروز

جدول ۱- ویژگی‌های ارقام مورد استفاده در این پژوهش

Table 1- Characteristics of cultivars used in this research

رقم Cultivar	مبدأ Source	ویژگی‌ها Characteristics
Titicaca	دانمارک Denmark	مقاوم به شوری، زودرس، مناسب برای کشت بهاره و روز خنثی Salinity resistant, early, suitable for spring and neutral day cultivation
Q26	شیلی Chile	متوسط‌رس، مناسب برای کشت بهاره و روز خنثی Medium, suitable for spring and neutral day cultivation
Q29	شیلی Chile	متوسط‌رس، مناسب برای کشت بهاره و روز خنثی Medium, suitable for spring and neutral day cultivation

دست انجام شد. تراکم بوته ۴۰ بوته در متر مربع بود (Bagheri, 2018). با استفاده از اطلاعات خاک‌شناسی و بر اساس توصیه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع

عملیات آماده‌سازی زمین از جمله شخم عمیق و دو دیسک عمود بر هم در پاییز سال قبل انجام گرفت. عملیات کاشت در تاریخ ۳۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸ در عمق یک‌ونیم سانتی‌متر و توسط

جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی، نمونه‌برداری در زمان گل‌دهی کامل (۴۵ روز پس از اعمال تیمار خشکی) صورت گرفت. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در زمان گل‌دهی و به روش برداشت پنج بوته از هر تیمار به‌طور تصادفی انجام شد. سطح تمامی برگ‌های پنج بوته فوق با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل A3 Light box ساخت کشور انگلستان به ثبت رسید. جهت اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدئید، ابتدا از نمونه‌های منجمد شده به میزان یک گرم بافت برگ با تری‌کلرواستیک‌اسید (TCA) پنج درصد (وزنی به حجمی) در هاون چینی روی یخ هموژنیزه شد (Wang *et al.*, 2016). عصاره هموژن شده به لوله فالكون منتقل و به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. دو میلی‌لیتر از سوپرناتانت به دست آمده با دو میلی‌لیتر محلول تیوباری‌توریک‌اسید (TBA) ۰/۶۷ درصد (وزنی به حجمی) به خوبی مخلوط و سپس نمونه‌ها را در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. بلافاصله پس از این مرحله لوله‌های فالكون به مدت ۱۵ دقیقه در یک ظرف یخ قرار داده شد. سپس میزان مالون‌دی‌آلدئید با اندازه‌گیری جذب نور در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت و با استفاده از ضریب خاموشی ( $\epsilon = 155 \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) محاسبه شد. محلول بلانک حاوی ۲۵۰ میکرولیتر تری‌کلرواستیک‌اسید ۰/۱ درصد بود که با دو میلی‌لیتر معرف TBA ۰/۵ درصد مخلوط شده بود و تمامی تیمارها با محلول بلانک سنجیده شد.

جهت انجام تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه، تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک مزرعه نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

طبیعی استان سمنان (شاهرود) میزان ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم، ۱۷۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمان آماده‌سازی زمین و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در سه نوبت (بعد از تنک، قبل از ظهور پانیکول و در زمان ظهور پانیکول) و همراه با آب آبیاری (با استفاده از تانک کود و تزریق به سیستم آبیاری تحت فشار) در مزرعه آزمایشی استفاده شد.

آزمایش مورد نظر ۱۸ تیمار و چهار تکرار داشت. هر کرت آزمایش شامل چهار خط کاشت، فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف پنج سانتی‌متر (Bagheri, 2018) (پس از تنک) به طول هشت متر بود. برای جلوگیری از تداخل آبیاری، در بین هر کرت اصلی دو خط نکاشت، قرار داده شد. جهت انجام هیدروپرایمینگ بذور، کلیه ارقام مورد استفاده در آزمایش با ۵۰ درصد وزنی آب مقطر مخلوط و بطور منظم بذور را هر دو ساعت یک‌بار به آرامی هم زده تا آب به‌طور کامل توسط بذور جذب شود، سپس بذور در دمای محیط آزمایشگاه خشک و بعد از آن اقدام به کشت گردید.

جهت آبیاری مزرعه از لوله تیپ به‌صورت جداگانه برای هر خط کاشت استفاده گردید. آبیاری مزرعه هر چهار روز یک‌بار تا سبز شدن و رسیدن گیاه به حدود شش برگی به‌صورت یکنواخت ادامه داشت. پس از آن اعمال تیمارهای تنش صورت گرفت. برای اعمال تیمار با استفاده از برنامه CROPWAT نیاز آبی برای گیاه کینوا محاسبه و اعمال تیمار بر اساس ۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی در مزرعه اعمال گردید. آبیاری در هر هفته یک بار انجام و میزان آب آبیاری در کرت‌های اصلی با استفاده از کنتور در هر بار آبیاری یادداشت شد. در پایان فصل میزان آب آبیاری برای هر تیمار محاسبه و به ترتیب ۶۸۸۰، ۵۱۶۰ و ۳۴۴۰ متر مکعب در هکتار بود.

جدول ۲- برخی از پارامترهای هواشناسی شهر دامغان

Table 2- Some meteorological parameters of Damghan

ماه Month	دما Temperature (°C)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	بارندگی Rainfall (mm)
اردیبهشت May	23.91	34.43	4.31
خرداد June	29.61	30.71	29.00
تیر July	32.02	27.90	0
مرداد August	28.56	30.35	0
شهریور September	25.49	36.48	0

جدول ۳- ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 3- Characteristics of the tested farm soil

بافت خاک Soil texture	فسفر P	پتاسیم K <sup>+</sup>	سدیم Na <sup>+</sup>	کلسیم Ca <sup>2+</sup>	کلر Cl <sup>-</sup>	بیکربنات HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	کربن آلی O.C	نیتروژن N
	(Meq.l <sup>-1</sup> )				(dS m <sup>-1</sup> )			(%)	(%)	
لومی - رسی Clay-Loam	5.56	318	13.8	9.4	24.8	0.53	2.97	7.6	0.57	0.04

جهت ثبت فعالیت آنزیم کاتالاز، مقدار ۰/۰۵ گرم بافت تر گیاهچه با دو میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH=۶/۸ در هاون چینی سرد هموزن شد و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. از فاز شفاف رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی استفاده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس ضریب خاموشی (E) برابر با ۴۰ mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> در دقیقه به ازای یک میلی‌گرم پروتئین بیان شد (Kar and Mishra, 1976).

جهت تعیین فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز، مخلوطی به حجم دو میلی‌لیتر تهیه شد که این مخلوط شامل ۱/۷ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷، عصاره آنزیمی (۱۰۰ میکرولیتر)، آسکوربیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار و (۵۰ میکرولیتر)، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار ۵۰ میکرولیتر و آب اکسیژنه ۱/۲ میلی‌مولار (۱۰۰ میکرو-لیتر) بود، محلول بلانک فاقد آب اکسیژنه بوده و با اضافه کردن آب اکسیژنه در آخرین مرحله به مخلوط تهیه شده، فعالیت آنزیمی شروع شد. ضریب خاموشی آسکوربات‌پراکسیداز (E) برابر با mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> ۲/۸ می‌باشد (Nakano and Asada, 1981). برای محاسبه میزان فعالیت آنزیم از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد و تغییرات جذب نور در طول موج ۲۹۰ نانو متر در طول مدت چهار دقیقه ثبت شد. ضریب خاموشی آسکوربات‌پراکسیداز (E) نیز برابر با mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> ۲/۸ است.

بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی دانه و قطع آبیاری و خشک شدن نسبی پانیکول‌ها برای تعیین عملکرد دانه، برداشت از دو خط وسط (۸۵ روز بعد از اعمال خشکی) به طول چهار متر (چهار متر مربع) انجام شد و پس از آن عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار گزارش شد. اجزای عملکرد دانه کینوا شامل وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در بوته و تعداد دانه در پانیکول با توجه به پنج بوته برداشت شده از هر کرت محاسبه و اندازه‌گیری

برای تعیین میزان پرولین موجود در برگ‌های کینوا، ابتدا از هر نمونه بطور مجزا مقدار ۰/۲۵ گرم بافت گیاهی را به پنج میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک‌اسید سه درصد آماده شده اضافه نموده و سپس نمونه در هاون چینی در یک محیط سرد مخلوط و همگن شد (Bathes et al., 1973). مخلوط به‌دست آمده را به فالدون منتقل، سپس در سانتریفیوژ دمای چهار درجه سانتی‌گراد در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد، پس از آن دو میلی‌لیتر از عصاره سوپرناتانت را به یک لوله فالدون جدید منتقل نموده و به همه لوله‌ها مقدار دو میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسیداستیک‌گلاسیال اضافه شد. به مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از سرد شدن نمونه‌ها در حمام آب یخ، به هریک از لوله‌ها مقدار چهار میلی‌لیتر تولون اضافه نموده و آن را به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتکس به هم زده شد. آنگاه به اندازه لازم از فاز بالایی در کووت ریخته و غلظت پرولین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و با توجه به منحنی استاندارد، پرولین محلول بر حسب میکروگرم بر گرم بافت تر تعیین شد. درصد نیتروژن بذور کینوا با دستگاه کج‌دال (مدل Behr-D-40599 Duselldorf) ثبت شد (Fowler et al., 1989).

مقدار ۰/۰۵ گرم از بافت برگی با دو میلی‌لیتر از بافر استخراج شامل تریس ۵۰ میلی‌مولار، کلرید منیزیم ۱۰۰ میلی‌مولار، ساکارز ۲۵۰ میلی‌مولار، تراپتون X-100 نیم درصد، بتامرکاپتوانانول ۱۰ میلی‌مولار و PMSF یک میلی‌مولار با pH=۸ در هاون چینی سرد هموزن شد. سپس با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه، دمای چهار درجه سانتی‌گراد و مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. از فاز شفاف رویی برای سنجش آنزیم‌ها استفاده شد. جهت تعیین میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز از ریبوفلاوین و متیونین استفاده شد (Beauchamp and Fridovich, 1971).

یکی از دلایل افت سطح برگ در تنش خشکی به کاهش سرعت و گسترش سطح برگ به واسطه اختلال در فتوسنتز در شرایط تنش برمی‌گردد. اولین سازوکار گیاهان برای مقابله با تنش خشکی، افت سطح برگ و افت تعرق است (Shao *et al.*, 2008). علت افت سطح برگ در تنش خشکی را با حساسیت بالای تقسیم سلولی و سرعت رشد سلول‌ها به کم‌آبی مرتبط دانسته‌اند. مشابه نتایج تحقیق حاضر سایر محققان گزارش کردند که وقوع تنش خشکی، به‌طور معنی‌داری شاخص سطح برگ کینوا را کاهش داد (Solimaninya *et al.*, 2020; Jamali *et al.*, 2018; Sharifan *et al.*, 2017).

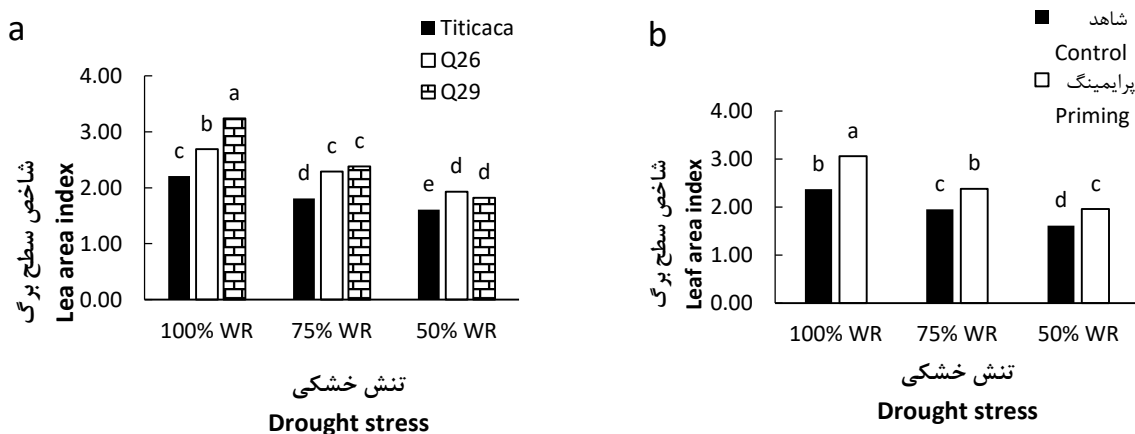
دلیل اینکه پرایمینگ موجب افزایش شاخص سطح برگ شد را می‌توان با تسریع در سبز شدن و استقرار گیاه مرتبط دانست. در راستای تحقیق حاضر، محققان دیگری نیز به این نتیجه رسیدند که اعمال تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ کینوا می‌شود (Amiryousefi *et al.*, 2021; Kaman *et al.*, 2011). گزارشی شده است که پرایمینگ بذر را امکان عبور بذر از مرحله جوانه‌زنی در شرایط تنش را بهتر فراهم می‌آورد و گیاهچه‌های حاصل، شانس بیشتری برای ادامه رشد و توسعه داشته و توانایی بالاتری جهت تحمل و غلبه بر شرایط نامساعد محیطی خواهند یافت (Elewa *et al.*, 2017). مقدار شاخص سطح برگ این گیاه در حالت معمول بین چهار تا شش است و شاخص سطح برگ این تحقیق با آن هم‌خوانی دارد.

شد. نرمال‌سازی و تبدیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

## نتایج و بحث

### شاخص سطح برگ در زمان گل‌دهی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش خشکی، رقم، پرایمینگ و اثر متقابل تنش خشکی با رقم در سطح یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ نیز در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۴). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، تنش خشکی در هر سه رقم باعث کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ شد. رقم Q29 در ۱۰۰٪ WR بالاترین میزان شاخص سطح برگ را دارا بود که برابر با ۳/۲۴ به ثبت رسید. انجام تنش خشکی به مقدار ۷۵٪ WR در ارقام Titicaca، Q26 و Q29، شاخص سطح برگ را به ترتیب ۱۸/۰، ۱۴/۸ و ۲۶/۵ درصد نسبت به شرایط ۱۰۰٪ WR کاهش داد. اعمال تنش خشکی در سطح ۵۰٪ WR کمترین مقدار شاخص سطح برگ را در تمامی ارقام به خود اختصاص داد (شکل ۱a). استفاده از هیدروپرایمینگ در تمامی سطوح آبیاری، موجب افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ گردید (شکل ۱b).



شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر اثرات متقابل تنش خشکی و رقم (a) و تنش خشکی و پرایمینگ (b)

Figure 1- Mean comparison of leaf area index under the influence of drought stress and cultivar (a) and drought stress and priming (b)

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در کینوا تحت تأثیر تنش خشکی، رقم و پرایمینگ  
 Table 4- Analysis of variance of traits measured in quinoa under drought stress, cultivar and priming

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	عملکرد دانه Seed yield	شاخص سطح برگ Leaf area index	کلروفیل کل Chlorophyll	نسبت کلروفیل a/b Chlorophyll	تعداد دانه در پانیکول Number of seeds per panicle	تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant	وزن هزار دانه 1000 seeds weight	درصد پروتئین Protein percentage
تکرار Replication	3	20102.78 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	96.06 <sup>ns</sup>	2.08 <sup>ns</sup>	212.71 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>
تنش خشکی Drought stress(a)	2	1758189.75 <sup>**</sup>	5.25 <sup>**</sup>	8066.15 <sup>**</sup>	3.83 <sup>ns</sup>	4643.46 <sup>ns</sup>	14.42 <sup>**</sup>	0.95 <sup>**</sup>	115.01 <sup>**</sup>
خطای اول Error <sub>a</sub>	6	4544.37 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	16.89 <sup>ns</sup>	3.19 <sup>ns</sup>	1111.51 <sup>ns</sup>	0.68 <sup>*</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.200 <sup>ns</sup>
رقم (b) Cultivar	2	63184.71 <sup>**</sup>	2.31 <sup>**</sup>	81.92 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	14366.04 <sup>**</sup>	3.27 <sup>**</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	22.12 <sup>**</sup>
پرایمینگ (c) Priming	1	357505.58 <sup>**</sup>	4.20 <sup>**</sup>	2522.03 <sup>**</sup>	1.75 <sup>ns</sup>	3418.81 <sup>ns</sup>	7.72 <sup>**</sup>	0.17 <sup>**</sup>	0.60 <sup>ns</sup>
a*b	4	33433.85 <sup>**</sup>	0.39 <sup>**</sup>	37.60 <sup>ns</sup>	3.60 <sup>ns</sup>	2247.83 <sup>ns</sup>	1.22 <sup>**</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.81 <sup>*</sup>
a*c	2	3804.06 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>*</sup>	57.67 <sup>ns</sup>	4.50 <sup>ns</sup>	2755.97 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	2.91 <sup>**</sup>
b*c	2	574.48 <sup>ns</sup>	0.055 <sup>ns</sup>	7.56 <sup>ns</sup>	3.69 <sup>ns</sup>	3718.39 <sup>ns</sup>	0.63 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	1.96 <sup>**</sup>
a*b*c	4	8954.22 <sup>ns</sup>	0.041 <sup>ns</sup>	18.32 <sup>ns</sup>	0.52 <sup>ns</sup>	283.22 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>ns</sup>	5.16 <sup>**</sup>
خطای دوم Error <sub>b</sub>	45	7206.84	0.037	56.48	2.94	2382.40	0.28	0.01	0.22
ضریب تغییرات c.v (%)	-	8.01	8.70	9.80	17.63	16.33	11.45	5.28	2.94
برش دهی اثرات متقابل Interaction slicing	درجه آزادی Degrees of freedom								
a*b									
برش دهی b در هر سطح a (Slicing of b in a levels)									
a1	2	94558.0 <sup>**</sup>	2.13 <sup>**</sup>	-	-	-	4.02 <sup>**</sup>	-	6.71 <sup>**</sup>
a2	2	20022.0 <sup>ns</sup>	0.75 <sup>**</sup>	-	-	-	1.47 <sup>**</sup>	-	6.55 <sup>**</sup>
a3	2	15473.0 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>**</sup>	-	-	-	0.23 <sup>ns</sup>	-	10.47 <sup>**</sup>
a*c									
برش دهی c در هر سطح a (Slicing of c in a levels)									
a1	1	-	2.78 <sup>**</sup>	-	-	-	-	-	5.49 <sup>**</sup>
a2	1	-	1.09 <sup>**</sup>	-	-	-	-	-	0.0003 <sup>ns</sup>
a3	1	-	0.70 <sup>**</sup>	-	-	-	-	-	0.94 <sup>*</sup>
b*c									
برش دهی c در هر سطح b (Slicing of c in b levels)									
b1	1	-	-	-	-	-	-	-	1.33 <sup>*</sup>
b2	1	-	-	-	-	-	-	-	1.19 <sup>*</sup>
b3	1	-	-	-	-	-	-	-	2.00 <sup>**</sup>
a*b*c									
برش دهی b*c در هر سطح a (Slicing of b*c in a levels)									
a1	5	-	-	-	-	-	-	-	4.98 <sup>**</sup>
a2	5	-	-	-	-	-	-	-	3.14 <sup>**</sup>
a3	5	-	-	-	-	-	-	-	7.57 <sup>**</sup>

ns, \* و \*\* به ترتیب: عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, \* and \*\* respectively: non significantly, significance at the level of five percent and one percent.

ادامه جدول ۴- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در کینوا تحت تأثیر تنش خشکی، رقم و پرایمینگ

Table 4- Analysis of variance of traits measured in quinoa under drought stress, cultivar and priming

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	مالون دی آلدیید Malon dialdehyde	شاخص پایداری غشاء Membrane Stability Index	نسبت کلروفیل a/b chlorophyll a/ chlorophyll b	محتوای نسبی آب Relative water content	پروترین Proline	سوپر اکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	کاتالاز Catalase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase
تکرار Replication	3	13.73 <sup>ns</sup>	79.57 <sup>ns</sup>	2.08 <sup>ns</sup>	159.60 <sup>ns</sup>	3.37 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.0004 <sup>ns</sup>	0.023 <sup>ns</sup>
تنش خشکی drought (a)	2	331.05 <sup>**</sup>	2707.52 <sup>**</sup>	3.83 <sup>ns</sup>	1051.57 <sup>**</sup>	40.56 <sup>**</sup>	4.45 <sup>**</sup>	0.44 <sup>**</sup>	5.17 <sup>**</sup>
خطای اول Error <sub>a</sub>	6	2.98 <sup>ns</sup>	12.93 <sup>ns</sup>	3.19 <sup>ns</sup>	8.70 <sup>ns</sup>	2.63 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>*</sup>	0.006 <sup>ns</sup>
رقم (b) Cultivar	2	9.82 <sup>**</sup>	12.00 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	6.30 <sup>ns</sup>	4.38 <sup>ns</sup>	3.53 <sup>**</sup>	0.52 <sup>**</sup>	4.85 <sup>**</sup>
پرایمینگ (c) Priming	1	6.46 <sup>*</sup>	226.24 <sup>**</sup>	1.75 <sup>ns</sup>	4.88 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	0.87 <sup>**</sup>	0.26 <sup>**</sup>	1.02 <sup>**</sup>
a*b	4	1.39 <sup>ns</sup>	7.16 <sup>ns</sup>	3.60 <sup>ns</sup>	5.73 <sup>ns</sup>	0.85 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>**</sup>	0.48 <sup>**</sup>	0.04 <sup>**</sup>
a*c	2	2.29 <sup>ns</sup>	7.84 <sup>ns</sup>	4.50 <sup>ns</sup>	12.34 <sup>ns</sup>	0.39 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>**</sup>	0.07 <sup>**</sup>	0.18 <sup>**</sup>
b*c	2	0.80 <sup>ns</sup>	21.50 <sup>ns</sup>	3.69 <sup>ns</sup>	90.05 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>**</sup>	0.06 <sup>**</sup>
a*b*c	4	0.90 <sup>ns</sup>	18.98 <sup>ns</sup>	0.52 <sup>ns</sup>	8.13 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>**</sup>	0.05 <sup>**</sup>	0.05 <sup>**</sup>
خطای دوم Error <sub>b</sub>	45	1.58	10.48	2.94	40.44	1.63	0.01	0.0005	0.009
ضریب تغییرات C.V (%)	-	8.46	9.00	17.63	8.97	17.65	4.23	4.67	5.23
برش دهی اثرات متقابل Interaction slicing	درجه آزادی Degrees of freedom								
a*b									
برش دهی b در هر سطح a (Slicing of b in a levels)									
a1	2	-	-	-	-	-	1.63 <sup>**</sup>	0.002 <sup>*</sup>	1.37 <sup>**</sup>
a2	2	-	-	-	-	-	0.82 <sup>**</sup>	0.005 <sup>**</sup>	2.09 <sup>**</sup>
a3	2	-	-	-	-	-	1.21 <sup>**</sup>	1.47 <sup>**</sup>	1.47 <sup>**</sup>
a*c									
برش دهی c در هر سطح a (Slicing of c in a levels)									
a1	1	-	-	-	-	-	0.44 <sup>**</sup>	0.02 <sup>**</sup>	0.85 <sup>**</sup>
a2	1	-	-	-	-	-	0.70 <sup>**</sup>	0.01 <sup>**</sup>	0.53 <sup>**</sup>
a3	1	-	-	-	-	-	0.01 <sup>ns</sup>	0.38 <sup>**</sup>	0.01 <sup>ns</sup>
b*c									
برش دهی c در هر سطح b (Slicing of c in b levels)									
b1	1	-	-	-	-	-	-	0.33 <sup>**</sup>	0.28 <sup>**</sup>
b2	1	-	-	-	-	-	-	0.02 <sup>**</sup>	0.12 <sup>**</sup>
b3	1	-	-	-	-	-	-	0.02 <sup>**</sup>	0.74 <sup>**</sup>
a*b*c									
برش دهی b*c در هر سطح a (Slicing of b*c in a levels)									
a1	5	-	-	-	-	-	0.74 <sup>**</sup>	0.01 <sup>**</sup>	0.73 <sup>**</sup>
a2	5	-	-	-	-	-	0.47 <sup>**</sup>	0.008 <sup>**</sup>	0.94 <sup>**</sup>
a3	5	-	-	-	-	-	0.52 <sup>**</sup>	0.71 <sup>**</sup>	0.64 <sup>**</sup>

ns, \* و \*\* به ترتیب: عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, \* and \*\* respectively: non significantly, significance at the level of five percent and one percent.

## شاخص پایداری غشاء

خشکی بیشتر بوده که باعث اکسید شدن آنتی‌اکسیدان‌ها، تجزیه رنگیزه‌ها، صدمه دیدن غشاهای سلولی، افزایش نشت‌پذیری الکترولیت‌ها و در نهایت کاهش شاخص پایداری غشاء گردیده است. مشابه این نتایج را پژوهش‌گران دیگر نیز در کینوا گزارش کرده‌اند (Sadak *et al.*, 2019). غشاء سلولی از اندام‌هایی آغازین است که تحت شرایط تنش خشکی، آسیب می‌بیند و تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از سلول باعث صدمه دیدن غشاء و در نهایت مرگ آن می‌شود (Akbari *et al.*, 2016).

تنش خشکی و پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد بر شاخص پایداری غشاء تأثیر معنی‌دار داشت و این در حالی است که رقم بدون تأثیر بود (جدول ۴). بررسی نتایج تحقیق حاکی از آن است که انجام تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار شاخص پایداری غشاء شد. کمترین شاخص پایداری غشاء در ۵۰٪WR مشاهده شد که معادل ۲۵/۷ درصد بود (جدول ۴). استفاده از هیدروپرایمینگ موجب افزایش این صفت از ۳۴/۱ به ۳۷/۷ شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده در شرایط تنش

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی صفات اندازه‌گیری شده در کینوا

Table 5- Comparison of the mean of the main effects of the measured traits in quinoa

تیمارها Treatments	مالون‌دی- آلدئید Malon Dialdehyde ( $\mu\text{mol.g}^{-1}$ FW)	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index (%)	کلروفیل Chlorophyll ( $\text{mg.g}^{-1}$ FW)	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	پرولین Proline ( $\mu\text{mol.g}^{-1}$ FW)	وزن هزار دانه 1000 seeds weight (g)	تعداد پانیکول در بوته No. of panicles per plant	تعداد دانه در پانیکول Number of seeds per panicle	عملکرد دانه Seed yield ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )
تنش خشکی Drought stress									
100% WR	11.10 c	46.91 a	94.62 a	77.85 a	5.98 c	2.14 a	5.48 a	314.79 a	1337.96 a
75% WR	15.02 b	35.26 b	77.34 b	70.09 b	7.17 b	1.90 b	4.44 b	290.90 b	1042.66 b
50% WR	18.52 a	25.70 c	57.97 c	64.68 c	8.58 a	1.75 c	3.97 b	290.51 b	797.41 c
ارقام Cultivars									
Titicaca	14.93 ab	35.21 a	75.18 a	71.42 a	7.49 a	1.90 a	4.22 b	322.27 a	1023.61 b
Q26	15.49 a	36.03 a	78.72 a	70.78 a	7.49 a	1.96 a	4.74 a	300.51 ab	1118.14 a
Q29	14.21 b	36.62 a	76.03 a	70.41 a	6.75 a	1.93 a	4.93 a	273.43 b	1036.27 b
پرایمینگ Priming									
شاهد Control	14.58 b	34.18 b	70.72 b	71.13 a	7.28 a	1.88 b	4.30 b	305.63 a	988.88 b
پرایمینگ Priming	15.18 a	37.73 a	82.56 a	70.61 a	7.21 a	1.98 a	4.96 a	291.84 a	1129.81 a

حروف کنار اعداد، نمایانگر مقایسات میانگین LSD در سطح احتمال پنج درصد هستند. میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

The letters next to the numbers represent comparisons of the mean LSD at the 5% probability level. Means with similar letters are not significantly different at the 5% probability level.

## محتوای نسبی آب برگ

معنی‌دار ۷/۷۶ و ۱۳/۱ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی به دلیل تعرق بالا گیاه آب بیشتری از دست می‌دهد و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد. گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند

در این تحقیق تنها تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر محتوای نسبی آب برگ کینوا تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۴). اعمال دو سطح ۷۵٪WR و ۵۰٪WR تنش خشکی موجب کاهش



رادیکال‌های آزاد سیستم دفاع آنزیمی و غیرآنزیمی مانند پرولین را افزایش می‌دهند (Shahid *et al.*, 2014). پرولین موجب حفظ تعادل آب، حفظ ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌شود. این ماده به‌عنوان رایج‌ترین اسمولیت انباشته شده در شرایط تنش عمل می‌کند (Soleimaninya *et al.*, 2020). ارقام با سازوکار کارا تر قادرند که باعث افزایش تجمع پرولین شده و از طریق تنظیم اسمزی مقاومت خود را نسبت به تنش کم‌آبی افزایش دهند. هم‌چنین پرولین به عنوان منبع نیتروژن و کربن برای گیاهان تحت تنش شدید عمل می‌کند و تحمل گیاه در برابر تنش را افزایش می‌دهد (Amini *et al.*, 2015).

### آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

تنش خشکی، رقم، پرایمینگ، اثرات متقابل دوجانبه و سه جانبه عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز تأثیرگذار بود (جدول ۴). برش‌دهی<sup>۱</sup> فیزیکی اثرات سه‌جانبه عامل‌ها نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در هر سه سطح آبیاری مربوط به هیدروپرایمینگ رقم Titicaca بود. رقم Q26 بدون دریافت پرایمینگ، در هر سه سطح آبیاری، کمترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را به خود اختصاص داد. نتایج بیان‌گر این است که اعمال تنش ۷۵٪WR نسبت به شاهد موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز شد و این در حالی است که تنش ۵۰٪WR، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۶). بررسی برش‌دهی اثرات آنزیم کاتالاز نشان داد که در شرایط ۱۰۰٪WR رقم Titicaca بدون دریافت پرایمینگ، فعالیت آنزیم کاتالاز بیشتری را دارا بود و اعمال پرایمینگ در این شرایط در دو رقم Titicaca و Q29 رقم موجب کاهش ۲۵/۴ و ۱۲/۵ درصد معنی‌دار فعالیت این آنزیم شد (جدول ۶). فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط ۷۵٪WR با اعمال پرایمینگ در رقم Titicaca اختلافی با شاهد نشان نداد. این در حالی بود که در دو رقم Q26 و Q29، استفاده از پرایمینگ موجب کاهش معنی‌دار فعالیت این آنزیم شد. فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهانی که ۵۰٪WR را تجربه کرده بودند، زمانی که پرایمینگ را نیز دریافت کردند، تا سطح معنی‌داری کاهش نشان داد (جدول ۶).

از طریق تغییر دادن صفاتی مانند پتانسیل اسمزی سلول‌ها به تنش پاسخ می‌دهند. سایر پژوهش‌گران نیز نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ در گیاه کینوا می‌شود (Soleimaninya *et al.*, 2020).

### کلروفیل

نسبت کلروفیل a به b در این پژوهش از تیمارهای آزمایش تأثیر نپذیرفت. این در حالی است که اثرات تنش خشکی و پرایمینگ (در سطح یک درصد) بر کلروفیل کل معنی‌دار بودند (جدول ۴). انجام تنش خشکی در سطوح ۷۵٪WR و ۵۰٪WR به ترتیب موجب کاهش ۱۸/۲ و ۳۸/۷ درصدی کلروفیل نسبت به ۱۰۰٪WR شدند (جدول ۵). کلروفیل کل در گیاهان حاصل از بذور هیدروپرایم شده به میزان ۱۶/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۵). در بین سه رقم مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری از لحاظ کلروفیل مشاهده نشد (جدول ۵). کاهش مقدار کلروفیل برگ می‌تواند به‌واسطه کاهش سنتز کلروفیل و هم‌چنین نتیجه تخریب آن باشد (Elewa *et al.*, 2017). پیش‌ماده ساخت کلروفیل و پرولین در گیاهان، اسید گلوتامیک است. در شرایط تنش خشکی، میزان سنتز پرولین از اسید گلوتامیک افزایش می‌یابد که این امر کاهش اندازه کلروفیل در تنش خشکی را توجیه می‌کند. مشابه این نتایج را محققان دیگر در کینوا گزارش کردند (Jamali *et al.*, 2018). احتمالاً پرایمینگ با سرعت بخشیدن به مراحل ابتدایی رشد و سپس استقرار گیاه سبب افزایش غلظت کلروفیل شده است؛ بنابراین استفاده از هیدروپرایمینگ جهت تسریع در جوانه‌زنی و استقرار گیاه و سریع‌تر بسته شدن کانوپی گیاه مفید می‌باشد. محققان دیگر گزارش دادند که تنش خشکی موجب کاهش کلروفیل در کینوا می‌شود (Anaya *et al.*, 2015; Elewa *et al.*, 2017).

### پرولین

پرولین موجود در برگ گیاه کینوا در این آزمایش تنها از تنش خشکی تأثیر پذیرفت (جدول ۴). پرولین در برگ گیاهانی که تنش خشکی ۷۵٪WR و ۵۰٪WR را تجربه کرده بودند، به ترتیب ۱/۱۹ و ۲/۶۰ میکرومول بر گرم (۱۹/۸ درصد و ۴۳/۴ درصد) بیشتر از شاهد بود (جدول ۶). زمانی که گیاهان در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، به‌دلیل تولید گونه‌های فعال اکسیژن، تنش اکسیداتیو در گیاه اتفاق می‌افتد. گیاهان برای دفاع در برابر

اندازه مالون‌دی‌آلدئید موجود در برگ کینوا اثر معنی‌دار داشت (جدول ۴). با افزایش سطح تنش خشکی از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، میزان مالون‌دی‌آلدئید  $3/35$  و  $8/66$  درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۵). در میان سه رقم مورد بررسی، رقم Q26 نسبت به رقم Q29 اندازه مالون‌دی‌آلدئید بیشتری را دارا بود و رقم Titicaca نسبت به دو رقم دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت. استفاده از هیدروپرایمینگ باعث افزایش معنی‌داری مالون‌دی‌آلدئید از  $5/14$  میکرومول بر گرم تر برگ در گیاهان شاهد به  $1/15$  میکرومول بر گرم تر برگ (معادل  $95/3$  درصد) شد (جدول ۵). تنش خشکی باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه می‌شود و از این طریق نشت الکترولیت‌ها و غلظت مالون‌دی‌آلدئید افزایش می‌یابد. افزایش غلظت این ماده تحت تأثیر تنش خشکی در گیاه کینوا گزارش شده است (Sadak et al., 2019).

### عملکرد، اجزای عملکرد دانه و درصد پروتئین

درصد پروتئین موجود در بذر کینوا در این پژوهش از تنش خشکی، رقم، اثرات متقابل تنش خشکی و پرایمینگ، رقم و پرایمینگ و اثر سه جانبه عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت. اثر متقابل دو جانبه تنش خشکی و رقم نیز در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت مؤثر بود (جدول ۴). برش‌دهی فیزیکی اثرات سه جانبه عامل‌ها نشان داد که اعمال تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین در بذور گردید (جدول ۶). استفاده از هیدروپرایمینگ در شرایط آبیاری نرمال در دو رقم Titicaca و Q29 اختلافی با شاهد نشان نداد ولی در رقم Q26 سبب کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد شد (جدول ۵). اعمال پرایمینگ در شرایط  $75/WR$ ، در رقم Titicaca موجب کاهش درصد پروتئین شد و در رقم Q26 موجب افزایش درصد پروتئین گردید. رقم Q29 از پرایمینگ در این شرایط تأثیر نپذیرفت (جدول ۶). در شرایط تنش خشکی شدید ( $50/WR$ ) نتایج متفاوتی به دست آمد. به این صورت که درصد پروتئین با اعمال پرایمینگ در رقم Titicaca کاهش یافت. در رقم Q26، درصد پروتئین از هیدروپرایمینگ تأثیر نپذیرفت و رقم Q29 کاهش درصد پروتئین را نشان داد (جدول ۶). در تحقیق حاضر دلیل افزایش درصد پروتئین می‌تواند با کاهش وزن هزار دانه مرتبط باشد. تحقیقات نشان داده است که کاهش در اندازه دانه تحت تأثیر تنش خشکی

در مورد فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که با اعمال تنش خشکی، فعالیت این آنزیم در برگ‌های گیاه کینوا افزایش نشان داد (جدول ۴). در شرایط نرمال آبیاری ( $100/WR$ )، استفاده از پرایمینگ موجب کاهش معنی‌دار این صفت در تمامی ارقام شد. بالاترین فعالیت این آنزیم در شرایط  $75/WR$  مربوط به رقم Q26 بدون دریافت پرایمینگ بود که معادل  $2/54$  واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود (جدول ۶). اعمال پرایمینگ در سطح تنش خشکی  $75/WR$  نیز در تمامی ارقام موجب کاهش فعالیت آسکوربات‌پراکسیداز گردید. در شرایط تنش خشکی  $50/WR$  رقم Q26 به همراه دریافت پرایمینگ، بالاترین فعالیت این آنزیم را دارا بود و کمترین فعالیت این آنزیم در این شرایط مربوط به رقم Titicaca با دریافت هیدروپرایمینگ بود که معادل  $1/83$  واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود (جدول ۶). دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کینوا در این پژوهش را می‌توان این‌طور بیان کرد که این آنزیم‌ها جزء سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌باشند که برای کاهش خسارت ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال شده در شرایط تنش خشکی افزایش یافته‌اند. در راستای تحقیق حاضر محققان گزارش کردند که تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کینوا می‌گردد (Soleimaninya et al., 2020; Aziz et al., 2018). فعالیت کمتر آنزیم‌ها در  $100/WR$  احتمالاً به دلیل نیاز کمتر گیاه در این شرایط است. پژوهش‌گران بیان کردند که پتانسیل ژنتیکی ژنوتیپ‌ها از نظر سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در مقاومت به تنش خشکی مؤثر است (Lata et al., 2011). در تیمارهای تحت تنش خشکی به علت ممانعت از باز شدن روزنه‌ها، مقدار جذب دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد و به دنبال آن افزایش غلظت گونه‌های فعال اکسیژن اتفاق می‌افتد، گیاه سیستم آنتی‌اکسیدانی خود از جمله سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز را در جهت پالایش گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد. گزارش شده است که فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها راهکاری برای سازگاری کلی گیاهان برای غلبه بر تنش‌های اکسیداتیو است (Khazaey et al., 2019).

### مالون‌دی‌آلدئید

نتایج تحقیق بیانگر این است که تنش خشکی و رقم (در سطح احتمال یک درصد) و پرایمینگ (در سطح احتمال پنج درصد) بر

منجر به افزایش پروتئین دانه در گیاه کینوا می‌شود که درصد پروتئین بذر کینوا تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Sadeghizade *et al.*, 2021). محققان دیگری نیز گزارش کردند می‌گیرد (Hinojosa *et al.*, 2018).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌جانبه تنش خشکی، رقم و پرایمینگ صفات اندازه‌گیری شده در کینوا (برش‌دهی فیزیکی در سطح تنش خشکی انجام شده است)

Table 6- Mean comparison of tripartite interactions of drought stress, cultivar and priming of traits measured in quinoa (physical slicing performed at drought stress level)

تنش خشکی Drought stress	رقم Cultivar	پرایمینگ Priming	سوپر اکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (U. mg <sup>-1</sup> pro.min <sup>-1</sup> )	کاتالاز Catalase (U. mg <sup>-1</sup> pro.min <sup>-1</sup> )	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase (U. mg <sup>-1</sup> pro.min <sup>-1</sup> )	درصد پروتئین Protein percentage	
100% WR	Titicaca	شاهد Control	2.79 b	0.48 a	1.15 c	15.20 a	
		پرایمینگ Priming	2.99 a	0.29 e	0.95 d	14.79 ab	
	Q26	شاهد Control	1.86 e	0.39 c	2.08 a	14.47 b	
		پرایمینگ Priming	2.12 d	0.43 b	1.64 b	12.11 d	
	Q29	شاهد Control	2.24 d	0.40 bc	1.54 b	13.61 c	
		پرایمینگ Priming	2.60 c	0.35 d	1.06 cd	13.50 c	
	75% WR	Titicaca	شاهد Control	3.03 b	0.45 b	1.53 e	17.24 a
			پرایمینگ Priming	3.31 a	0.47 b	1.26 f	16.55 b
		Q26	شاهد Control	2.34 d	0.52 a	2.54 a	15.46 c
			پرایمینگ Priming	2.77 c	0.40 c	2.29 b	16.35 b
		Q29	شاهد Control	2.87 c	0.44 b	2.09 c	15.17 c
			پرایمینگ Priming	3.17 ab	0.39 c	1.72 d	15.00 c
50% WR		Titicaca	شاهد Control	2.35 b	1.41 a	2.01 e	18.36 b
			پرایمینگ Priming	2.53 a	0.87 b	1.83 f	20.88 a
		Q26	شاهد Control	1.77 e	0.52 c	2.65 b	17.82 b
			پرایمینگ Priming	1.56 f	0.42 d	2.90 a	17.95 b
		Q29	شاهد Control	1.98 d	0.39 d	2.40 c	18.18 b
			پرایمینگ Priming	2.15 c	0.29 e	2.20 d	16.73 c

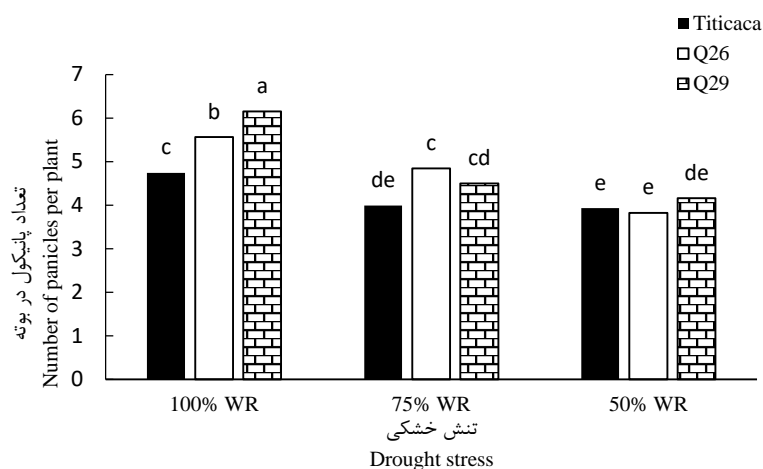
حروف کنار اعداد، نمایانگر مقایسات میانگین LSD در سطح احتمال پنج درصد هستند. میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

The letters next to the numbers represent comparisons of the mean LSD at the 5% probability level. Means with similar letters are not significantly different at the 5% probability level.

اجزای عملکرد کینوا شامل وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در بوته و تعداد دانه در پانیکول است. در این پژوهش وزن هزار دانه از تنش خشکی و پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت. اعمال تنش خشکی بر گیاهان موجب کاهش وزن هزار دانه گردید؛ به طوری که اعمال ۷۵٪ WR و ۵۰٪ WR به ترتیب وزن هزار دانه را ۰/۲۴ و ۰/۳۹ گرم نسبت به شاهد کاهش دادند (جدول ۵). هیدروپرایمینگ بذور موجب شد این صفت از ۱/۸۸ گرم در گیاهان شاهد به ۱/۹۸ گرم افزایش یابد (جدول ۵).

بودن ۳۲۲ دانه در پانیکول بالاترین میزان این صفت را دارا بود که البته از لحاظ آماری با رقم Q26 اختلاف معنی‌دار نداشت. رقم Q29 نیز کمترین تعداد دانه در پانیکول را که معادل ۲۷۳ عدد بود به خود اختصاص داد که این رقم نیز با رقم Q26 اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۵). در راستای نتایج تحقیق حاضر محققان مشاهده کردند که تنش خشکی موجب کاهش اجزای عملکرد کینوا می‌گردد (Gamez *et al.*, 2019).

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود هیدروپرایمینگ توانست تعداد پانیکول در بوته را از ۴/۳۰ به ۴/۹۶ (معادل ۱۵/۳۴ درصد) افزایش دهد. نتایج شکل ۲ نیز نشان می‌دهد که تنش خشکی در هر سه رقم موجب کاهش معنی‌دار تعداد پانیکول در بوته گردید. بیشترین تعداد پانیکول در بوته مربوط به رقم Q29 در شرایط آبیاری WR ۱۰۰٪ بود که معادل ۶/۱۵ عدد در بوته بود (شکل ۲). تعداد دانه در پانیکول تنها تحت تأثیر رقم قرار گرفت (جدول ۴). در بین سه رقم مورد آزمایش، رقم Titicaca با دارا



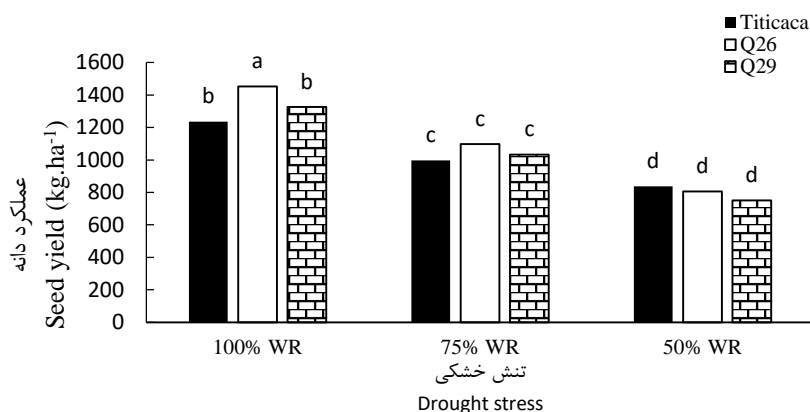
شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد پانیکول در بوته تحت تأثیر اثرات متقابل تنش خشکی و رقم

Figure 2- Mean comparison of the number of panicles per plant under the influence of drought stress and cultivar

بود. با انجام تنش شدید (WR ۵۰٪)، مقدار کاهش عملکرد در این سه رقم به ترتیب به ۳۲/۲۸، ۴۴/۵ و ۴۳/۴ درصد رسید (شکل ۳). تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ و بسته شدن روزنه‌ها شد و از این راه سبب اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی شده است و در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه شده است. هم‌چنین اجزای عملکرد شامل وزن هزار دانه و تعداد پانیکول در بوته در شرایط خشکی کاهش یافته است که باعث کاهش عملکرد دانه شده است. در تأیید نتایج این تحقیق، سایر پژوهش‌گران نیز کاهش عملکرد دانه کینوا در تنش خشکی را گزارش کردند (Jamali *et al.*, 2018). نتایج پژوهش نشان می‌دهد که هیدروپرایمینگ دانه را توانمند کرده و بر تنش خشکی غلبه پیدا می‌کند که این باعث می‌شود گیاهان حاصل از بذرها پریم شده، در شرایط تحت تنش آبیاری بهتر عمل کنند و باعث جوانه‌زنی زودتر، گل‌دهی زودتر و عملکرد دانه بیشتری حاصل شود (Shariatmadari *et al.*, 2018).

عملکرد دانه کینوا از تنش خشکی، رقم، پرایمینگ و اثر متقابل تنش خشکی و رقم در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۴). استفاده از هیدروپرایمینگ موجب افزایش ۱۴/۲ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد (جدول ۴). نتایج بررسی اثرات متقابل تنش خشکی و رقم در شکل ۲ نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در هر سه رقم شد. بالاترین سطح تنش خشکی (WR ۵۰٪) بیشترین کاهش عملکرد را نشان داد. در شرایط نرمال، رقم Q26 با عملکرد دانه ۱۴۵۲/۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را دارا بود و دو رقم دیگر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در شرایط تنش خشکی WR ۷۵٪ و WR ۵۰٪ بین ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).

مقدار عملکرد در سه رقم Titicaca، Q26 و Q29 در شرایط تنش WR ۷۵٪ به ترتیب ۹۹۸/۰، ۱۰۹۶/۷ و ۱۰۳۳/۲ کیلوگرم در هکتار بود. میزان کاهش عملکرد دانه در شرایط WR ۷۵٪ در سه رقم Titicaca، Q26 و Q29 به ترتیب ۱۹/۲، ۲۴/۴ و ۲۲/۰ درصد



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر اثرات متقابل تنش خشکی و رقم

Figure 3- Mean comparison of seed yield under the influence of drought stress and cultivar

درصد از تغییرات عملکرد دانه توسط این پنج صفت توجیه می‌شود. بیشترین اثر مستقیم مثبت را وزن هزار دانه (۰/۳۳) به خود اختصاص داد. در این بین بیشترین اثر مستقیم و منفی را صفت مالون‌دی‌آلدئید (-۰/۱۲۶) دارا بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که شاخص سطح برگ از روش اثرگذاری بر وزن هزار دانه، به‌طور غیر مستقیم باعث افزایش عملکرد دانه شد. مالون‌دی‌آلدئید از روش اثرگذاری منفی بر وزن هزار دانه و کلروفیل موجب کاهش عملکرد دانه شد (جدول ۷).

### تجزیه علیت

برای تعیین سهم اثرهای مستقیم و غیر مستقیم متغیرها بر عملکرد دانه از تجزیه علیت استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۷ ملاحظه می‌شود زمانی که عملکرد دانه به عنوان صفت وابسته در نظر گرفته شد، صفات شاخص سطح برگ (۰/۷۶)، مالون‌دی‌آلدئید (-۰/۷۵)، کلروفیل کل (۰/۸۴)، وزن هزار دانه (۰/۸۴) و تعداد پانیکول در بوته (۰/۷۱) به عنوان متغیرهای اصلی وارد مدل شدند. با توجه به اندازه ضریب تبیین ۸۳/۱۷

جدول ۷- تجزیه علیت عملکرد دانه تحت تأثیر صفات شاخص سطح برگ (LAI)، مالون‌دی‌آلدئید (MDA)، کلروفیل کل، وزن هزار دانه و تعداد پانیکول در بوته (عملکرد دانه صفت وابسته است).

Table 7- Analysis of seed yield under the influence of leaf area index (LAI), malondialdehyde (MDA), total chlorophyll, 1000-seed weight and number of panicles per plant (seed yield is dependent).

صفات Traits	شاخص سطح برگ Leaf area index	مالون دی آلدئید Malondialdehyde	کلروفیل Chlorophyll	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant	اثرات کل Total effect
شاخص سطح برگ Leaf area index	0.08	0.12	0.18	0.24	0.11	0.76
مالون دی آلدئید Malondialdehyde	-0.04	-0.21	-0.17	-0.22	-0.08	-0.75
کلروفیل Chlorophyll	0.05	0.14	0.25	0.26	0.10	0.84
وزن هزار دانه 1000-seed weight	0.05	0.14	0.20	0.33	0.08	0.84
تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant	0.06	0.11	0.17	0.19	0.15	0.71
R-squere	0.8317					

برگ، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در کینوا تحت تنش خشکی کاهش معنی‌دار نشان داد. استفاده از هیدروپرایمینگ موجب کاهش مالون‌دی‌آلدئید و افزایش شاخص پایداری غشاء، کلروفیل، وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در بوته و عملکرد دانه شد. بین سه رقم

### نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مالون‌دی‌آلدئید و پرولین در گیاه کینوا شد. صفاتی مانند شاخص پایداری غشاء، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب

دادند اما این کاهش عملکرد در رقم Titicaca به میزان ۱۲ درصد کمتر از دو رقم دیگر بود. از این رو کشت رقم Titicaca در منطقه دامغان قابل پیشنهاد است. همچنین کاربرد هیدروپرایمینگ در جهت بهبود صفات فیزیولوژیک در گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی اگرچه تمامی ارقام کاهش معنی‌دار عملکرد دانه را نشان

Titicaca، Q26 و Q29 صفاتی مانند شاخص پایداری غشاء، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب، پرولین و وزن هزار دانه تفاوتی با یکدیگر نداشتند. در شرایط آبیاری نرمال، رقم Q26 بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد و این در حالی است که در شرایط تنش خشکی اگرچه تمامی ارقام کاهش معنی‌دار عملکرد دانه را نشان

## References

- Abbasdokht, H. and Edalatpish, M.R.** 2013. The effect of priming and salinity on physiological and chemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Desert Journal*, 17: 183-192. (In Persian).
- Akbari, S., Kafee, M. and Rezvan Beidokhti, S.** 2016. The effect of drought stress and plant density on biochemical and physiological characteristics of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4): 665-674. (In Persian).
- Amini, S., Ghobadi, C. and Yamchi, A.** 2015. Proline accumulation and osmotic stress: and overview of P5CS gene in plants. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 3(2): 44-55.
- Amiryousefi, M., Tadayon, M. and Ebrahimi, R.** 2021. The effect of chemical and biological fertilizers on some physiological and yield traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress in saline soil. *Journal of Agroecology*, 13(2): 251-270. (In Persian).
- Anaya, F.F., Issa, O., Benhabib, O., Ragab, R. and Wahbi, S.** 2015. Physiological and photosynthetic response of quinoa to drought stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(2): 174-183.
- Aziz, A., Akram, N.A. and Ashraf, M.** 2018. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123: 192-203.
- Bagheri, M.** 2018. Handbook of quinoa cultivation. Seed and Plant Improvement Institute. (In Persian).
- Bathes, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D.** 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Beauchamp, C. and Fridovich, M.** 1971. Superoxide dismutase: improved assays and assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry Journal*, 44(1): 276-287.
- Cavusoglu, K. and Kabar, K.** 2010. Effects of hydrogen peroxide on the germination and early seedling growth of barley under NaCl and high temperature stresses. *Eurasian Journal of BioSciences*, 4: 70-79.
- Daur, I.** 2018. Effects of hydro and hormonal priming on quinoa seed germination under salt and drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, 50(5): 1669-1673.
- Dawood, M.G.** 2018. Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(5): 245-254.
- Elewa, T.A., Mervat, T.A., Sadak, S.H. and Saad, A.M.** 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*, 14(1): 21-33.
- Farooq, M., Basra, S.M., Rehman, H. and Saleem, B.** 2008. Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving chilling tolerance. *Journal Agronomy Crop Science*, 194: 55-60.
- Fowler, B.D., Brydon, J. and Baker, R.J.** 1989. Nitrogen fertilization of no till winter wheat and rye. II: Influence of grain protein. *Agronomy Journal*, 81: 72-77.
- Franklin, P., Gardner, R., Pearce, B. and Mitchell, R.L.** 2010. Physiology of crop plants. *Scientific Press*. 336 pp.
- Gamez, A.L., Soba, D., Zamarreno, A.M., Garcia-Mina, J.M., Aranjuelo, I. and Morales, F.** 2019. Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Illpa and Rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Plants*, 8(6): 173.

- Hinojosa, L., Gonzalez, J.A., Barrios-Masias, F.H., Fuentes, F. and Murphy, K.M. 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*, 7(4): 106.
- Jamali, S., Sharifan, H. and Sajadi, F. 2018. The effect of different seawater and deficit irrigation regimes on leaf properties of quinoa. *Journal of Water and Irrigation Management*, 8(2): 177-191. (In Persian).
- Jisha, K.C., Vijayakumari, K. and Puthur, J.T. 2013. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(5): 1381-1396.
- Kaman, H., Kirda, C. and Sesveren, S. 2011. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 98: 801-807.
- Kar, M. and Mishra, D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57: 315-319.
- Keshtkar, A., Aien, A., Naghavi, H. and Najafinezhad, H. 2021. Effect of foliar application of jasmonic acid and drought stress on yield and some agronomic and physiologic traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(2): 403-414. (In Persian).
- Khazaey, M., Galavi, M., Dahmardeh, M., Moosavi Nik, S.M., Zamani, G.R., Mahdi Nejad, N. and Alizadeh, Z. 2019. Effect of drought stress on antioxidant activity and yield in several genotype Foxtail Millet (*Setaria italica* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 7(27): 269-280. (In Persian).
- Lata, C., Jha, S., Sreenivasulu, N. and Prasad, M. 2011. Differential antioxidative responses to dehydration-induced oxidative stress in core set of foxtail millet cultivars. *Protoplasma*, 248: 817-828.
- Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiology*, 22: 867-880.
- Sadak, M.S.H., Safwat El-Bassiouny, H.M. and Gergis Dawood, M. 2019. Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit. *Bulletin of the National Research Centre*, 2-11.
- Sadeghizade, H., Khajoe-Nejad, G. and Ghanbari, J. 2021. Water use efficiency and quantitative and qualitative response of quinoa to different concentrations of salicylic acid application under deficit irrigation conditions. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 11(43): 345-360. (In Persian).
- Salek Mearaji, H., Tavakoli, A. and Sepahvand, N.A. 2020. Evaluating the effect of cytokinin foliar application on morphological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under optimal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 14(4): 479-498. (In Persian).
- Shahid, M., Pourrut, B., Dumat, C., Nadeem, M., Aslam, M. and Pinelli, E. 2014. Heavy-metal induced reactive oxygen species: phytotoxicity and physicochemical changes in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 232: 1-44.
- Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A. and Zhao, C.X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331: 215-225.
- Shariatmadari, M.H., Parsa, M., Nezami, A. and Kafi, M. 2018. The effect of hydropriming on germination and growth indices of chickpea cultivars under drought stress in laboratory and greenhouse conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 7(1): 243-256. (In Persian).
- Sharifan, H., Jamali, S. and Sajadi, F. 2017. Investigation the effect of different salinity levels on the morphological parameters of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation regimes. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 22(1): 15-27. (In Persian).
- Solimaninya, Z., Mohtadi, A. and Movahhedi Dehnavi, M. 2020. Response of some physiological and morphological properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by zinc application under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 10(41): 171-186. (In Persian).
- Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S. and Jacobsen, S.E. 2014. Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(1): 12-23.

- Stikic, R., Jovanovic, Z., Marjanovic, M. and Dordevic, S.** 2015. The effect of drought on water regime and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ratarstvo Povrtarstvo*, 52(2): 80-84.
- Vega-Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. and Martinez, E.A.** 2010. Nutrition Facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90: 2541-2547.
- Wang, Q., Ding, T., Zuo, J., Gao, L. and Fan, L.** 2016. Amelioration of postharvest chilling injury in sweet pepper by glycine betaine. *Postharvest Biology and Technology*, 112: 114-120.



## Agrophysiological response of different cultivars of *Chenopodium quinoa* Willd to hydropriming under drought stress conditions

Fathollah Nadali<sup>1,2\*</sup>, Hamid Reza Asghari<sup>2</sup>, Hamid Abbasdokht<sup>2</sup>, Vajihe Dorostkar<sup>3</sup>,  
Mahmoud Bagheri<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Crop and Horticultural Science Research Department of Semnan (Shahrood), Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shahrood, Iran

<sup>2</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>3</sup> Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>4</sup> Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

\*Corresponding Author: [f.nadali@areeo.ac.ir](mailto:f.nadali@areeo.ac.ir)

Received: 14 March 2022

Accepted: 11 June 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.333785.1211

### Abstract

**Introduction:** The cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), an annual plant with high nutritional and economic significance, is expanding throughout the world. Quinoa is a traditional Andean seed crop highly tolerant to abiotic stresses. Since most seed crop cultivars are sensitive to drought stress, quinoa is regarded as a valuable candidate for the plant's exposure to harsh environmental conditions. Due to the importance of quinoa in arid regions, the effects of seed priming on yield and certain morphological and physiological traits were investigated in this study.

**Material and Methods:** A factorial split-plot experiment based on a randomized complete block was designed with four replications was conducted in 2019 at Damghan Research Farm Station. The experimental treatments included drought stress based on the plant's water requirement at three levels (100% (control), 75%, and 50%) as the main factor, and sub-factors included three cultivars (Titicaca, Q26, and Q29) as well as priming at two levels (no priming and hydropriming) as a factorial experiment into sub-levels. To perform water requirement (WR) treatment, WR were calculated using the CROPWAT program and then applied to the 6-leaf stage plants.

**Results and Discussion:** The results demonstrated that drought stress (50% WR) reduced relative leaf water content (13.1%), leaf membrane stability index (21.2%), chlorophyll content (38.7%), 1000-seed weight (18.2%), number of panicles per plant (27.5%), number of seeds per panicle (7.71%), and seed yield (40.4%). The use of hydropriming increased the membrane stability index, leaf chlorophyll content, 1000-seed weight, and the number of panicles per plant. Under 50% WR, the activity of antioxidant enzymes such as catalase and leaf ascorbate peroxidase increased by 139.58 and 42.55 percent, respectively, compared to the control. Additionally, drought stress increased quinoa seed protein content and decreased seed yield.. The percentage of seed yield reduction in drought stress was 50% and 75% of WR and was lower in Titicaca than the other two cultivars. The comparison of the mean of irrigation interactions in the cultivars revealed that 100% WR produced the maximum quantities of Chl a, Chl b, and carotenoids in all three cultivars. Additionally, seed priming boosted the Chl a, and Chl b concentrations in Titicaca and Q26. Furthermore, the highest biological yield in the Damghan region was achieved in Q26 with 100% WR. Under normal irrigation conditions, Q26 cultivar had the highest seed yield, whereas under drought stress conditions, the seed yield of all cultivars decreased significantly. Nevertheless, this decline in the Titicaca cultivar was 12% less than in Q26 and Q29. The findings of the mean comparison revealed that priming improved seed yield in all three cultivars, with the Q29 cultivar producing the maximum seed yield at 1,452.03 kg/ha.

**Conclusion:** In general, Titicaca cultivar was more resistant to drought stress than other cultivars, hence its cultivation is encouraged in the Damghan region. Within the scope of this study, the use of

hydropriming to improve quinoa's physiological features in conditions of drought stress is suggested. In conclusion, the results demonstrated that seed priming significantly increased seed yield, biological yield, leaf area index, and chlorophyll content in drought-stressed quinoa cultivars. These results indicated that seed priming can play a significant role in enhancing quinoa's drought resistance under low irrigation conditions. This study could contribute to the understanding of seed priming effects, which could be applied as an effective strategy to mitigate the negative effects of drought stress on quinoa cultivars.

**Keywords:** Antioxidant, Irrigation stress, Pretreatment, Protein yield, Seed yield