علوم و تحقیقات بذر ایران
سال یازدهم/ شماره سوم/ ۱۴۰۳ (۳۵ - ۲۱)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2024.8790

اثر پرایمینگ با جیبرلین بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاهچه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) تحت تنش شوری

هانیه سعادت*[۱]، محمد صدقی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ با جیبرلین بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاهچه کینوا تحت تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملا تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۳ در آزمایشگاه دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری (۰، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌مولار) و چهار سطح جیبرلین (۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد که شوری، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه را کاهش داد، ولی پرایمینگ بذر با هیدرو، سطوح مختلف جیبرلین به‌ویژه غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر این صفات را بهبود بخشید. سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی به ترتیب در حدود ۱۵ و ۶۵ درصد نسبت به شاهد شوری بیشتر بود و در پرایمینگ با جیبرلین ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد حدود ۸ و ۴۲ درصد کاهش نشان دادند. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در شاهد و شوری ۴۵۰ میلی‌مولار نسبت به جیبرلین با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بدون شوری به ترتیب در حدود ۸۶ و ۹۲ درصد افزایش نشان دادند. فعالیت آنزیم پراکسیداز و سوپراکسیددیسمیوتاز در کاربرد با جیبرلین به ترتیب حدود ۲۵ و ۳۴ درصد نسبت به شاهد کمتر بود. همچنین، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در تیمار با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین و سطح بدون شوری نسبت به شاهد و شوری ۴۵۰ میلی‌مولار حدود ۸۹ درصد افزایش نشان داد. نتیجه‌گیری می‌شود که تیمار بذر با سطوح مختلف جیبرلین می‌تواند اثرات مضر تنش شوری بر برخی صفات در گیاهچه کینوا را کاهش داده و رشد گیاهچه را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، آلفاآمیلاز، پراکسیداز، شاخص‌های جوانه‌زنی، کاتالاز

۱- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. t.saadat2020@gmail.com
۲- استاد، گروه مدیریت تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. m_sedghi@uma.ac.ir
*نویسنده مسئول: t.saadat 2020@gmail.com

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) یک گیاه غلات مانند با پتانسیل رشد بالا در ایران است. امروزه کینوا به عنوان یک محصول جایگزین غلات توجه بسیاری از کشورهای جهان را به خود جلب کرده است (Pulvento and Bazile, 2023). این گیاه بیشتر برای محصول دانه‌ای کشت می‌شود ولی از برگ‌های جوان آن نیز جهت سبزی تازه و یا پخته استفاده می‌شود (Shi and GU, 2020). گزارش شده است که دانه کینوا حاوی مقدار متعادل و قابل توجهی از ۹ اسید آمینه ضروری مورد نیاز برای تامین نیاز روزانه پروتئین انسان است (Pereira *et al*., 2019). محتوای بالای پروتئین با کیفیت در کینوا، آن را به یک غذای کامل با ارزش تغذیه‌ای استثنایی نسبت به گندم، جو و سویا تبدیل کرده است (Angeli *et al*., 2024).

در این راستا گیاه کینوا به شوری بسیار حساس است. تنش شوری یک عامل محیطی مهم است که رشد و نمو گیاهان را با چالش‌هایی مواجه می‌کند (Ali *et al*., 2023). هنگامی که گیاهان در معرض سطوح بالای شوری در خاک اطراف خود یا آب آبیاری قرار می‌گیرند، فرآیندهای فیزیولوژیکی طبیعی آن‌ها را مختل می‌کند و منجر به اثرات مخرب مختلفی می‌شود (Khan *et al*., 2021). یکی از تاثیرات اولیه تنش شوری روی گیاهان جلوگیری از رشد آن‌ها است (Omara *et al*., 2022). غلظت بالای شوری مانع جذب آب توسط ریشه‌چه شده و منجر به کمبود آب در بافت‌های گیاه می‌شود (Ait-El-Mokhta *et al*., 2020). طبق تحقیقات جمالی و شریفیان (Jamali and Sharifan, 2018) گیاه کینوا در مرحله جوانه‌زنی به سطوح بالای شوری (حدود ۸ دسی‌زیمنس بر متر) تحمل دارد و احتمالا بتوان با اعمال مدیریت مطلوب در مزرعه، استقرار این گیاه را در شرایط وجود آب و خاک شور تضمین کرد. در شرایط شور درصد عناصر ریز مغذی آهن، کلسیم، روی و پروتئین دانه در گیاه کینوا افزایش و عملکرد دانه کاهش می‌یابد. البته، میزان افزایش عناصر ریز مغذی و کاهش میزان عملکرد با افزایش شوری آب آبیاری تحت تاثیر ژنوتیپ‌ها می‌باشد (Salehi and Dehghani, 2023). همچنین، نتایج تحقیقی نشان داد که با افزایش شوری عملکرد و رشد کینوا کاهش می‌یابد (Maleki *et al*., 2018). تحقیقات نشان داده است که شوری سرعت جوانه‌زنی، ضریب آلومتری، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه را کاهش و میانگین مدت جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از جمله کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز، آسکوربات پراکسیداز را در گیاهان مختلف افزایش می‌دهد (Saadat *et al*., 2023a; Saadat *et al*., 2023b; Saadat *et al*., 2023c; Jahantighi and Roshandel, 2023; Mamedi *et al*., 2021; Gholami *et al*., 2022b; Salehi *et al*., 2017; Karmi *et al*., 2019).

تحقیقات متعددی نیز نشان داده است که پرایمینگ بذر کینوا با عناصر غذایی تحت تنش باعث کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی شده است (Pakbaz *et al*., 2018). پرایمینگ با بهبود سوپراکسیددیسمیوتاز و پراکسیداز، تجمع گلیسین بتائین، پروتئین، محتوای پرولین و کاهش در محتوای مالون دی‌آلدئید تحت تنش موجب افزایش عملکرد کینوا می‌شود (Iqbal and Yaning, 2024).

پرایمینگ بذر را می‌توان به عنوان یک روش مقرون به صرفه و ساده تعریف کرد که سطوح هیدراتاسیون بذرها را کنترل می‌کند و فعالیت‌های متابولیکی را برای تسهیل جوانه‌زنی و جلوگیری از آسیب جذب ایجاد می‌کند (Salah *et al*., 2015). اثرات مثبت تیمارهای پرایمینگ بر روی جوانه‌زنی عمدتاً به فرآیندهای متابولیکی فعال شده از جمله ترمیم DNA و مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانتی، سنتز اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و تولید آدنوزین تری فسفات مربوط می‌شود (Paparella *et al*., 2015). پرایمینگ بذر همچنین سنتز آمینو اسیدهای مرتبط با بیوسنتز جیبرلین را در بذرهای جوانه زده ترویج می‌کند. این منجر به افزایش بیوسنتز قندهای محلول به عنوان منبع انرژی اولیه و آلفاآمیلاز به عنوان کاتالیزور در هیدرولیز نشاسته برای گلیکولیز می‌شود. قندها و نشاسته با تولید انرژی در طول جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه‌ها مرتبط هستند (He *et al*., 2019). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که پرایمینگ بذر توسط هورمون‌ها می‌تواند جوانه‌زنی بذر، سبز شدن گیاهچه و استقرار گیاهچه را تحت تنش شوری بهبود بخشد (Saadat *et al*., 2024). در واقع جیبرلین نقش کلیدی در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مربوط به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانت ایفا می‌کند (Lien *et al*., 2016) و با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، آسیب اکسیداتیو را کاهش می‌دهد. تحقیقات نشان داده است که استفاده از پرایمینگ محتوای پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی از جمله سوپراکسیددیسمیوتاز، کاتالاز،

پراکسیداز، و آسکوربات پراکسیداز را در گیاه کینوا به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد و اثرات نامطلوب تنش را تعدیل کرد (Gholami *et al*., 2022a; Yasmeen and Imran, 2024).

هدف از انجام این تحقیق، بررسی شاخص‌های جوانه زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاهچه کینوا در واکنش به تنش شوری و نقش پرایمینگ بذر با آب مقطر (هیدروپرایمینگ) و سطوح مختلف جیبرلین (هورمون پرایمینگ) در رفتار جوانه‌زنی بذر کینوا بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ با جیبرلین برخصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه کینوا در شرایط تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ با ۳ تکرار و چهار سطح شوری (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌مولار) (Karmi *et al*., 2019) و چهار سطح جیبرلین (شاهد؛ آب مقطر، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) (Nazih *et al*., 2024) انجام شد. ماده گیاهی، بذرهای گواهی شده کینوا رقم تیتیکاکا تولیدی سال ۱۴۰۲ از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. در ابتدا بذرهای کینوا با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت۳۰ ثانیه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. جهت اعمال پرایمینگ بذرها درون محلول‌های جیبرلین با غلظت‌های مختلف و آب مقطر به‌مدت ۳ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند (Karmi *et al*., 2019). بعد از پرایمینگ، بذرها به‌وسیله آب مقطر شستشو و در دمای آزمایشگاه خشک گردیدند. سپس، ۲۵ عدد بذر در داخل پتری‌های ۹ سانتی‌متری جهت کشت قرار گرفت و به هر پتری به مقدار ۵ میلی‌لیتر محلول شوری (کلرید سدیم برند مرک) با سطوح مختلف اضافه گردید. سپس، پتری‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۷ روز قرار داده شد. معیار جوانه‌زنی یک بذر، خروج ریشه‌چه به میزان دو میلی‌متر از پوسته بذر در نظر گرفته شد (Causin *et al*., 2020). برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه از خط‌کش با واحد سانتی‌متر استفاده شد. برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۱ (Ellis and Roberts, 1980)، سرعت جوانه‌زنی روزانه از رابطه ۲ (Maguire, 1962) و میانگین مدت جوانه‌زنی از رابطه ۳ (Omidi *et al*., 2014) استفاده شد.

$$GR = \sum_{I=1}^{N} Si\ /Di \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

GR: سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز) Si: تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز Di: تعداد روز تا شمارش nام

$$DGS = 1/MDG \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

MDG: میانگین جوانه زنی روزانه

$$MGT = \Sigma\ (Ni)\ /\Sigma N) \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

N: تعداد دفعات شمارش، Ni: تعداد بذر جوانه زده در روز

جهت تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کینوا، گیاهچه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در داخل پتری دیش درون ژرمیناتور به مدت ۹ روز رشد داده شدند. پس از باز شدن برگ‌های اولیه از هر تیمار ۵ گیاهچه به طور تصادفی انتخاب و بعد از قرار دادن در فویل آلومینیومی، به فریزر با دمای ۷۲- درجه سانتی‌گراد منتقل گردیدند. به‌منظور استخراج عصاره آنزیمی، ۰/۵ گرم نمونه از هر تیمار توزین و در داخل هاون چینی (که از قبل در یخچال نگه داری شده بود) با استفاده از نیتروژن مایع هموژن گردید و بعد از آن ۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات سرد (pH=۷/۵) حاوی ۰/۵ میلی‌مولار EDTA به هاون افزوده شد. سپس، هموژن‌ها به اپندورف‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل شده و به مدت ۱۵ دقیقه با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. تمامی مراحل در روند تهیه عصاره آنزیمی در دمای ۴-۱ درجه سلسیوس انجام گرفت. جهت پیشگیری از انجماد و ذوب متوالی نمونه‌ها سوپرناتانت حاصل به سه قسمت تقسیم شد و تا زمان اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند (Sairam *et al*., 2002).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش (Aebi, 1984) اندازه‌گیری گردید. مواد شیمیایی مورد نیاز شامل ۰/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۷/۵ میلی‌مولار، ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷) و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود که حجم نمونه‌ها با افزودن آب مقطر به ۳ میلی‌لیتر رسانده شد. با افزودن پراکسید هیدروژن واکنش شروع گردید و تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت شد. محلول جذب زمینه برای دستگاه شامل

تمام موارد استفاده شده به جز عصاره آنزیمی استخراج شده بود. میزان پراکسید هیدروژن تجزیه شده با استفاده از ضریب خاموشی (ε= 39/4 $\mu M^{-1}cm^{-1}$) محاسبه و فعالیت آنزیم کاتالاز براساس میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز طبق روش Hemeda و Klein (1990) انجام شد. مخلوط واکنش شامل ۲۵۰ میکرولیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۲۵۰ میکرولیتر گایاکول ۱۰ میلی‌مولار محلول در آب دوبار تقطیر شده، ۳۴ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۷۰ میلی‌مولار محلول در فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۴۶۷ میکرولیتر آب دو بار تقطیر استریل شده و ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در نتیجه فعالیت آنزیم پراکسیداز بر حسب واحد میلی‌گرم بر پروتئین در دقیقه گزارش شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: فعالیت این آنزیم براساس روش Giannopolitis و Ries (1977) مورد سنجش قرار گرفت. مخلوط واکنش شامل بافر ۰/۱ مول در لیتر فسفات (pH=۷/۸) به میزان ۳ میلی‌لیتر که حاوی ۱/۳ میکرومول در لیتر ریبوفلاوین، متیونین به میزان ۱۳ میلی‌مول در لیتر، نیتروبلوتترازولیوم به میزان ۶۳ میکرومولار و عصاره آنزیمی به میزان ۰/۱ میلی‌لیتر بود. نمونه بلانک در تاریکی به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت و نمونه‌های شاهد و عصاره آنزیمی در محفظه نوری با دو لامپ فلورسنت ۲۰W به مدت ۱۵ دقیقه و ۱۰۰ دور در دقیقه برروی شیکر گذاشته شد. سپس، جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد.

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز : سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز براساس روش Nakano و Asada (1981) انجام گردید. برای اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم ۲۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات با اسیدیته ۷، ۰/۱ میلی مولار EDTA، ۵ میلی‌مولار آسکوربات، ۰/۳ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن در حمام یخ بایکدیگر مخلوط شدند. سپس، بلافاصله ۰/۵ میکرولیتر از عصاره آنزیمی به آن افزوده شد. کاهش در جذب به‌دلیل اکسیداسیون آسکوربات در طول موج ۲۹۰ نانومتر و ۲۰ ثانیه بعد از اضافه کردن پراکسید هیدروژن به‌وسیله اسپکتروفتومتر ثبت گردید. مقدار این آنزیم برحسب تغییرات واحد جذب در ثانیه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

سنجش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز: چهار روز پس از جوانه زنی و مطابق روش Duman و همکاران (2006) نمونه گیری برای تعیین فعالیت آمیلاز انجام شد. بذرها در بافر فسفات ۶۰ میلی‌مولار (pH=۶/۸) هموژنیزه شدند و سپس با سانتریفوژ ۱۲۰۰۰g و به مدت ۱۵ دقیقه فیلتر شدند. فعالیت آنزیم در محیط واکنش که حاوی ۶۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH=۶/۸)، ۴۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر کلسیم کلراید و ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر نشاسته بود، مشخص شد. عصاره آنزیم (یک میلی‌لیتر) پس از ۲۰ دقیقه انکوباسیون در حمام آب گرم به محیط آزمایش اضافه شد. فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز با استفاده از نشاسته و با طول موج ۶۲۰ نانومتر به‌صورت میکروگرم نشاسته و گرم بر دقیقه مواد تازه مشخص شد.

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. برای ترسیم اشکال نیز از نرم افزار Excel 2018 استفاده شد.

نتایج و بحث

سرعت جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی روزانه، میانگین مدت جوانه‌زنی: در این تحقیق، اثر اصلی جیبرلین و شوری بر سرعت جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی معنی‌دار ($P<0.01$) و اثر متقابل آن‌ها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی (۲/۲۵۸ بذر در روز) در پرایمینگ با جیبرلین ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کم‌ترین مقدار آن (۱/۳۳۹ بذر در روز) در شاهد مشاهده شد. البته تأثیر غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین بر سرعت جوانه‌زنی نیز موثر بود (جدول ۲). همانطور که در جدول ۲ مشاهده شد، سطوح مختلف جیبرلین روی سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی تاثیر گذاشت. به‌طوریکه با افزایش غلظت سطوح جیبرلین سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی کاهش یافتند و کمترین مقدار سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۰۸۳۴) و میانگین مدت جوانه‌زنی (۰/۵۳۲ روز) مربوط به غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین بود. با افزایش

شوری سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی به ترتیب ۶۵ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد (بدون شوری) افزایش یافتند (جدول ۲).

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و طول گیاهچه: در این تحقیق، اثر اصلی جیبرلین و شوری بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و طول گیاهچه معنی‌دار ($P<0.01$) و اثر متقابل آن‌ها تنها روی طول ساقه‌چه معنی‌دار بود ($P<0.01$) (جدول ۱). طبق نتایج مقایسات میانگین بیشترین طول ریشه‌چه (۶/۸۲۸ سانتی‌متر) و طول گیاهچه (۱۱/۶۳۰ سانتی‌متر) مربوط به غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین بود. البته غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین نیز روی آن‌ها تاثیر داشت و کمترین مقدار این صفات به ترتیب ۲/۷۴۱ و ۴/۲۵۸ سانتی‌متر در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) مشاهده شد (جدول ۲). شوری طول ریشه‌چه و طول گیاهچه را کاهش داد، به‌طوری که، کمترین طول ریشه‌چه و طول گیاهچه به ترتیب ۲/۹۵۸ و ۴/۸۷۷ سانتی‌متر در شوری ۴۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۲). همچنین، نتایج نشان داد که بیش‌ترین طول ساقه‌چه (۷/۸۷۷ سانتی‌متر) مربوط به تیمار با جیبرلین با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر و بدون شوری و کم‌ترین مقدار طول ساقه‌چه (۱/۰۹۰ سانتی‌متر) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) و شوری ۴۵۰ میلی‌مولار بود (شکل ۱).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسمیوتاز و آسکوربات پراکسیداز: در این تحقیق، اثر اصلی جیبرلین و شوری روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت معنی‌دار ($P<0.01$) و اثر متقابل جیبرلین و

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر اصلی و متقابل جیبرلین و شوری روی شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاهچه کینوا

Tabel 1. Analysis of variance for main and interaction effect of gibberellin and salinity on germination indices in quinoa seedling

		Mean of square میانگین مربعات					
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily germination rate	میانگین مدت جوانه‌زنی Mean germination time	طول ساقه‌چه Plumule length	طول ریشه‌چه Radicle length	طول گیاهچه Seedling length
جیبرلین (GA)	3	2.4965**	0.00013131**	0.398246**	31.621**	38.352**	137.535**
شوری (S)	3	6.0404**	0.00037043**	1.548918**	24.198**	37.427**	121.786**
اثر متقابل GA*S	9	0.1023 ns	0.00001117 ns	1.510554 ns	2.133**	0.719 ns	4.3597 ns
خطا Error (E)	32	0.0568	0.00001034	0.030783	0.571	0.942	2.1939
ضریب تغییرات CV(%)		12.756	4.031	28.173	21.003	19.406	17.228

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

ns and ** indicating not significant, the significant differences at 1 percent probability levels.

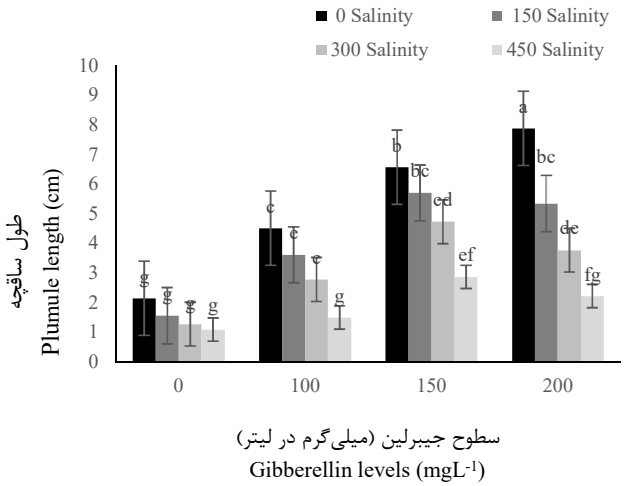
جدول ۲ - مقایسه میانگین تأثیر جیبرلین و شوری روی شاخص‌های جوانه‌زنی گیاهچه کینوا

Tabel 2. Mean Comparison for the effect of gibberellin and salinity on germina tion indices in quinoa seedling

جیبرلین(میلی‌گرم در لیتر) Gibberellin (mgL^{-1})	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (seed/day)	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily germination rate	میانگین مدت جوانه‌زنی Mean germination time (day)	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	طول گیاهچه Seedling length (cm)
0	1.339 c	0.0834 a	0.914 a	2.741 d	4.258 c
100	1.636 b	0.0816 a	0.715 b	4.493 c	7.593 b
150	2.242 a	0.0776 b	0.531 c	5.942 b	10.910 a
200	2.258 a	0.0765 b	0.532 c	6.828 a	11.630 a
شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)					
0	2.524 a	0.0741 d	0.413 c	7.134 a	12.409 a
150	2.287 b	0.0769 c	0.459 c	5.515 b	9.569 b
300	1.7392 c	0.0814b	0.634 b	4.396 c	7.535 c
450	0.9258 d	0.0868 a	1.186 a	2.958 d	4.877 d

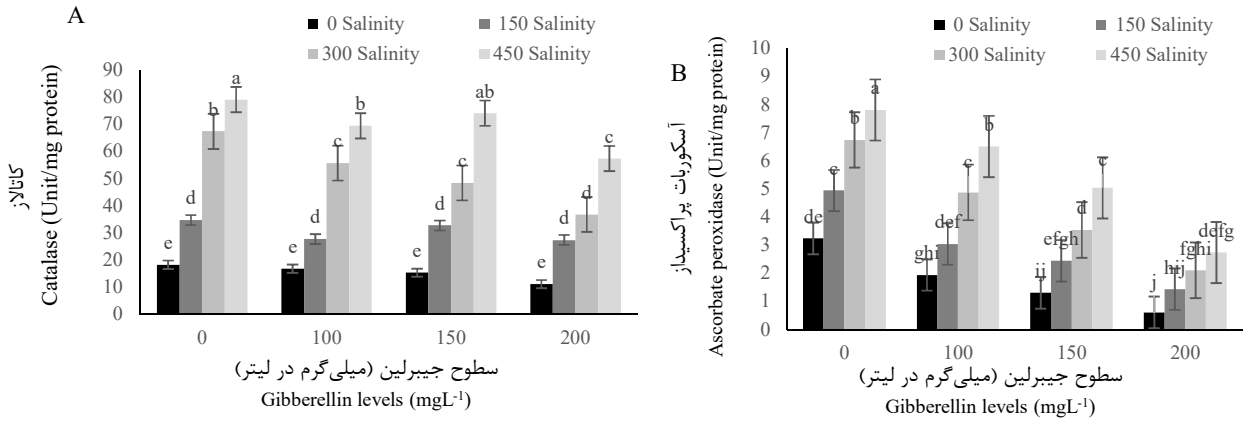
حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

The different letters in each column indicate a significant difference at 1% probability level.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل جیبرلین و شوری روی طول ساقه‌چه در کینوا. حروف متفاوت روی هیستوگرام‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Figure1. Mean comparison for the interaction effect of gibberellin and salinity on plumule length in quinoa. The different letters in histograms indicate significant differences at 1% probability level.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل جیبرلین و شوری روی فعالیت کاتالاز (A) و آسکوربات پراکسیداز (B) در کینوا. حروف متفاوت روی هیستوگرام‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Figure 2. Mean comparison for the interaction effect of gibberellin and salinity on catalase (A) and ascorbate peroxidase (B) in quinoa.
The different letters in histograms indicate significant differences at 1% probability level

شوری تنها روی آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار بود ($P<0.05$) (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسیددیسمیوتاز (به ترتیب، ۹۲/۸۳۳ و ۱۲/۴۶۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) و کم‌ترین مقدار این صفات به ترتیب، ۶۱/۵۰۰ و ۹/۶۳۱۷ واحد میلی‌گرم بر پروتئین در پرایمینگ با جیبرلین با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام به‌دست آمد (جدول ۳). البته کاربرد جیبرلین با غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را کاهش داد. اما تأثیر جیبرلین با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشتر بود (جدول ۴). افزایش شوری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

را افزایش داد، به طوری که، بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز به ترتیب، ۹۷/۶۶۷ و ۱۴/۴۰۸ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در شوری ۴۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۴). طبق شکل (b و a۲) بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۷۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) و آسکوربات پراکسیداز (۷/۸۰۰ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) و شوری ۴۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین مقدار این صفات به ترتیب، ۱۱/۰۶۷ و ۰/۶۰۰ واحد میلی‌گرم بر پروتئین در پرایمینگ با جیبرلین با غلظت۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح بدون شوری به‌دست آمد. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از جمله کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسمیوتاز و آسکوربات پراکسیداز از اجزای اصلی آنزیمی برای کاهش تنش اکسیداتیو هستند.

فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز: در این تحقیق، اثر اصلی جیبرلین و شوری روی فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز معنی‌دار ($P<0.01$) و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار ($P<0.05$) بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز (۰/۳۳۰ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به تیمار با جیبرلین با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بدون شوری و کم‌ترین مقدار آنزیم آلفا آمیلاز (۰/۰۳۶۷ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) و شوری ۴۵۰ میلی‌مولار بود (شکل ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر اصلی و متقابل جیبرلین و شوری روی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاهچه کینوا

Tabel 3. Analysis of variance for main and interaction effect of gibberellin and salinity on antioxidant enzymes in quinoa seedling

		میانگین مربعات Mean of square				
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	سوپراکسید دیسمیوتاز Superoxide dismutase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	آلفا آمیلاز Alpha amylase
جیبرلین (GA)	3	561.418**	2124.57**	21.688**	33.425**	0.057350**
شوری (S)	3	6888.466**	3806.021**	107.724**	31.770**	0.033050**
اثر متقابل GA*S	9	87.277*	28.47^{ns}	1.159^{ns}	0.891*	0.001193*
خطا Error(E)	32	29.273	28.79	1.698	0.348	0.000479
ضریب تغییرات CV(%)		12.897	6.778	12.344	16.216	13.402

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

.ns and ** indicating not significant, the significant differences at 5 and 1 percent probability levels

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر جیبرلین و شوری روی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاهچه کینوا

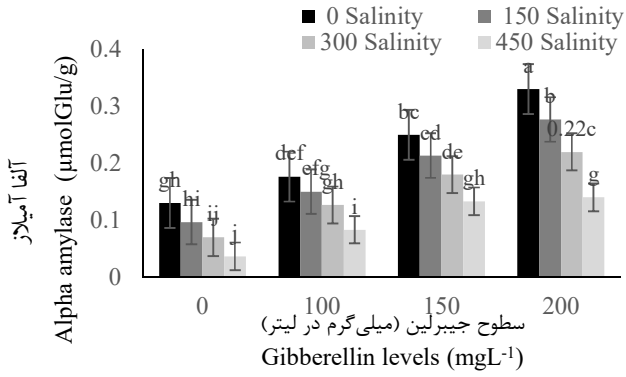
Tabel 4. Mean Comparison for the effect of gibberellin and salinity on antioxidant enzymes in quinoa seedling

جیبرلین (میلی‌گرم در لیتر) Gibberellin (mgL^{-1})	پراکسیداز Peroxidase (Unit/mg protein)	سوپراکسیددیسمیوتاز Superoxide dismutase (Unit/mg protein)	شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	پراکسیداز Peroxidase (Unit/mg protein)	سوپراکسید دیسمیوتاز Superoxide dismutase (Unit/mg protein)
0	92.833 a	12.467 a	0	57.167 d	7.500 d
100	84.667 b	10.260 b	150	73.250 c	9.053 c
150	77.750 c	10.175 b	300	88.667 b	11.258 b
200	61.500 d	9.316 b	450	97.667 a	14.408 a

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

The different letters in each column indicate a significant difference at 1% probability level.

تحت تنش شوری، گیاهان رشد و نمو خود را با اتلاف انرژی جهت مقابله با تنش شوری و تجمع و سمیت یونی در بخش‌هایی از قبیل کلروپلاست و میتوکندری کاهش می‌دهند (Hameed *et al*., 2021). شوری با تاثیر بر کیفیت جوانه‌زنی، رشد و استقرار گیاهچه را محدود می‌سازد (Ebrahimi *et al*., 2023). بذرها در حالت خشک، فعالیت متابولیکی کمتری دارند که باعث می‌شود فعالیت‌های سازوکارهای دفاعی در سطح سلولی غیرفعال باقی بماند، اما پرایمینگ در مراحل اولیه جوانه‌زنی، روی تحمل به شوری گیاهچه تاثیر مثبت دارد (Ozden *et al*., 2017). پرایمینگ بذر چون قبل از قرار گرفتن بذرها در معرض تنش انجام می‌شود، می‌تواند کارایی مکانیسم ترمیم DNA



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل جیبرلین و شوری روی فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در کینوا. حروف متفاوت روی هیستوگرام‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Fig. 3. Mean comparison for the interaction effect of gibberellin and salinity on alpha amylase in quinoa. The different letters in histograms indicate significant differences at 1% probability level

را همراه با فعال شدن پروتئین‌های سیگنالینگ خاص و فاکتورهای رونویسی برای تحمل سریع و کارآمد تنش بهبود بخشد (Louis *et al*., 2023). چنین تحمل تنشی ممکن است برای مراحل بعدی رشد یا حتی نسل های بعدی حفظ شود. بنابراین، بهبود رشد گیاه کینوا تحت تنش شوری مشاهده شده در مطالعه حاضر ممکن است به این دلیل باشد که بذرهای رشد یافته از بذرهای پرایم شده توانایی ذخیره‌سازی حافظه‌ای را به دست می‌آورند که شرایط پس از تنش را به یاد می‌آورد و گیاه را نسبت به شوری مقاوم‌تر می‌کند. همراه با جذب آب بذرها، ترکیبات ذخیره‌سازی داخلی، از جمله نشاسته و پروتئین، توسط هیدرولازهای مختلف تجزیه می‌شوند که منجر به تشکیل قندها می‌شود و در نتیجه جوانه‌زنی بذر را تسهیل می‌کند (Sano *et al*., 2022). تحقیقات قبلی نشان داده است که جیبرلین از حالت محدود به حالت آزاد تبدیل می‌شود و نقش حیاتی در تحریک جوانه‌زنی بذر ایفا می‌کند (Li *et al*., 2019). مطالعه حاضر نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی، طول ساقچه، ریشه‌چه و گیاهچه و افزایش سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی در گیاه کینوا می‌شود و این نتایج با مطالعات قبلی مطابقت دارد (Mamedi *et al*., 2021; Karmi *et al*., 2019). با کاربرد جیبرلین در سطوح مختلف به‌ویژه غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر تاثیر مثبت آن بر روی سرعت جوانه‌زنی، طول ساقچه، ریشه‌چه و رشد طولی گیاهچه مشاهده شد و بذرهای پرایم شده با جیبرلین رشد مطلوب‌تری داشتند. کاربرد پرایمینگ با جیبرلین در بهبود جوانه‌زنی محصولاتی نظیر لوبیا و نخود نیز گزارش شده است (Saadat. and Sedghi, 2024; Saadat *et al*., 2020). کاهش سرعت جوانه‌زنی همراه با افزایش سطوح مختلف کلریدسدیم در این پژوهش می‌تواند ناشی از تنش خشکی فیزیولوژیکی باشد. در واقع، شوری با کاهش جذب آب توسط گیاه، علائم خشکی را در گیاهان ایجاد می‌کند (Marković *et al*., 2022). تنش، متابولیسم را به دلیل فعالیت کم آمیلاز مختل می‌کند و در نتیجه باعث مهار قابل توجهی از جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌گردد (Farooq *et al*., 2020). در این تحقیق هم ممکن است کاهش فعالیت آنزیم آمیلاز گیاه کینوا تحت تنش شوری یکی از دلایل کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی باشد. افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا طی پرایمینگ با جیبرلین می‌تواند به علت افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های هیدرولیزکننده در بذر باشد که موجب تسریع فعالیت‌های متابولیکی قبل از جوانه‌زنی می‌شود (Maharramov *et al*., 2019). همچنین، افزایش سرعت جوانه‌زنی در بذور پرایم شده با جیبرلین می‌تواند ناشی از افزایش سرعت جذب آب، ترمیم آسیب سلولی به بذرها طی پرایمینگ و فعال شدن آنزیم‌های بذر و تضعیف پوسته بذری مربوط باشد. (Johnson and Puthur, 2021; Mondal and Bose, 2021). نتایج تحقیق‌ها نشان می‌دهد که کاربرد ترکیبی جیبرلین با سطوح مختلف شوری ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر کینوا را بهبود می‌بخشد (Bejaoui *et al*., 1985). براساس گزارش کرمی و

همکاران (Karmi *et al*., 2019) سرعت جوانه‌زنی در بذرهای پرایم شده کینوا با تنظیم کننده هورمونی تحت تنش شوری افزایش می‌یابد. شوری با نفوذ یون‌های خارجی و نشت محلول‌های سیتوسولی و مواد الکترولیت از سلول‌های گیاهی بر کارایی دیواره و غشای سلولی و پایداری غشای پلاسمایی اثر نامطلوب گذاشته و منجر به کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی در بذرها می‌گردد (Eisvand and Madah Arefi, 2007). یکی دیگر از علل کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی تحت تنش شوری، بروز اختلالات رشدی و کوچک شدن غیرطبیعی سطح در فرآیند جوانه‌زنی است (Ghanbari *et al*., 2019). بهبود میانگین مدت جوانه‌زنی در بذرهای پرایم شده با جیبرلین می‌تواند ناشی از برهمکنش بین رادیکال‌های آزاد و ساخت آنزیم‌های متصل به غشا باشد (Srinivasan *et al*., 1991). همچنین، پاکباز و همکاران (Pakbaz *et al*., 2018) در بررسی تاثیر پرایمینگ بذر با عناصر تغذیه‌ای و خشکی بر ویژگی‌های رشدی گیاهچه‌های کینوا نشان دادند که پرایمینگ کینوا تحت تنش باعث کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی می‌شود. کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه تحت سطوح مختلف تنش شوری می‌تواند ناشی از کاهش انتقال مواد غذایی از لپه به جنین، کاهش ساخت مواد دیوارهای سلولی، کاهش جذب آب به‌وسیله بذر، کاهش ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌های مثل آلفا آمیلاز، لیپاز و اینورتاز باشد (Zulfiqar *et al.,* 2021) و همچنین، به علت سمیت یون‌ها و اثرات نامطلوب آن‌ها بر غشای سلولی، فرآیندهای متابولیکی و مسیرهای سیگنال‌دهی باشد (Meftahizade and Rahmati, 2021). پرایمینگ بذر در طویل شدن سلول‌های ریشه‌چه نقش مهمی دارد (Waterworth *et al*., 2019). افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در اثر پرایمینگ با جیبرلین می‌تواند ناشی از افزایش میزان پویایی ذخایر بذر، افزایش آنزیم‌های تجزیه‌کننده و بهبود فرآیندهای تقسیم سلولی، تحریک هورمون‌های رشد، جذب مواد مغذی و سنتز پروتئین‌ها باشد (Kafi *et al*., 2010). جیبرلین از طریق افزایش کشش دیواره سلولی، هیدرولیز نشاسته به قند و با کاهش آب سلول موجب ورود آب به درون سلول شده و باعث طویل شدن سلول می‌گردد که نتیجه‌اش افزایش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و در نهایت طول گیاهچه است (Fathi and Esmailpour, 2010). کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در اثر شوری در سایر گیاهان نیز مشاهده شده که از آن جمله می‌توان به گیاه لوبیا اشاره کرد (Saadat *et al*., 2023c). طبق تحقیقات قبلی طول گیاهچه در بذرهای پرایم شده کینوا با اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری افزایش می یابد (Karmi *et al*., 2019). کاهش تنش شوری توسط جیبرلین را می‌توان به فعال شدن آنزیم‌های فعال در RNA و سنتز پروتئین نسبت داد. علاوه بر این، جیبرلین به طور بالقوه پاسخ‌های تنش را با ترویج انتقال ساکارز از لپه‌ها به شاخه‌ها و با سیگنال دادن به افزایش فعالیت اینورتاز در شاخه‌ها تعدیل می‌کند (Kaur *et al*., 2000). پرایمینگ بذر تولید نوین مواد محرک جوانه‌زنی، بازسازی غشا، فعالیت آنزیم های هیدرولیتیک و کاهش نشت متابولیت‌ها را افزایش می‌دهد (Zeid *et al*., 2019). مطالعات نشان داده‌اند که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت می‌تواند محافظت بهتری در برابر تنش شوری و کاهش آسیب اکسیداتیو ایجاد کند (Thabet and Alqudah, 2023). به عنوان مثال، آنزیم های پراکسیداز و سوپراکسیددیسمیوتاز، سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانتی هستند که از غشای پلاسما در برابر پراکسیداسیون ناشی از بیش از حد رادیکال‌های آزاد اکسیژن محافظت می‌کنند (Xiao *et al*., 2019). آنزیم کاتالاز نیز نقش مهمی در از بین بردن رادیکال‌های آزاد به‌ویژه پراکسید هیدروزن در شرایط تنش دارد (Sehnal *et al*., 2019). در این تحقیق، نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت اندازه گیری شده در تیمارهای مختلف اعمال شده، از یک الگوی مشابه پیروی می‌کند. به‌طوری که تحت تنش شوری ۴۵۰ میلی‌مولار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسمیوتاز و آسکوربات پراکسیداز نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در این راستا، در گیاهان بدون تنش که از بذرهای پرایم شده با آب مقطر رشد کرده بودند، فعالیت این آنزیم‌ها نسبت به سطوح مختلف شوری کمتر بود که نشانگر کاهش تولید پراکسیدهیدروژن در این گیاهچه‌ها است. از طرف دیگر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاهچه‌های تحت تنش شوری رشد یافته از بذرهای پرایم شده با جیبرلین ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام کاهش یافت و فعالیت این آنزیم‌ها عمدتاً در گیاهچه‌های رشد یافته از بذرهای پرایم شده با جیبرلین ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کمتر از فعالیت آن‌ها در پرایمینگ ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر

بود. تحقیقات نشان داده است که تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از قبیل کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاه کینوا می‌شود و طی پرایمینگ با اسید آسکوربیک فعالیت این آنزیم‌ها نسبت به شاهد کاهش می‌یابد (Jahantighi and Roshandel, 2023). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت با حفظ رشد و نمو گیاهان تحت تنش شوری، تحمل شوری را در گیاهان ایجاد می‌کند (Chakraborty *et al*., 2016; Jovanović *et al*., 2018). یکی از دلایل کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت طی پرایمینگ با جیبرلین می‌تواند نشان از مقاوم بودن این گیاه نسبت به تنش شوری باشد، که طی آن تنش اکسیداتیو و نشت الکترولیت کاهش یافته و دیگر نیاز به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت طی مقابله با شرایط نامطلوب نیست. همچنین، آسیب رسیدن به سنتز RNA و حمله گونه‌های فعال اکسیژن تحت شوری می‌تواند موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شود (Bailly *et al*., 2000).

در تحقیق حاضر، جوانه‌زنی بذر کینوا، افزایش در فعالیت آلفاآمیلاز را نشان داد، که مطابق با الگوی مشاهده شده فعالیت آلفاآمیلاز در طول جوانه‌زنی کینوا به دنبال جذب آب است (Zeng *et al*., 2024). علاوه بر این، پادما و همکاران (Padma *et al*., 2013)، پیشنهاد می‌کنند که جیبرلین انعطاف پذیری دیواره سلولی را بهبود می‌بخشد و جذب آب را افزایش می‌دهد. آنزیم آلفاآمیلاز از طریق تحریک هورمونی توسط جیبرلین سنتز می‌شود. در این تحقیق با افزایش شدت شوری، از فعالیت این آنزیم کاسته شد که می‌تواند به دلیل اختلال در مسیر بیوسنتز جیبرلین باشد. در حالی که در بذرهای پرایم شده با جیبرلین، مقدار فعالیت آلفاآمیلاز افزایش داشت. سنتز و آزادسازی آلفاآمیلاز، القا شده توسط جیبرلین‌ها، تبدیل مولکول‌های نشاسته درون آندوسپرم را به قندهای آسان تسهیل می‌کند و در نتیجه، تغذیه برای رشد جنین فراهم کرده و در نهایت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه افزایش می‌یابد (Brown *et al*., 2018). فعالیت آلفاآمیلاز، این تصور را تأیید می‌کند که جیبرلین عمدتاً بر جوانه‌زنی بذر کینوا در مرحله اولیه جذب آب تأثیر می‌گذارد (Zeng *et al*., 2024).

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان می‌دهد که شوری اکثر صفات جوانه‌زنی را کاهش و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را افزایش داد و این می‌تواند به دلیل تنش اکسیداتیو باشد. اما پرایمینگ با سطوح مختلف جیبرلین صفات جوانه‌زنی را بهبود بخشید. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مانند کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز با کم کردن سطح تولید گونه‌های فعال اکسیژن اثرات سوء تنش شوری را کاهش می‌دهند. به‌طور کلی بذرهای پرایم شده با جیبرلین ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به تیمار با جیبرلین ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاسخ بهتری به تنش شوری نشان دادند و باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری گردیدند. بنابراین جهت بهبود تحمل به تنش شوری گیاه کینوا می‌توان با پرایمینگ بذر با استفاده از جیبرلین به نتیجه بهتری رسید.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مسئولین دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105: 121-126. DOI: 10.1016/S0076-6879(84)05016-3. **(Journal)**

Ait-El-Mokhtar, M., Baslam, M., Ben-Laouane, R., Anli, M., Boutasknit, A. and Mitsui, T. 2020. Alleviation of detrimental effects of salt stress on date palm (*Phoenix dactylifera* L.) by the application of arbuscular mycorrhizal fungi and/or compost. Frontiers in Sustainable Food Systems, 4: 131. DOI:10.3389/fsufs.2020.00131**. (Journal)**

Ali, F., Bano, A., Hassan, T. U., Nazir, M., Khan, R. T. 2023. Plant growth promoting rhizobacteria induced modulation of physiological responses in rice under salt and drought stresses. Pakistan Journal of Botany, 55: 447–52. DOI:10.30848/PJB2023-2(23). **(Journal)**

Angeli, V., MiguelSilva, P., CrispimMassuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., GraeffHonninger, S. and Piatti, C. 2020. Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): An Overview of the

potentials of the 'Golden Grain' and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. Journal Foods, 9(2): 216. DOI: 10.3390/foods9020216. **(Journal)**

Bailly, C., Benamer, A., Cornineau, F. and Come, D. 2000. Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. Seed Science Research, 10: 35-42. DOI:10.1017/S0960258500000040. **(Journal)**

Bejaoui, M. 1985. Intéractions Entre NaCl et Quelques Phytohormones Sur La Croissance Du Soja. Journal of Plant Physiology, 120: 95–110. DOI:10.1016/S0176-1617(85)80014-6. **(Journal)**

Brown, L. K., Wiersma, A. T. and Olson, E. L. 2018. Preharvest sprouting and α-amylase activity in soft winter wheat. Journal of Cereal Science, 79: 311–318. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.11.016. **(Journal)**

Causin, H. F., Bordón, D. A. and Burrieza, H. 2020. Salinity tolerance mechanisms during germination and early seedling growth in Chenopodium quinoa Wild. genotypes with different sensitivity to saline stress. Environmental and Experimental Botany, 172: 103995. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2020.103995. **(Journal)**

Chakraborty, K., Bishi, S. K., Goswami, N., Singh, A. L. and Zala. P. V. 2016. Differential fine-regulation of enzyme driven ROS detoxification network imparts salt tolerance in contrasting peanut genotypes. Environmental and Experimental Botany, 128: 79-90. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2016.05.001. **(Journal)**

Duman, I. 2006. Effect of seed priming with PEG and K3PO4 on germination and seedling growth in lettuce. Pakistan Journal of Biological Sciences, 9: 923-928. DOI: 10.3923/pjbs.2006.923.928. **(Journal)**

Ebrahimi, E., Moosavi, S. A., Siadat, S. A., Moallemi, N. and Sabaeian, M. 2023. Effect of seed priming on salinity tolerance of (*Cassia fistula* L.) at seed germination and seedling growth stages using digital image analysis. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 11(4): 17-34. DOI: 10.22092/ijsst.2022.358170.1426. (In Persian) **(Journal)**

Eisvand, H. R. and Maddah Arefi, H. 2007. Effects of some plant growth regulators on the physiological quality of Bromus aged seed. Iranian Journal of Rangelands and Forest Plant Breeding and Genetic Research, 15(2): 159- 171. DOI: 10.22092/IJRFPBGR.2007.114961. (In Persian) **(Journal)**

Ellis, R. H. and Roberts, E. H. 1980. Seed physiology and seed quality in soybean. Advances in Legume Science. pp: 287-311. **(Journal)**

Farooq, M., Romdhane, L., Al Sulti, M. K. R. A., Rehman, A., Al-Busaidi, W. M. and Lee, D.-J. (2020). Morphological, physiological and biochemical aspects of osmopriming-induced drought tolerance in lentil. Journal of Agronomy and Crop Science, 206: 176-186. DOI: 10.1111/jac.12384. **(Journal)**

Fathi, G. H. and Esmailpour, B. 2010. Plant growth regulator, fundamental and application. Mashhad Jahade Daneshgahi Press. (In Persian) (**Book**)

Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Talebi-Siah Saran, P. and Pirani. H. 2019. Effect of deterioration on germinationVand enzymes activity in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12: 585-594. DOI: 10.22077/escs.2018.1337.1275**.** (In Persian) **(Journal)**

Gholami, S., Dehaghi, M. A., Rezazadeh, A. and Naji, A. M. 2022a. Seed Germination and Physiological Responses of Quinoa to Selenium Priming under Drought Stress. Bragantia, 81: e0722. DOI: 10.1590/1678-4499.20210183. **(Journal)**

Gholami, S. H., Rostami, T., Ahmadi, K. and Bagheri, M. 2022b. The effect of different concentrations of salicylic acid on germination characteristics of two genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) under salinity stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 15(2): 529-539. DOI: 10.22077/escs.2020.3257.1854. (In Persian) **(Journal)**

Giannopolitis, C. N. and Ries, S. K. 1977. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. Journal of Plant Physiology, 59: 309-314. DOI: 10.1104/pp.59.2.309. **(Journal)**

Hameed, A., Ahmed, M. Z., Hussain, T., Aziz, I., Ahmad, N., Gul, B. and Nielsen, B. L. 2021. Effects of salinity stress on chloroplast structure and function. Cells, 10(8): 2023. DOI: 10.3390/cells10082023. **(Journal)**

He, Y. Q., Cheng, J. P. and He, Y. 2019. Influence of isopropylmalate synthase OsIPMS1 on seed vigour associated with amino acid and energy metabolism in rice. Plant Biotechnology Journal, 17(2): 322-337. DOI: 10.1111/pbi.12979. **(Journal)**

Hemeda, H. M. and Klein, B.P. 1990. Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. Journal of Food Science, 55: 184-185. DOI: 10.1111/j.1365-2621. 1990.tb06048. x. **(Journal)**

Iqbal, H. and Chen Yaning, C. 2024. Redox priming could be an appropriate technique to minimize drought-induced adversities in quinoa. Frontiers in Plant Science,15: 1253677. DOI: 10.3389/fpls.2024.1253677. **(Journal)**

Jahantighi, M. and Roshandel, P. 2023. The effect of seed priming of *Chenopodium quinoa* L. var. Giza 1 with ascorbic acid on increasing salt tolerance. Iranian Journal of Seed Science and Research, 10(3): 81- 93. DOI: 10.22124/JMS.2023.7676. (In Persian) **(Journal)**

Jamali, S. and Sharifan, H., 2018. Investigation the effect of different Salinity levels on Yield and Yield components of Quinoa (Cv. *Titicaca*) under different irrigation regimes. Journal of Soil and Water Conservation, 25: 2. 251-266. DOI: 10.22069/JWSC.2018.13721.2841. (In Persian) (**Journal**)

Johnson, R. and Puthur, J. T. 2021. Seed priming as a cost-effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. Plant Physiology and Biochemistry, 162: 247-257. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.02. **(Journal)**

Jovanović, S., Kukavica, B., Vidović, M., Morina, F. and Menckhof, L. 2018. Class III peroxidases: Functions, localization and redox regulation of isoenzymes. In: Gupta, D. J. and Palma, F. (Eds.) Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants, Cham. pp: 269-300.

Kafi, M., Asadi, H. and Ganjeali, A. 2010. Possible utilization of high-salinity waters and application of low amounts of water for production of the halophyte Kochia scoparia as alternative fodder in saline agroecosystems. Agricultural Water Management, 97: 139-147. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.08.022. **(Journal)**

Karmi, R., Ebrahimi, F., Balochi, H. R., Babaei-Zarch, M. J. 2019. Improvement of germination behavior and seedling characteristics of two varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under the influence of salicylic acid and salt stress. Journal of Seed Research, 10(1): 52-66. (In Persian) **(Journal)**

Kaur, S., Gupta, A. K. and Kaur, N. 2000. Effect of GA3, kinetin and indole acetic acid on carbohydrate metabolism in chickpea seedlings germinating under water stress. Plant Growth Regulation, 30: 61–70. DOI:10.1023/A:1006371219048. **(Journal)**

Khan, A., Shafi, M., Bakht, J., Anwar, S. and Khan, M. O. 2021. Effect of salinity (NaCl) and seed priming (CaCl2) on biochemical parameters and biological yield of wheat. Pakistan Journal of Botany, 53: 779–89. DOI:10.30848/PJB2021-3(12). **(Journal)**

Lien, D. T. P., Phuc, T. M., Phan Thi Bich Tram, P. T. B. and Toan, H. T. 2016. Effects of gibberellic acid on the antioxidant activity of soybean seeds (*Glycine max* L. Merr.) during germination. International Journal of Food Science and Nutrition, 1(5): 16-21. **(Journal)**

Li, J. Z., Li, M. Q., Han, Y. C., Sun, H. Z., Du, Y. X. and Zhao, Q. Z. 2019. The crucial role of gibberellic acid on germinationof drought-resistant upland rice. Biologia plantarum, 63: 529–535. DOI: 10.32615/bp.2019.049. **(Journal)**

Louis, N., Dhankher, O. P. and Puthur, J. T. 2023. Seed priming can enhance and retain stress tolerance in ensuing generations by inducing epigenetic changes and trans-generational memory. Physiologia Plantarum, 175: 13881. DOI: 10.1111/ppl.13881. **(Journal)**

Maguire, J. D. 1962. Speed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Science, 2: 176-177. DOI: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x. **(Journal)**

Maharramov, A. M., Hasanova, U. A., Suleymanova, I. A., Osmanova, G. E. and Hajiyeva, N. E. 2019. The engineered nanoparticles in food chain: Potential toxicity and effects. SN Applied Sciences, 1(11): 1362. DOI: 10.1007/s42452-019-1412-5. **(Journal)**

Maleki, P., Bahrami, H. A., Saadat, S., Sharifi, F., Dehghany, F. and Salehi, M. 2018. Salinity threshold value of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) at various growth stages and the appropriate irrigation method by saline water. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 49: 1815-1825. DOI: 10.1080/00103624.2018.1474917. **(Journal)**

Mamedi, A., Sharifzadeh, F. and Maali Amiri R. 2021. Evaluation of quinoa seed germination variability to temperature, drought and saline stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 10(4): 57-67 DOI: 10.22092/ijsst.2021.353918.1388. (In Persian) **(Journal)**

Marković, M., Šoštarić, J., Kojić, A., Popović, B., Bubalo, A., Bošnjak, D. and Stanisavljević, A. 2022. Zinnia (*Zinnia elegans* L.) and periwinkle (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don) responses to salinity stress. Water, 14(7): 1066. DOI: 10.3390/w14071066. **(Journal)**

Meftahizade, H. and Rahmati, Z. 2021. Evaluation of germination and growth characteristics of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under salinity stress condition. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 10(2): 97- 109. DOI: 10.22092/ijsst.2020.342298.1332. (In Persian) **(Journal)**

Mondal, S. and Bose, B. 2021. Seed Priming: An Interlinking Technology between Seeds, Seed Germination and Seedling Establishment. Plant Reproductive Ecology - Recent Advances, Delhi. (**Book**)

Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxides in Spanish chloroplasts. Plant Cell Physiology, 22: 867–880. DOI: 10.1093/OXFORDJOURNALS.PCP.A076232. **(Journal)**

Nazih, A., Baghour, M., Maatougui, A., Aboukhalid, K., Chiboub, B. and Bazile, D. 2024. Effect of Gibberellic Acid and Mechanical Scarification on the Germination and Seedling Stages of Chenopodium quinoa Willd under Salt Stress. Plants, 13: 1330. DOI: 10.3390/plants13101330. **(Journal)**

Omara, A. E. D., Hafez, E. M., Osman, H. S., Rashwan, E., El-Said, M. A. A. and Alharbi, K. 2022. Collaborative impact of Compost and beneficial rhizobacteria on soil properties, physiological attributes, and productivity of wheat subjected to deficit irrigation in salt affected soil. Plants, 11(7): 877. DOI: 10.3390/plants11070877. **(Journal)**

Omidi, H., Leyla, J. and Hasanali, N. 2014. Seeds of medicinal plants and crops. Natural Resources and Environment. Shahed University Press. (**Book**)

Ozden, E., Ermiş, S. and Demir, I. 2017. Seed priming increases germination and seedling quality in Antirrhinum, Dahlia, Impatiens, Salvia and Zinnia seeds. Journal of Ornamental plants, 7(3): 171-176. **(Journal)**

Padma, L., Basvaraju, G. V., Sarika, G. and Amrutha, N. 2013. Effect of Seed Treatments to Enhance Seed Quality of Papaya (*Carica papaya* L.) Cv. Surya. Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences, 2: 221–225. **(Journal)**

Pakbaz, N., Omidi, H., Naghadi Badi, H. and Bostani, A. 2018. The effect of seed priming with nutritional elements and drought on growth characteristics of quinoa seedlings (*Chenopodium quinoa* willd) under drought stress conditions. Book of Abstracts of the 16th National Science Congress Agriculture and Plant Breeding. 5-7 February, Iran, Ahvaz. (**Conference**)

Paparella, S., Araújo, S. S. and Rossi, G. 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. Plant Cell Reports, 34(8): 1281-1293. DOI: 10.1007/s00299-015-1784-y. **(Journal)**

Pereira, E., Encina-Zelada, C., Barros, L., Gonzales-Barron, U., Cadavez, V. and Ferreira, I. C. F. R. 2019. Chemical and nutritional characteriza- tion of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: a good alternative to nutritious food. Food Chemistry, 280: 110-114. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.12.068. **(Journal)**

Pulvento, C. and Bazile, D. 2023. Worldwide evaluations of quinoa biodiversity and food security under climate change pressures: Advances and perspectives. Plants, 12(4): 868. DOI: 10.3390/plants12040868. **(Journal)**

Saadat, H. and Sedghi, M. 2024. The effect of priming on seed germination indices and antioxidant enzyme activity in chickpea seedlings (*Cicer arietinum* L.) under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 11(1): 15-29. DOI: 10.22124/jms.2024.8036. (In Persian) (**Journal**)

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2023a. The Effect of Priming with Different Levels of Chitosan on Physiological and Biochemical Traits in French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Under Salinity Stress. Phant Production Technology, 14(2):75-89. DOI: 10.22084/PPT.2023.26100.2075. (In Persian) **(Journal)**

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2023b. Expression of gibberellin synthesis genes and antioxidant capacity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadri) seeds induced by chitosan under salinity. Iranian Journal of Plant Physiology, 13(4): 4715-4728. DOI: 10.30495/ijpp.2023.1978837.1460. **(Journal)**

Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R. and Sheykhbaglou, R. 2020. Effect of seed priming and aging on germination, biochemical traits and antioxidant enzyme gene expression in

common bean (Phaseolus vulgaris l.). Iranian Journal of Seed Science and Research, 7(1): 1-13. DOI: 10.22124/JMS.2020.4267. (In Persian) (**Journal**)

Saadat, T., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2023c. Effect of chitosan on germination indices of common bean (*Phaseolus vulgaris*) (cv. Sedri) seeds under salt stress. Iranian Journal of Seed Research, 9(2): 151-162. DOI: 10.61186/yujs.9.2.151. (In Persian) **(Journal)**

Sairam, R. K., Rao, K. V. and Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyteconcentration. Plant Science, 163: 1037-1046. DOI: 10.1016/S0168-9452(02)00278-9. **(Journal)**

Salah, S. M., Guan, Y. J. and Cao, D. D. 2015. Seed priming with polyethylene glycol regulating the physiological and molecular mechanism in rice (*Oryza sativa* L.) under nano-ZnO stress. Scientific Reports, 5: 14278. DOI: 10.1038/srep14278. **(Journal)**

Salehi, M. and Dehghani, F. 2023. Evaluation the effect of salinity stress on the protein and micronutrient elements content of quinoa seeds. Crop Production Journal, 16(3): 1-16. DOI: 10.22069/EJCP.2024.20228.2509. (In Persian) **(Journal)**

Salehi, M., Soltani, V. and Dehghani, F. 2019. Effect of salt stress and seed priming methods on emergence and seedling characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 11(2): 381-391. DOI: 10.22077/escs.2017.595.1127. (In Persian) **(Journal)**

Sano, N., Lounifi, I., Cueff, G., Collet, B., Clément, G. and Balzergue, S. 2022. Multi-omics approaches unravel specific features of embryo and endosperm in rice seed germination. Frontiers in Plant Science, 9(13): 867263. DOI: 10.3389/fpls.2022.867263. **(Journal)**

Sehnal, K., Hosnedlova, B., Docekalova, M., Stankova, M., Uhlirova, D., Tothova, Z., Kepinska, M., Milnerowicz, H., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B. and Nguyen, H. V. 2019. An assessment of the effect of green synthesized silver nanoparticles using sage leaves (*Salvia officinalis* L.) on germinated plants of maize (*Zea mays* L.). Nanomaterials, 9(11): 1550. DOI: 10.3390/nano9111550 **(Journal)**

Shi, P. and GU, M. 2020. Transcriptome analysis and differential gene expression profiling of two contrasting quinoa genotypes in response salt stress. BMC Plant Biology, 20(1): 568. DOI: 10.1186/s12870-020-02753-1. **(Journal)**

Srinivasan, K., Saxena, S. and Singh, B. B. 1999. Osmo- and hydropriming of mustard seeds to improve vigour and some biochemical activities. Seed Science and Technology, 27(2): 785-789. **(Journal)**

Thabet, S. G. and Alqudah, A. M. 2023. New genetic insights into improving barley cope with salt stress via regulating mineral accumulation, cellular ion homeostasis, and membrane trafficking Environmental and Experimental Botany, 208: 105252. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2023.105252. **(Journal)**

Waterworth, W. M., Bray, C. M. and West, C. E. 2019. Seeds and the Art of Genome Maintenance. Frontiers in Plant Science, 10: 706. DOI: 10.3389/fpls.2019.00706. **(Journal)**

Xiao, S., Liu, L., Wang, H., Li, D., Bai, Z., Zhang, Y., Sun, H., Zhang, K. and Li, C. 2019. Exogenous melatonin accelerates seed germination in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). PloS ONE, 14: e0216575. DOI: 10.1371/journal.pone.0216575. **(Journal)**

Yasmeen, A. and Muhamma Imran, M. 2024. Growth promoters modulate the antioxidant system to mitigate water stress in quinoa. Pakistan Journal of Botany, 56(3): 853-862. **(Journal)**

Zeid, I., M., Gharib, F. A. E. L., Ghazi, S. M. and Ahmed, E. Z. 2019. Promotive effect of ascorbic acid, gallic acid, selenium and nanoselenium on seed germination, seedling growth and some hydrolytic enzymes activity of cowpea (Vigna unguiculata) seedling. Journal Plant Physiology and Pathology, 7: 1-9. DOI: 10.4172/2329-955X.1000193. **(Journal)**

Zeng, F., Zheng, C., Ge, W., Gao, Y., Pan, X., Ye, X., Wu, X. and Sun, Y. 2024. Regulatory function of the endogenous hormone in the germination process of quinoa seeds. Frontiers in Plant Science, 14: 1322986. DOI: 10.3389/fpls.2023.1322986. **(Journal)**

Zulfiqar, F., Chen, J., Finnegan, P. M., Younis, A., Nafees, M., Zorrig, W. and Hamed, K. B. 2021. Application of Trehalose and Salicylic Acid Mitigates Drought Stress in Sweet Basil and Improves Plant Growth. Plants Journal, 10: 35-52. DOI: 10.3390/plants10061078. **(Journal)**

Effect of seed priming with gibberellin on germination characteristics and antioxidant enzyme activity in quinoa (*chenopodium quinoa* willd) seedlings under salinity stress

Haniyeh Saadat[1*], Mohammad Sedghi[2]

Received: December 7, 2024 Accepted: January 22, 2025

Abstract

In order to investigate the Effect of seed priming with gibberellin on germination characteristics and antioxidant enzyme activity in quinoa seedlings under salinity stress and an experiment was conducted based on completely randomized design arranged in factorial with three replications at University of Mohaghegh Ardabili Laboratory in 2024. Treatments were four salinity levels (0, 150, 300 and 450 mM Derived from NaCl) and four levels of gibberellin (0, 100, 150 and 200 mgL^{-1}). The results showed that salinity stress reduced Germination Rate, Radicle length, Plumule length and seedling length. But priming with distilled water, different levels of gibberellin, especially the 200 mgL^{-1} level, improved these traits. daily germination coefficient and mean germination time were higher about 15% and 65%, respectively, compared to the control treatment without salinity and in priming with gibberellin 200 mgL^{-1} compared to the control, they showed a decrease of about 8% and 42%, respectively. The catalase and ascorbate peroxidase enzymes activity in the treatment with control and 450 mM salinity compared to with gibberellin 200 mgL^{-1} and without salinity showed an increase of about 86 and 92%, respectively. The activities of peroxidase and superoxide dismutase enzymes in gibberellin 200 mgL^{-1} treatment showed a decrease of about 25% and 34%, respectively, compared to the control. Also, the alpha-amylase enzyme activity in priming with gibberellin 200 mgL^{-1} and without salinity compared to the the controland 450 mM salinity showed an increase of 89%, respectively. The results showed that seed treatment with different levels of gibberellin can reduce the harmful effects of salinity on some traits quinoa seedlings and improve seedling growth.

Keywords: Alpha-Amylase; Ascorbate Peroxidase; Catalase; Germination Indicators; Peroxidase

How to cite this article

Saadat, H. and Sedghi, M. 2024. Effect of seed priming with gibberellin on germination characteristics and antioxidant enzyme activity in quinoa (chenopodium quinoa willd) seedlings under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 11(3): 21-35. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2024.8790

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Ph.D of Crop Ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. t.saadat2020@gmail.com
2. Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. m_sedghi@uma.ac.ir

*Corresponding author: t.saadat 2020@gmail.com