نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال دوازدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۴۹ تا ۶۲

واکنش‌های فیزیولوژیک ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به هیدروپرایمینگ و تنش خشکی

فتح‌اله نادعلی[۱]، حمیدرضا اصغری[۲*]، حمید عباس دخت[۲]، وجیهه درستکار[۳] و محمود باقری[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲)

چکیده

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل میزان آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی و فاکتورهای فرعی شامل رقم در سه سطح (Titicaca، Q26 و Q29) و پرایمینگ در دو سطح (عدم پرایمینگ و هیدروپرایمینگ) بودند که به‌صورت فاکتوریل در سطوح فرعی اجرا شد. میزان درصد نیاز آبی گیاه با استفاده از برنامه CROPWAT محاسبه و از مرحله ۶ برگی گیاه اعمال شد. نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی موجب کاهش شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در هر سه رقم مورد آزمایش شد. درصد پروتئین، مالون‌دی‌آلدهید، پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاهان تحت تنش خشکی افزایش نشان داد. کاربرد هیدروپرایمینگ موجب افزایش شاخص سطح برگ و عملکرد دانه شد. در بین سه رقم مورد آزمایش ژنوتیپ Q26 در شرایط پرایمینگ بالاترین شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه و عملکرد دانه را نسبت به دو رقم دیگر دارا بود. ژنوتیپ Q26 در شرایط ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بالاترین عملکرد را دارا بود و در شرایط تنش شدید ۵۰ درصد نیاز آبی، رقم Titicaca بالاترین عملکرد را که معادل ۱۰۶۷ کیلوگرم در هکتار بود، به خود اختصاص داد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان بیان کرد که رقم Titicaca نسبت به سایر ارقام به خشکی مقاوم‌تر بود و در منطقه بسطام کشت این رقم پیشنهاد می‌شود. در محدوده پژوهش انجام شده می‌توان کاربرد هیدروپرایمینگ را در جهت بهبود صفات فیزیولوژیک در گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، پرایمینگ، رقم، نیاز آبی

۱. استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، شاهرود، سمنان، ایران
۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
۳. استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
۴. استادیار ، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hamidasghari@shahroodut.ac.ir

مقدمه

کمبود آب از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی، باغی و دارویی در دنیا است. تنش خشکی و خشکسالی ۴۰ تا ۶۰ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار داده است (۱۲). ایران به‌دلیل موقعیت مکانی (عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی)، وضعیت اقلیمی و ساختار طبیعی خود، با دارا بودن متوسط نزولات آسمانی، ۲۴۰ میلی‌متر در سال، از جمله ۶۰ کشور جهان است که در کمربند خشکی قرار گرفته است. بنابراین تولیدات کشاورزی آن متأثر از شرایط نامطلوب کمربند خشکی و خشکسالی است که هر چند سال یکبار اتفاق می‌افتد (۱۷). خشکی و شوری سبب کاهش محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود، به همین دلیل بایستی به‌دنبال گیاهانی بود که در این شرایط محصول مناسبی تولید کنند، کینوا یکی از این محصولات است. تنش‌های محیطی موجب تغییراتی در گیاه می‌شوند. این تغییرات شامل تغییر در بیان ژن و متابولیسم سلولی بوده و تا پیری برگ و ایجاد پژمردگی دائم پیش می‌رود و در نهایت منجر به تغییراتی در رشد و عملکرد گیاه می‌شود. تنش کمبود آب، اثرات فیزیولوژیک مختلفی بر گیاه می‌گذارد که نوع و میزان خسارت آن به شدت و مقاومت گیاه بستگی دارد. از آنجا که آب به‌عنوان یک محیط مناسب برای انجام فرایندهای آنزیمی به شمار می‌رود، کمبود آب قابل دسترس، فعالیت‌های بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۲). گونه‌های گیاهی بسته به نوع گونه و شدت تنش، راه‌کارهای متنوعی را برای غلبه بر شرایط کم‌آبی به‌کار می‌گیرند (۱۳)، شناخت راه‌کارهای تحمل در گونه‌های متحمل به خشکی می‌تواند در افزایش پتانسیل تولید محصول در گیاهان زراعی مهم از طریق مهندسی ژنتیک به‌کار گرفته شود. از تفاوت‌های فنوتیپی گیاهان می‌توان برای تعیین سطح تحمل گیاهان به شرایط کم‌آبی و شناسایی گونه‌ها و رقم‌های مقاوم به خشکی بهره جست. یکی از تکنیک‌های کم‌هزینه، افزایش بنیه بذر، پرایمینگ بذر است. یکی از انواع پرایمینگ، هیدروپرایمینگ است که در این روش بذور با آب خالص تیمار می‌شوند. در این روش که بسیار ساده و ارزان است مقدار جذب آب توسط بذر از طریق مدت زمانی که بذور در تماس با آب خالص هستند، کنترل می‌شود (۱). در این پژوهش به بررسی تأثیر هیدروپرایمینگ و تنش خشکی بر گیاه کینوا پرداخته شده است. کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd، گیاهی یک‌ساله، دو لپه از خانواده Amaranthaceae با مکانیزم فتوسنتزی C3 است (۱۵).

جیشا و همکاران (۱۶) گزارش کردند که پرایمینگ بذور کینوا، سبب بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاه می‌شود. محققان در بررسی تأثیر پرایمینگ بر بذور کینوا گزارش کردند که هیدروپرایمینگ سبب کوتاه شدن دوره جوانه‌زنی بذور و کاهش تعداد گیاهچه‌های غیرنرمال کینوا در شرایط تنش خشکی شد (۹).

دانه‌های کینوا به‌دلیل ارزش غذایی آن، از جمله گیاهانی است که سطح زیر کشت آن به سرعت در جهان در حال گسترش است و چون بومی ایران نیست برای اولین بار در شهر بسطام (منطقه خشک و نیمه خشک سرد) معرفی می‌شود. تحقیقات انجام شده گویای این موضوع است که بروز تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار در صفات مورفولوژی، فیزیولوژی و عملکرد دانه در گیاهان می‌شود، لذا یافتن راهکاری کارآمد برای کاهش آثار منفی ناشی از تنش و همچنین معرفی ارقام مقاوم به خشکی ضرورت دارد. با توجه به اینکه تا به حال تحقیقی به‌منظور بررسی اثر هیدروپرایمینگ در راستای بهبود شرایط تنش خشکی در ارقام مختلف کینوا در منطقه بسطام انجام نشده است و سندی در این مورد یافت نشد، در این تحقیق به بررسی این موضوع پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود) واقع در منطقه بسطام و در

چهار تکرار اجرا شد. مزرعه تحقیقاتی مورد نظر واقع در شهر بسطام با مختصات طول جغرافیایی ۵۸/۵۴ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵/۳۶ درجه با ارتفاع ۱۴۲۰ متری از سطح دریا قرار داشت. تیمارهای آزمایش شامل میزان آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح (۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۷۵ درصد نیاز آبی و ۵۰ درصد نیاز آبی (WR: Water requirement)، فاکتورهای فرعی شامل رقم و پرایمینگ بود که به‌صورت فاکتوریل در سطوح فرعی اجرا شد. رقم در سه سطح (Titicaca، Q26 و Q29) و پرایمینگ در دو سطح (عدم پرایمینگ و هیدروپرایمینگ) انجام شد. در این مطالعه، بذر مورد نیاز گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. برخی از مشخصات ارقام مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

قبل از انجام آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری شده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در آزمایشگاه تحقیقاتی خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) تعیین شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

عملیات تهیه زمین شامل شخم عمیق و دو دیسک عمود بر هم در سال قبل انجام گرفت و کشت بذر ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در مزرعه در تاریخ ۲۶ اردیبشهت ماه ۱۳۹۸ توسط دست در عمق یک و نیم سانتی‌متری (با تراکم بالاتر) انجام شد. آزمایش دارای ۱۸ تیمار با چهار تکرار، که در مجموع شامل ۷۲ کرت بود. در هر کرت آزمایشی چهار خط کاشت به طول هشت متر با فواصل ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف پنج سانتی‌متر (پس از تنک) در نظر گرفته شد. در بین هر کرت اصلی دو خط نکاشت فاصله قرار داده شد تا از تداخل احتمالی آبیاری جلوگیری شود.

بذور کلیه ارقام مورد نظر با ۵٪ وزنی آب مقطر کاملاً مخلوط و این عمل با احتیاط هر یک ساعت یک بار تکرار شد تا آب به‌طور یکنواخت بین بذور پخش و جذب شود، پس از جذب کامل آب، بذرها در ظروفی با سطح مقطع بالا، پهن و در دمای محیط قرار گرفتند، پس از خشک شدن کامل برای کشت در مزرعه آماده شد. آبیاری مزرعه به‌صورت تحت فشار و با استفاده از لوله تیپ به‌صورت جداگانه برای هر خط کاشت انجام شد.

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 ابتدا 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 شد. میزان آب آبیاری در کرت‌های اصلی با استفاده از کنتور در هر بار آبیاری قرائت و یادداشت شد. برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک، نمونه‌برداری در زمان گلدهی کامل، ۴۵ روز پس از اعمال تیمار خشکی، صورت گرفت. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در زمان گلدهی، تعداد پنج بوته از هر تیمار به‌طور تصادفی برداشت شد و سطح تمامی برگ‌های این پنج بوته با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل A3 Light box ساخت کشور انگلستان به ثبت رسید. استخراج و اندازه‌گیری پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلولی به روش وانگ و همکاران (۲۵)، پرولین با روش بیتس و همکاران (۶) ثبت شد. ابتدا مقدار ۰/۲۵ گرم بافت گیاهی را با پنج میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید سه درصد آماده شده را به آن اضافه و نمونه در هاون چینی در یک محیط سرد هموژن شد. آنگاه هموژن به‌دست آمده را به فالکون منتقل، سپس در سانتریفیوژ دمای چهار درجه سانتی‌گراد در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس دو میلی‌لیتر از عصاره سوپرناتانت را به یک لوله فالکون جدید منتقل کرده و به همه لوله‌ها مقدار دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال اضافه شد. آنگاه به‌مدت 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 تولوئن اضافه کرده 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

جدول ۱. ویژگی‌های ارقام مورد استفاده در این پژوهش

رقم/ ژنوتیپ	مبدأ	ویژگی‌های مهم
Titicaca	دانمارک	مقاوم به شوری، زودرس، مناسب برای کشت بهاره و روز خنثی
Q26	شیلی	متوسطرس، مناسب برای کشت بهاره و روز خنثی
Q29	شیلی	متوسطرس، مناسب برای کشت بهاره و روز خنثی

جدول ۲. ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش

نیتروژن کل	کربن آلی خاک	pH	EC	HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Na^+	K^+	P	بافت خاک
(٪)	(٪)	-	($dS\ m^{-1}$)	($Meq\ l^{-1}$)						
۰/۰۴	۰/۵۶	۷/۴۳	۲/۲۲	۰/۶۱	۱۷/۲	۸/۲	۹/۸۷	۳۰۷	۷/۲۸	لوم

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. جهت تعیین درصد نیتروژن از دستگاه کجلدال (مدل Behr–D–40599 Duseldorf) و روش فولر و همکاران (۱۱) استفاده شد.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از روش بوچامپ و فریدویچ (۷) ثبت شد. در این روش از ریبوفلاوین و متیونین در حضور نور جهت تولید رادیکال سوپراکسید استفاده شد. رادیکال سوپراکسید سبب احیای NBT و ایجاد مونوفورمازان (رنگ بنفش) می‌شود. کاهش ایجاد مونوفورمازان در مخلوط واکنش از طریق مصرف رادیکال سوپراکسید توسط این آنزیم در طول موج ۵۶۰ نانومتر بر اساس ممانعت از تولید مونوفورمازان (احیای NBT) در مدت زمان ده دقیقه اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز با روش کار و میشرا (۱۸) اندازه‌گیری شد. مقدار ۰/۰۵ گرم بافت تر گیاهچه با دو میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH =۶/۸ در هاون چینی سرد هموژن شد. آنگاه به‌مدت 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. مخلوط واکنش به حجم سه میلی‌لیتر شامل ۲/۸ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH = ۶/۸، عصاره آنزیمی (۱۰۰ میکرولیتر)، و ۱۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۰/۴۵ مولار اضافه شد. فعالیت آنزیمی با اضافه کردن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش شروع شد. محلول بلانک فاقد آب اکسیژنه بود. کاهش میزان جذب نور در طول موج ۲۴۰ نانومتر در یک دقیقه اول بعد از افزودن آب اکسیژنه قرائت شد. در نهایت فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس ضریب خاموشی (ε) برابر با 40 mM-1 cm-1 در دقیقه به ازای یک میلی‌گرم پروتئین بیان شد.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از روش ناکانو و آسادا (۲۲) استفاده شد. 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)، ۱/۰ EDTA میلی‌مولار ۵۰ میکرولیتر و آب اکسیژنه ۱/۲ میلی‌مولار (۱۰۰ میکرولیتر) 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 آسکوربات پراکسیداز (ε) برابر با 8/2 mM-1 cm-1 است. برای محاسبه فعایت آنزیم با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، تغییرات جذب نور در طول موج ۲۹۰ نانو متر در طول مدت چهار دقیقه ثبت شد.

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 مترمربع) انجام، سپس عملکرد دانه نیز بر حسب کیلوگرم در هکتار گزارش شد. اجزای عملکرد کینوا شامل وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در بوته و تعداد دانه در پانیکول با توجه به پنج بوته برداشت شده از هرکرت محاسبه و اندازه گیری شد.

نرمال‌سازی و تبدیل داده‌ها توسط نرم افزار SPSS انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

تجزیه واریانس صفات در جدول ۳ آورده شده است. شاخص سطح برگ از تنش خشکی، رقم، پرایمینگ، اثر متقابل تنش خشکی و رقم، تنش خشکی و پرایمینگ و اثر سه جانبه عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام کینوا در رژیم‌های آبیاری در جدول ۴ نشان داد که در ۱۰۰٪ WR بین سه رقم از نظر میزان شاخص سطح برگ تفاوت وجود داشت که می‌توان به پتانسیل ژنتیکی ارقام نسبت داد. بیشترین میزان شاخص سطح برگ در سطح آبیاری ۱۰۰٪ WR مربوط به ژنوتیپ Q29 به همراه هیدروپرایمینگ با میانگین ۵/۲۵ مشاهده شد. تنش خشکی در هر سه رقم موجب کاهش شاخص سطح برگ شد. گیاهان حاصل از بذور هیدروپرایم شده، شاخص سطح برگ بالاتری را نسبت به شرایط عدم پرایمینگ نشان دادند. برش‌دهی فیزیکی اثرات متقابل نشان داد که در ۷۵٪ WR، کمترین شاخص سطح برگ مربوط به ژنوتیپ Q29 بود و ژنوتیپ Q26 با دریافت پرایمینگ، بالاترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داد که معادل ۳/۲۱ بود. در سطح تنش ۵۰٪WR، بین ترکیبات تیماری اختلاف معنی‌داری به ثبت نرسید (جدول ۴).

عکس‌العمل شاخص سطح برگ تحت تیمارهای مختلف آبیاری در سه رقم کینوا در طی فصل رشد حاکی از آن است که با شدت یافتن تنش، شاخص سطح برگ با سرعت بیشتری افت کرد. دلیل کاهش میزان سرعت و گسترش سطح برگ در کانوپی گیاهی در زمان اعمال تنش خشکی به‌واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش آماس سلولی می‌باشد. یکی از دلایل افت سطح برگ در تیمارهای تنش به‌واسطه حساسیت بالای تقسیم سلولی و سرعت رشد سلول‌ها به کم‌آبی است (۲۱). احتمالاً تیمار پرایمینگ به‌دلیل تسریع در سبز شدن و استقرار گیاه سبب افزایش میزان شاخص سطح برگ در گیاه کینوا شد. کاهش شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش خشکی در کینوا توسط محققان دیگر گزارش شده است (۳، ۸ و ۱۷). محققان گزارش کردند که این کاهش می‌تواند ناشی از کاهش میزان آسمیلات‌های فتوسنتزی باشد (۸). بنا به گزارش این پژوهشگران، کاهش مواد فتوسنتزی در اثر کاهش سطح برگ از یک سو و کاهش انتقال مواد پرورده به سمت اندام‌های زایشی در اثر تنش اسمزی ناشی از کمبود آب، از سوی دیگر، سبب کاهش عملکرد دانه در کینوا می‌شود.

مالون‌دی‌آلدهید (MDA)

جدول تجزیه واریانس نشان داد که مالون‌دی‌آلدهید از تمامی اثرات اصلی و متقابل عامل‌ها به جز اثر متقابل رقم و پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین غلظت مالون‌دی‌آلدهید در هر سه رقم در شرایط ۱۰۰٪ WR مشاهده شد که می‌توان به کم بودن محدویت آبی نسبت داد، با اعمال رژیم آبیاری ۷۵٪ WR و ۵۰٪ WR در هر سه رقم غلظت مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافت (جدول ۴). در اثر اعمال محدودیت‌های آبیاری در ۷۵٪ WR و ۵۰٪ WR، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش یافته که سبب اکسید شدن آنتی‌اکسیدان‌ها، تجزیه رنگیزه‌ها، صدمه دیدن غشاهای سلولی، افزایش نشت‌پذیری الکترولیت‌ها و افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدهید شده است. افزایش غلظت این

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات شاخص سطح برگ، مالون‌دی‌آلدهید، پرولین، درصد پروتئین، عملکرد پروتئین، سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در بوته، تعداد دانه در پانیکول و عملکرد دانه در کینوا تحت تأثیر تنش خشکی، رقم و پرایمینگ

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	مالون‌دی‌آلدهید	پرولین	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین	سوپر اکسید دیسموتاز	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	وزن هزار دانه	تعداد پانیکول در بوته	تعداد دانه در پانیکول	عملکرد دانه
تکرار	۳	۰/۳۳	۲/۵۲	۰/۰۴	۱/۸۷	۳۱۲/۶۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲	۲۴/۲۳	۷۲۷۸/۳۰	۱۹۶۳/۲۹
تنش خشکی (a)	۲	۱۵/۹۳**	۵۰۳/۷۰**	۶۰/۵۲**	۱۱۴/۳۹**	۵۵۶۲/۹۲**	۴/۷۴**	۰/۸۲**	۵/۱۷**	۱/۲۰**	۲۸/۱۳**	۱۴۵۴/۵۳	۱۴۷۰۳۹۵/۴۰**
خطای اول (r*a)	۶	۰/۰۴	۲/۶۲	۰/۰۹	۰/۱۱	۲۳/۹۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۷۰	۲۹۶/۰۱	۳۲۳۶/۱۶
رقم (b)	۲	۱/۳۱**	۱۳/۱۰**	۱/۶۷**	۲۰/۸۶**	۵۰۸۳/۸۰**	۳/۹۳	۰/۱۴**	۴/۸۶**	۰/۰۲**	۲۱/۷۸**	۱۹۲/۱۵	۸۱۸۳۲/۰۳**
پرایمینگ (c)	۱	۱۲/۷۴**	۷/۲۸**	۱۳/۷۴**	۰/۹۷*	۶۳۰۴/۷۰**	۰/۹۴**	۰/۰۰۳*	۱/۰۲**	۰/۲۰**	۱۶/۲۱**	۱۴۱/۸۷	۴۲۵۹۳۳/۷۳**
a*b	۴	۳/۰۵**	۶/۷۶**	۰/۹۸**	۲/۷۸**	۷۶۹/۶۹**	۰/۰۴*	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۱**	۰/۹۶*	۴۷۹/۱۱	۳۱۱۲۸/۶۰**
a*c	۲	۲/۶۴**	۱۳/۴۲**	۱/۸۳**	۰/۶۲	۳۲۷/۲۳**	۰/۲۰**	۰/۰۱**	۰/۱۸**	۰/۰۰۱	۲/۲۶**	۱۰۲۴/۴۹	۳۶۴۳/۹۹
b*c	۲	۰/۰۷	۱/۸۹	۳/۹۴**	۱/۳۲**	۱۱/۵۹	۰/۱۳**	۰/۰۱**	۰/۰۶**	۰/۰۱**	۶/۱۸**	۴۸۲/۰۸	۱۹۶۹/۹۹
a*b*c	۴	۰/۱۹*	۵/۹۳**	۱/۲۲**	۳/۳۳**	۲۳۰/۲۴**	۰/۰۱	۰/۰۱**	۰/۰۵**	۰/۰۱**	۲/۶۸**	۱۵۳۲/۱۷*	۲۱۹۳۶/۸۲*
خطای دوم	۴۵	۰/۰۶۶	۰/۸۳	۰/۰۴	۰/۱۹	۲۷/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۲۵	۵۰۳/۳۵	۷۸۷۳/۲۰
ضریب تغییرات	–	۹/۹۵	۵/۲۹	۳/۸۷	۲/۷۳	۲/۶۱	۹/۶۸	۳/۸۴	۲/۹۹	۲/۲۲	۵/۸۳	۱۳/۷۳	۷/۰۵

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل سه جانبه تنش خشکی، رقم و پرایمینگ بر صفات شاخص سطح برگ، مالون دی آلدهید و پرولین در کینوا (برش‌دهی فیزیکی در سطح تنش خشکی انجام شده است)

	رقم/ ژنوتیپ	هیدروپرایمینگ	شاخص سطح برگ	مالون‌دی‌آلدهید	پرولین
				(میکرومول بر گرم وزن تر)	(میکرومول بر گرم وزن تر)
100% WR	Titicaca	شاهد	۲/۰۷^{e}	۱۳/۸۳^{a}	۳/۷۹^{cd}
		پرایمینگ	۳/۳۶^{c}	۱۰/۵۸^{d}	۴/۸۲^{a}
	Q26	شاهد	۲/۷۸^{d}	۱۳/۸۲^{a}	۳/۴۹^{d}
		پرایمینگ	۴/۳۶^{b}	۱۲/۳۵^{bc}	۴/۷۶^{a}
	Q29	شاهد	۳/۳۵^{c}	۱۱/۳۵^{cd}	۴/۱۱^{bc}
		پرایمینگ	۵/۲۵^{a}	۱۲/۸۰^{ab}	۴/۳۳^{b}
75% WR	Titicaca	شاهد	۱/۹۰^{c}	۱۵/۸۴^{c}	۵/۴۵^{b}
		پرایمینگ	۲/۶۱^{b}	۱۸/۶۱^{a}	۶/۰۰^{a}
	Q26	شاهد	۲/۲۸^{b}	۱۶/۹۵^{bc}	۴/۴۸^{c}
		پرایمینگ	۳/۲۱^{a}	۱۷/۸۰^{ab}	۵/۳۹^{b}
	Q29	شاهد	۱/۵۳^{d}	۱۸/۰۱^{ab}	۵/۹۵^{a}
		پرایمینگ	۱/۷۷^{cd}	۱۸/۹۶^{a}	۵/۵۰^{b}
50% WR	Titicaca	شاهد	۱/۹۱^{a}	۱۸/۹۱^{d}	۷/۷۸^{b}
		پرایمینگ	۲/۱۴^{a}	۲۰/۶۹^{c}	۸/۰۰^{b}
	Q26	شاهد	۱/۸۶^{a}	۲۱/۴۵^{bc}	۵/۷۱^{e}
		پرایمینگ	۲/۲۲^{a}	۲۲/۶۷^{ab}	۸/۸۹^{a}
	Q29	شاهد	۱/۸۶^{a}	۲۲/۱۸^{b}	۶/۴۶^{d}
		پرایمینگ	۲/۲۲^{a}	۲۳/۶۰^{a}	۷/۳۸^{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.

ماده تحت تأثیر تنش خشکی در گیاه کینوا گزارش شده است (۲۴).

پرولین

پرولین موجود در برگ کینوا در این پژوهش از تمامی اثرات اصلی تیمارها و اثرات متقابل عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۳). نتایج حاکی از آن است که اعمال تنش خشکی موجب افزایش میزان پرولین موجود در برگ گیاه شد (جدول ۴). افزایش غلظت پرولین با افزایش سطح تنش در هر سه رقم مشاهده شد. کمترین غلظت پرولین در رژیم آبیاری ۱۰۰٪ WR، به ثبت رسید. اعمال پرایمینگ در هر دو سطح تنش سبب افزایش غلظت پرولین شد. ارقام با سازوکار و اثر بخشی بیشتر قادرند که باعث افزایش تجمع پرولین گشته و از طریق تنظیم اسمزی مقاومت خود را نسبت به تنش کم‌آبی افزایش دهند. همچنین پرولین به‌عنوان منبع نیتروژن و کربن برای گیاهان تحت تنش شدید عمل می‌کند و

تحمل گیاه در برابر تنش را افزایش می‌دهد (۲ و ۳). مشابه نتایج تحقیق حاضر سایر محققان گزارش کردند که در کینوا تحت تنش خشکی، میزان پرولین افزایش می‌یابد (۱۰ و ۲۹).

درصد و عملکرد پروتئین دانه

درصد پروتئین از تنش خشکی، رقم، اثر متقابل تنش خشکی و رقم، رقم و پرایمینگ و اثر سه جانبه عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد و پرایمینگ در سطح احتمال پنج درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۳). تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین موجود در بذور کینوا شد (جدول ۵). پرایمینگ در رقم Titicaca موجب افزایش درصد پروتئین شد اما در ژنوتیپ Q26 موجب کاهش درصد پروتئین شد و در ژنوتیپ Q29 تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۵). بررسی دو رژیم آبیاری ۷۵٪ WR و ۵۰٪ WR نشان داد که رقم Titicaca بدون دریافت پرایمینگ، بالاترین درصد پروتئین را در این شرایط به خود اختصاص داد و این در حالی است که کمترین درصد پروتئین در این رژیم آبیاری مربوط به ژنوتیپ Q29 در هر دو شرایط عدم پرایمینگ و پرایمینگ بود (جدول ۵).

عملکرد پروتئین نیز تحت تأثیر تنش خشکی، رقم، پرایمینگ، تنش خشکی و رقم، تنش خشکی و پرایمینگ و اثر سه جانبه عامل‌ها قرار گرفت (جدول ۳). تنش خشکی در این پژوهش موجب کاهش عملکرد پروتئین شد. می‌توان بیان کرد که اعمال پرایمینگ در ارقام مورد آزمایش در هر سه رژیم رطوبتی موجب افزایش معنی‌دار این صفت شده است (جدول ۵).

گزارش شده است که پرایمینگ موجب بهبود در تشکیل ریشه و در نتیجه بهبود در جذب نیتروژن و افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز در بذر می‌شود (۱). لذا دست‌یابی به نیتروژن بیشتر در گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده می‌تواند یکی از دلایل افزایش میزان پروتئین این بذور باشد (۱). هریس و همکاران (۱۴) گزارش کردند که گیاهانی که بذر آنها پرایم شدند نیتروژن بیشتری را از خاک جذب می‌کنند که می‌تواند به‌علت رشد اولیه خیلی سریع گیاه و گسترش ریشه‌ها در افق‌های مختلف خاک باشد. یکی از دلایل مهم افزایش تجمع پروتئین در دانه تحت تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه ناشی از انتقال مجدد کربن و نیتروژن از برگ‌ها است.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

سوپراکسید دیسموتاز

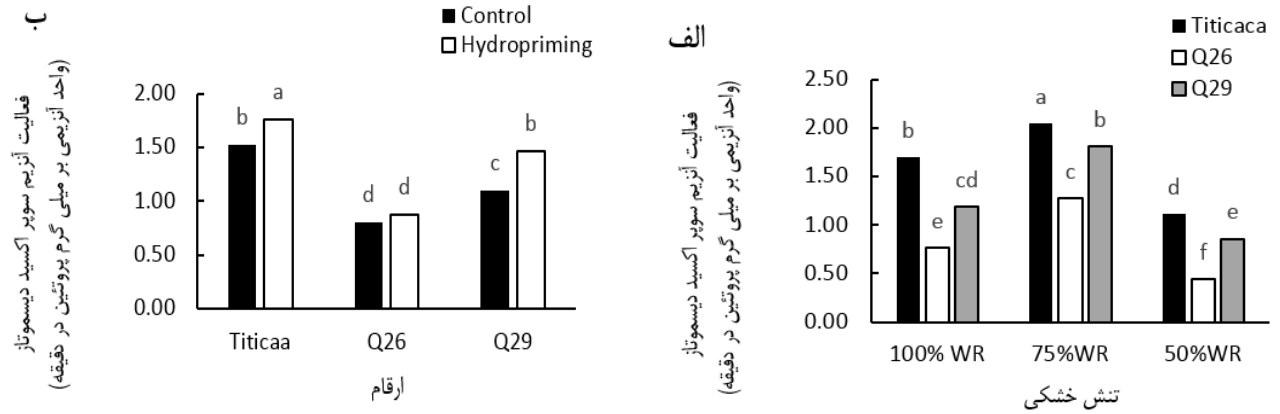
آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از تنش خشکی، پرایمینگ، اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ، اثر متقابل رقم و پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی و رقم در سطح احتمال پنج درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۳). نتایج شکل ۱ (الف) بیانگر این است که رژیم آبیاری ۷۵٪ WR در هر سه رقم مورد آزمایش سبب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد و این درحالی است که زمانی که تنش شدید (۵۰٪ WR) اعمال شد، به دنبال آن تجمع گونه‌های آزاد اکسیژن افزایش یافته سبب اکسید شدن آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌ها در هر سه رقم شد. با افزایش سطح تنش از فعالیت آنزیم کاسته شده بود و این کاهش در ژنوتیپ Q26 بیشتر بود. آنتی‌اکسیدان‌ها در حفظ تعادل اکسیداتیو سلول‌ها نقش بارزی را ایفا می‌کنند، زیرا این متابولیت‌ها توانایی واکنش مستقیم با گونه‌های اکسیژن فعال و پالایش آنها را دارند (۲۴). کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در ژنوتیپ Q26 با افزایش فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز (جدول ۵) می‌تواند جبران شود.

بررسی اثرات متقابل رقم و پرایمینگ نیز حاکی از آن است که اعمال پرایمینگ در رقم Titicaca و ژنوتیپ Q29 موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد و بر ژنوتیپ Q26 تأثیری نشان نداد (شکل ۱ (ب)). افزایش فعالیت آنزیم می‌تواند به‌دلیل افزایش رادیکال سوپراکسید یا اینکه یک مکانیسم دفاعی علیه تنش اکسیداتیو در گیاهان باشد. فعالیت کم آنزیم سوپراکسید دیسموتاز کارایی چرخه مهلر را در کلروپلاست کاهش خواهد داد (۵). کاهش کارایی این چرخه

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل سه جانبه تنش خشکی، رقم و پرایمینگ بر صفات درصد و عملکرد پروتئین دانه، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در بوته و تعداد دانه در پانیکول در کینوا (برش‌دهی فیزیکی در سطح تنش خشکی انجام شده است)

	رقم/ ژنوتیپ	پرایمینگ	پروتئین (درصد)	عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار)	کاتالاز (واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)	آسکوربات پراکسیداز (واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد پانیکول در بوته	تعداد دانه در پانیکول
100% WR	Titicaca	شاهد	۱۳/۹۵^{c}	۱۹۷/۹۳^{c}	۰/۴۰^{c}	۲/۵۸^{c}	۲/۳۳^{c}	۷/۵۵^{f}	۱۷۷/۶۸^{ab}
		پرایمینگ	۱۴/۶۲^{ab}	۲۱۳/۲۹^{b}	۰/۳۲^{e}	۲/۳۵^{d}	۲/۴۴^{b}	۹/۵۸^{d}	۱۵۴/۷۹^{bc}
	Q26	شاهد	۱۴/۹۴^{a}	۲۲۷/۱۵^{a}	۰/۵۴^{a}	۳/۵۱^{a}	۲/۳۷^{c}	۸/۸۰^{e}	۱۸۸/۴۹^{a}
		پرایمینگ	۱۳/۴۲^{c}	۲۲۹/۴۱^{a}	۰/۴۹^{b}	۳/۰۷^{b}	۲/۶۵^{a}	۱۲/۱۹^{a}	۱۵۴/۶۰^{bc}
	Q29	شاهد	۱۴/۰۱^{bc}	۱۹۵/۲۵^{c}	۰/۳۵^{d}	۲/۹۷^{b}	۲/۴۸^{b}	۱۱/۰۹^{b}	۱۴۴/۱۲^{c}
		پرایمینگ	۱۳/۴۴^{c}	۲۰۹/۴۳^{b}	۰/۵۵^{a}	۲/۴۸^{cd}	۲/۴۷^{b}	۱۰/۳۱^{c}	۱۷۹/۱۹^{ab}
75% WR	Titicaca	شاهد	۱۸/۴۹^{a}	۲۰۸/۳۶^{c}	۰/۴۶^{c}	۲/۹۶^{e}	۲/۱۰^{d}	۶/۸۷^{c}	۱۷۳/۸۷^{a}
		پرایمینگ	۱۶/۶۰^{b}	۲۱۹/۱۷^{b}	۰/۴۵^{c}	۲/۶۹^{f}	۲/۱۸^{bc}	۷/۹۳^{b}	۱۶۲/۸۰^{a}
	Q26	شاهد	۱۵/۷۷^{cd}	۱۹۷/۴۱^{d}	۰/۵۴^{a}	۳/۹۷^{a}	۲/۱۷^{c}	۷/۷۹^{b}	۱۸۹/۲۱^{a}
		پرایمینگ	۱۶/۱۷^{bc}	۲۳۲/۸۵^{a}	۰/۴۶^{c}	۳/۷۲^{b}	۲/۲۸^{a}	۹/۷۵^{a}	۱۶۶/۴۰^{a}
	Q29	شاهد	۱۴/۸۹^{e}	۱۶۹/۸۰^{f}	۰/۵۰^{b}	۳/۵۲^{c}	۲/۱۶^{cd}	۹/۲۱^{a}	۱۶۳/۸۷^{a}
		پرایمینگ	۱۵/۳۲^{de}	۱۸۵/۰۹^{e}	۰/۴۷^{c}	۳/۱۵^{d}	۲/۲۴^{ab}	۹/۱۲^{a}	۱۵۸/۴۹^{a}
50% WR	Titicaca	شاهد	۲۰/۲۱^{a}	۱۷۹/۵۶^{b}	۰/۵۸^{f}	۳/۴۴^{e}	۱/۹۸^{b}	۷/۰۰^{cd}	۱۴۲/۲۳^{a}
		پرایمینگ	۱۹/۱۸^{b}	۲۰۴/۷۹^{a}	۰/۶۶^{e}	۳/۲۶^{f}	۲/۰۸^{a}	۶/۸۲^{d}	۱۵۸/۴۳^{a}
	Q26	شاهد	۱۸/۰۹^{c}	۱۷۶/۲۱^{b}	۰/۷۷^{d}	۴/۰۸^{b}	۱/۹۶^{b}	۸/۳۴^{a}	۱۳۶/۸۸^{a}
		پرایمینگ	۱۸/۸۹^{b}	۱۹۷/۷۸^{a}	۰/۸۳^{c}	۴/۳۳^{a}	۲/۰۵^{a}	۸/۸۴^{a}	۱۶۴/۱۸^{a}
	Q29	شاهد	۱۶/۷۹^{e}	۱۵۳/۲۱^{c}	۰/۹۰^{b}	۳/۸۳^{c}	۱/۹۵^{b}	۷/۶۰^{bc}	۱۶۶/۵۴^{a}
		پرایمینگ	۱۷/۴۲^{d}	۱۸۱/۵۰^{b}	۰/۹۴^{a}	۳/۶۳^{d}	۲/۰۶^{a}	۸/۲۴^{ab}	۱۵۸/۷۴^{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.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و رقم (الف) و اثر متقابل رقم و پرایمینگ (ب) بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در کینوا (حروف روی میله‌ها، نمایانگر مقایسات میانگین LSD در سطح احتمال پنج درصد هستند. میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند)

سبب افزایش شدت صدمات به بیومولکول‌های حیاتی می‌شود که آسیب به غشاها از مهم‌ترین آنها است. به علاوه تجمع رادیکال سوپراکسید، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیدازها را کاهش می‌دهد (۵).

کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز از تمامی اثرات اصلی تیمارها و اثرات متقابل عامل‌ها تأثیر پذیرفت (جدول ۳). فعالیت آنزیم کاتالاز با اعمال تنش خشکی افزایش نشان داد. در شرایط ۱۰۰٪ WR، با اعمال پرایمینگ، فعالیت این آنزیم در رقم Titicaca و ژنوتیپ Q26 کاهش و در ژنوتیپ Q29 افزایش معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). در رژیم رطوبتی ۷۵٪ WR، ژنوتیپ Q26 بیشترین فعالیت این آنزیم را دارا بود که معادل ۰/۵۴ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود. بعد از آن ژنوتیپ Q29 در جایگاه دوم جدول قرار گرفت و بین سایر ترکیبات تیماری اختلاف معنی‌داری به ثبت نرسید. در شرایط تنش شدید مشاهده شد که اعمال پرایمینگ در دو ژنوتیپ Q26 و Q29 موجب افزایش فعالیت کاتالاز شد اما در رقم Titicaca موجب کاهش این صفت شد (جدول ۵). فعالیت کمتر آنزیم در ۱۰۰٪ WR و ۷۵٪ WR احتمالاً به‌دلیل نیاز کمتر گیاه در این شرایط است. با افزایش تنش در هر سه رقم فعالیت آنزیم افزایش یافته بود، در اغلب بررسی‌ها از کینوا به‌عنوان گیاهی مقاوم به خشکی یاد می‌شود (۱۰). در گیاهان مقاوم به شرایط تنش خشکی، میزان گونه‌های فعال اکسیژن تولیدی درون گیاه، با فعال شدن فعالیت سیستم آنتی‌کسیدانی کاهش یافته و در نتیجه آسیب وارده به غشاء سلولی و پراکسیداسیون لیپیدها کاهش می‌یابد (۱۰). لاتا و همکاران (۲۰) اظهار داشتند که پتانسیل ژنتیکی ژنوتیپ‌ها ازنظر سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در مقاومت به تنش خشکی مؤثر است. گزارش شده است که آنزیم کاتالاز با بالاترین فعالیت می‌تواند به‌عنوان شاخص مهم مقاومت به تنش باشد.

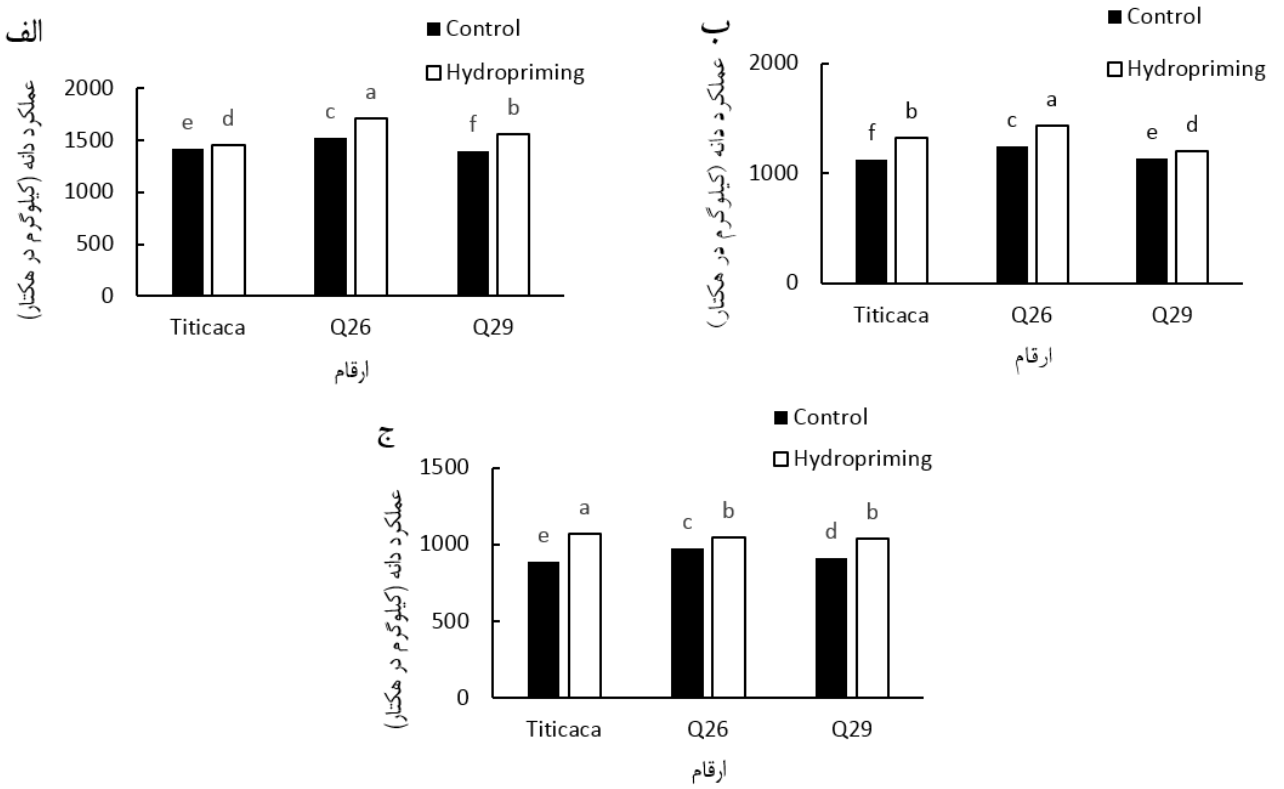
آسکوربات پراکسیداز

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی و متقابل عامل‌ها قرار گرفت (جدول ۳). نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ کینوا شد. اعمال پرایمینگ تنها در ترکیب تیماری ژنوتیپ Q26 به همراه تنش رطوبتی ۵۰٪ WR، موجب افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شد. این درحالی بود که فعالیت این آنزیم در سایر ترکیبات تیماری با اعمال پرایمینگ، کاهش نشان دادند (جدول ۵). کمترین میزان فعالیت آنزیم در هر سه سطح تنش در رقم Titicaca مشاهده شد. کم بودن فعالیت آنزیم در رقم Titicaca می‌تواند بر اثر کم بودن گونه‌های فعال اکسیژن در این تیمار باشد که در نهایت فعالیت آنزیم را کاهش داده است (جدول ۵).

در شرایط تنش خشکی، روزنه‌ها بسته است و به همین دلیل جذب دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد و به‌دنبال آن افزایش غلظت گونه‌های فعال اکسیژن اتفاق می‌افتد. پس از آن گیاه سیستم آنتی‌اکسیدانی خود از جمله سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را در جهت پالایش گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد. گزارش شده است که فعالیت آنتی‌اکسیدان راهکاری برای سازگاری کلی گیاهان برای غلبه بر تنش‌های اکسیداتیو است (۱۹).

عملکرد دانه و اجزای عملکرد

اجزای عملکرد دانه کینوا شامل وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در بوته و تعداد دانه در پانیکول است. وزن هزار دانه کینوا در این آزمایش از تمامی اثرات اصلی و متقابل به‌جز اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ تأثیر پذیرفت (جدول ۳). وزن هزار دانه با اعمال تنش خشکی در هر سه رقم کاهش نشان داد. ژنوتیپ Q26 پرایمینگ شده، در هر سه رژیم رطوبتی بالاترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد. پرایمینگ در ارقام مورد آزمایش و رژیم‌های رطوبتی به‌جز رژیم رطوبتی ۱۰۰٪ WR در ژنوتیپ Q29، موجب افزایش وزن هزار دانه شد (جدول ۵).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام و پرایمینگ در رژیم‌های رطوبتی ۱۰۰٪ WR (الف)، ۷۵٪ WR (ب) و ۵۰٪ WR (ج) بر میزان عملکرد دانه در کینوا (حروف روی میله‌ها، نمایانگر مقایسات میانگین LSD در سطح احتمال پنج درصد هستند. میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند)

تعداد پانیکول در بوته تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی و متقابل قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین و کمترین تعداد پانیکول در بوته در رژیم رطوبتی ۱۰۰٪ WR به‌ترتیب مربوط به پرایمینگ ژنوتیپ Q26 و عدم پرایمینگ Titicaca بود. در تنش‌های رطوبتی رقم Titicaca بدون پرایمینگ، کمترین تعداد پانیکول در بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۵).

تعداد دانه در پانیکول تنها تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه عامل‌ها در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). تعداد دانه در پانیکول با اعمال تنش خشکی، کاهش نشان داد. هیدروپرایمینگ در تنش رطوبتی ۷۵٪ WR و ۵۰٪ WR تأثیر نداشت (جدول ۵).

اعمال تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه در هر سه رقم مورد بررسی شد. هیدروپرایمینگ بذر در هر سه رقم مورد آزمایش و در هر سه رژیم رطوبتی موجب افزایش عملکرد دانه شد (شکل ۲ (الف)، (ب) و (ج)). نتایج نشان داد که ژنوتیپ Q26 با دریافت پرایمینگ، در رژیم رطوبتی ۱۰۰٪ WR و ۷۵٪ WR بیشترین عملکرد دانه را دارا بود (شکل ۲ (الف) و ۲ (ب)). این درحالی است که در شرایط تنش شدید، رقم Titicaca همراه با پرایمینگ، بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که معادل ۱۰۶۷/۴۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲ (ج)). با افزایش شدت تنش سرعت تولید ماده خشک درگیاه کاهش می‌یابد، بنابراین ارقامی که توان فتوسنتزی خود را در شرایط تنش در مدت زمان بیشتری حفظ کنند از عملکرد بیشتری برخوردار هستند (۲۳). نتایج تحقیقی نشان داد که آنزیم‌های متابولیسم ساکارز نقش مهمی در افزایش عملکرد بر عهده دارند، که در بذور پرایم شده افزایش میزان این آنزیم‌ها

جدول ۶. تجزیه علیت عملکرد دانه تحت تأثیر صفات شاخص سطح برگ (LAI)، مالون‌دی‌آلدهید (MDA)، پرولین، وزن هزار دانه و تعداد پانیکول در بوته (عملکرد دانه، صفت وابسته است).

اثرات کل	تعداد پانیکول در بوته	وزن هزار دانه	پرولین	MDA	LAI	
۰/۷۵۸۶	−۰/۰۲۹	۰/۲۷۳	۰/۰۵۲	−۰/۱۲۰	**۰/۱۲۴**	LAI
−۰/۸۰۰۰	۰/۰۲۳	−۰/۳۰۰	−۰/۰۹۶	**۰/۲۰۱**	−۰/۰۷۴	MDA
−۰/۷۳۷۵	۰/۰۱۸	−۰/۲۴۸	**−۰/۱۲۶**	۰/۱۵۳	−۰/۰۵۱	پرولین
۰/۹۳۲۱	۰/۰۳۶	**۰/۳۶۴**	۰/۰۸۶	−۰/۱۶۵	۰/۰۹۳	وزن هزار دانه
۰/۵۶۰۴	**−۰/۰۵۷**	۰/۲۳۱	۰/۰۴۱	−۰/۰۸۳	۰/۰۶۴	تعداد پانیکول در بوته
					۰/۹۲۵۴	R-squer

مشاهده شده است. افزایش عملکرد بذور پرایم شده نسبت به شاهد می‌تواند ناشی از سریع‌تر سبز شدن بذور پرایم شده باشد (۴).

تجزیه علیت

برای تعیین سهم اثرهای مستقیم و غیر مستقیم متغیرها بر عملکرد دانه از تجزیه علیت استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود زمانی که عملکرد دانه به‌عنوان صفت وابسته در نظر گرفته شد، صفات شاخص سطح برگ (۰/۷۵)، مالون-دی‌آلدهید (۰/۸۰-)، پرولین (۰/۷۳-)، وزن هزار دانه (۰/۹۳) و تعداد پانیکول در بوته (۰/۵۶) به‌عنوان متغیرهای اصلی وارد مدل شدند. با توجه به میزان ضریب تبیین ۹۲/۵۴ درصد از تغییرات عملکرد دانه توسط این شش صفت توجیه می‌شود. بیشترین اثر مستقیم مثبت را وزن هزار دانه (۰/۳۶۴) به خود اختصاص داد. در این بین بیشترین اثر مستقیم و منفی را صفت پرولین (۰/۱۲۶-) دارا بود. مالون‌دی‌آلدهید از طریق تأثیر منفی بر وزن هزار دانه، موجب کاهش عملکرد دانه شد. پرولین هم به‌طور مستقیم و هم به‌طور غیرمستقیم از طریق تأثیر منفی بر وزن هزار دانه عملکرد را کاهش داد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش هیدروپرایمینگ سبب افزایش شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه کینوا شد. اعمال تنش خشکی موجب افزایش میزان پرولین و مالون‌دی‌آلدهید در گیاهان و در نهایت موجب کاهش عملکرد دانه شد. در بین سه رقم مورد آزمایش، Q26 در شرایط رژیم رطوبتی ۱۰۰٪ WR و ۷۵٪ WR بهتر از دو رقم دیگر عمل کرد ولی در شرایط تنش شدید، بذور رقم Titicaca به همراه دریافت هیدروپرایمینگ، بالاترین عملکرد دانه را نشان دادند. با توجه به اثر مثبت هیدروپرایمینگ و پایین بودن وزن هزار دانه، توجه به این موضوع که مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن یکی از بحرانی‌ترین مراحل رشدی کینوا بوده و هیدروپرایمینگ می‌تواند اثر فوق‌العاده‌ای در سطح سبز مزرعه داشته باشد، لذا پیشنهاد می‌شود که هیدروپرایمینگ در سطح تولید تجاری در مزارع کشاورزان به‌کار برده شود.

منابع مورد استفاده

1. Abbasdokht, H. and M. R. Edalatpishe. 2013. The effect of priming and salinity on physiological and chemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Desert Journal* 17: 183-192.
2. Amini, S., C. Ghobadi and A. Yamchi. 2015. Proline accumulation and osmotic stress: and overview of P5CS gene in plants. *Journal of Plant Molecular Breeding* 3: 44-55.
3. Amiryousefi, M., M. Tadayon and R. Ebrahimi. 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* 13:251-270. (In farsi).
4. Arif, M., M. Tariqjan, K. R. Marwat and M. Azim khan. 2008. Seed priming improves emergence and yield of soybean. *Pakistan Journal of Botany* 40: 1169-1177.
5. Asada, K. 2000. The water-water cycle as alternative photon and electron sinks. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological* 355:1419-1431.
6. Bathes, L. S., R. P. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant and Soil*. 39: 205-207.
7. Beauchamp, C. and M. Fridovich. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and assay applicable to acrylamide gels. *Analtical Biochemistry Journal* 44: 276-287.
8. Cocozza, C., C. Pulvento, A. Lavini, M. Riccardi, R. D'Andria and R. Tognetti. 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.
9. Daur, I. 2018. Effects of hydro and hormonal priming on quinoa seed germination under salt and drought stress. *Pakistan Journal of Botany* 50: 1669-1673.
10. Elewa, T. A., T. A. Mervat, S. H. Sadak and A. M. Saad. 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research* 14: 21-33.
11. Fowler, B. D., J. Brydon and R. J. Baker. 1989. Nitrogen fertilization of no till winter wheat and rye. II: Influence of grain protein. *Agronomy Journal* 81: 72-77.
12. Ghaderifar, F. and A. Soltani. 2010. Seed Control and Certification. Publications University of Mashhad, Mashhad. (In farsi).
13. Ha, C. V., D. T. Le, R. Nishiyama, Y. Watanabe, U. T. Tran, N. V. Dong and L. S. Phan Tran. 2013. Characterization of the newly developed soybean cultivar DT 2008 in relation to the model variety W82 reveals a new genetic resource for comparative and functional defense pathway in plant. *The Plant Cell* 17: 282-294.
14. Harris, D., A. Rashid., G. Miraj., M. Arif., and H. Shah. 2007. Priming seeds with zinc sulphate solution increases yield of maize (*Zea mays L.)* on zinc-deficient soils. *Field Crops Research* 102: 119-127.
15. Hinojosa, L., A. Juan, H. Felipe, A. Barrios-Masias, A. Francisco Fuentes and M. Kevin. 2018. Quinoa abiotic stress Responses: A review. *Plants Journal* 7: 1-32.
16. Jisha, K. C., K. Vijayakumari and J. T. Puthur. 2013. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum* 35: 1381-1396.
17. Kaman, H., C. Kirda and S. Sesveren. 2011. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 98: 801-807.
18. Kar, M. and D. Mishra. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology* 57: 315-319.
19. Khazaey, M., M. Galavi, M. Dahmardeh, S. M. Moosavi Nik, G. R. Zamani, N. Mahdi Nejad and Z. Alizadeh. 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: 269-280. (In farsi).
20. Lata, C., S. Jha, N. Sreenivasulu and M. Prasad. 2011. Differential antioxidative responses to dehydration-induced oxidative stress in core set of foxtail millet cultivars. *Protoplasma*, 248: 817-828.
21. Nadeem, T. M. H., M. Imran, F. Kamil and M. Husain. 2002. Evaluation of sunflower *Helianthus annuus* L. inbred lines for drought tolerance. *International Journal of Agriculture and Biology* 25: 398-400.
22. Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiol*ogy 22: 867-880.
23. Ribaut, J. M., J. Betran, P. Monneveux and T. Setter. 2012. Drought tolerance in maize. pp11-34, In: J. L. Bennetzen and S. C. Hake (eds.), Handbook of Maize: Its Biology. Springer, New York.
24. Sadak, M. S. H., H. M. Safwat El-Bassiouny and M. Gergis Dawood. 2019. Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit. *Bulletin of the National Research Centre* 43: 2-11.
25. Wang, Q., T. Ding, J. Zuo, L. Gao and L. Fan. 2016. Amelioration of postharvest chilling injury in sweet pepper by glycine betaine. *Postharvest Biology and Technology* 112: 114-120.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 2, Summer 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Physiological Responses of Quinoa Varieties (*Chenopodium quinoa* Willd) to Hydropriming and Drought Stress

F. Nadali[1], H. R. Asghari[2*], H. Abbasdokht[2], V. Dorostkar[3] and M. Bagheri[4]

(Received: November 22-2021; Accepted: January 12-2022)

Abstract

This research was carried out in a factorial split plot experiment based on a randomized complete block design with four replications in Semnan Agriculture Research Center, Bastam, central Iran, in 2019. Experimental treatments included irrigation as the main factor at three levels of 100, 75 and 50% of water requirement and sub-factors including cultivar at three levels (Titicaca, Q26 and Q29) and priming at two levels (no priming and hydropriming) as sub-factors. The percentage of water requirement of the plant was calculated using the CROPWAT program and applied from the 6-leaf stage of the plant. The results showed that drought stress reduced leaf area index, 1000-seed weight and grain yield in all three cultivars. Percentage of protein, malondialdehyde, proline, activity of antioxidant enzymes including catalase and ascorbate peroxidase increased in plants under drought stress. Hydropriming increased leaf area index and grain yield. Among the three cultivars tested, hydroprimed plants of Q26 genotype had the highest leaf area index, 1000-seed weight and grain yield compared to the other cultivars. Cultivar Q26 had the highest grain yield when supplied with 75 and 100% of water requirement and Titicaca cultivar had the highest grain yield (1067 kg/ha) in the presence of severe drought stress (i.e. 50% water requirement). In conclusion, Titicaca cultivar was more resistant to drought than other cultivars and cultivation of this cultivar is recommended in Bastam region. In the scope of the research, the application of hydropriming can be suggested to improve the physiological traits of quinoa under drought stress.

Keywords: Variety, Priming, Seed protein, Water requirement.

1. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shahrood, Semnan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Semnan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Semnan, Iran.
4. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

*: Corresponding Author, Email: hamidasghari@shahroodut.ac.ir